

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL HORNO  
DE SECADO DE MADERA DE LA EMPRESA DYMAP**

**FABRICIO ANDRÉS PERALTA CHAMBA**

**Sangolquí – Ecuador**

**2006**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado **“Diseño y simulación de la automatización del horno de secado de madera de la empresa DYMAP”** fue desarrollado en su totalidad por el señor Fabricio Andrés Peralta Chamba, bajo nuestra dirección.

Atentamente,

---

Ing. Víctor Proaño

**DIRECTOR**

---

Ing. Hugo Ortiz

**CODIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme una familia y llenar mi camino de prosperidad.

A mi mamá, Piedad, y a mi papá, Fausto, por el apoyo incondicional durante toda mi vida, por su infinita sabiduría para llevarme por el sendero correcto y por enseñarme que únicamente los obstáculos se los pone uno mismo. Un millón de gracias por todo.

A mi hermana, Johanna, por ser mi mejor amiga y estar en los momentos de alegría y de tristeza.

A toda mi familia por sus consejos.

Al Ing. Víctor Proaño y al Ing. Hugo Ortiz, por ser mis maestros y ayudarme con el desarrollo de éste proyecto de grado.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Piedad.

A mi padre, Fausto.

Y a mi hermana, Johanna.

## PRÓLOGO

La madera al ser una materia viva, necesita del agua para su desarrollo y por tanto los contenidos de humedad dependiendo de la especie, pueden llegar a ser muy elevados, haciendo imposible que pueda ocuparse la madera para diversos fines en esas condiciones.

Los procesos de secado a la intemperie ofrecen pocas ventajas, pues obedecen a factores ambientales aleatorios como aire, temperatura, humedad y esencialmente a las características propias del material, haciéndolo ganar o perder agua dependiendo del medio.

Según el uso o el lugar para el cual se destine la madera, se establecerán los contenidos de humedad final del material, pues se tendrá diferentes condiciones ambientales en la costa, en la sierra o en el oriente. A más de ello la madera según su uso se destinará para el interior del hogar, para exteriores, en si para aplicaciones variadas, por lo cual un adecuado secamiento conducirá a que el producto final no aumente su volumen ni lo reduzca, eliminando por completo las deformaciones en la madera.

Por lo tanto el presente proyecto está orientado a diseñar un sistema automatizado de secado de madera que cumpla con las especificaciones técnicas impuestas por la empresa DYMAP (fabricante de muebles). De allí que es necesario entender la dinámica del proceso para diseñar una automatización confiable, por lo tanto en los dos primeros capítulos se establecerán las bases físicas y especificaciones técnicas con las que trabajará la automatización; además se simulará con el controlador adecuado el funcionamiento total del secadero de madera. Pasando luego a establecer los márgenes de productividad y rentabilidad del proyecto en un capítulo denominado análisis económico.

# INDICE DE CONTENIDO

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTO DEL SECADO DE MADERA

1.1.	AGUA LIBRE.....	1
1.2.	AGUA DE SATURACIÓN, HIGROSCÓPICA O FIJA.....	1
1.3.	AGUA DE CONSTITUCIÓN.....	1
1.4.	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA	2
1.5.	HUMEDAD DE EQUILIBRIO .....	2
1.6.	MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CH .....	2
1.6.1.	MÉTODO ELÉCTRICO.....	3
1.7.	VARIABLES FÍSICAS INMERSAS EN EL PROCESO DE SECADO.....	4
1.7.1.	TEMPERATURA.....	4
1.7.2.	HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.....	4
1.7.3.	VENTILACIÓN .....	5
1.8.	PROCESO DE SECADO.....	7
1.8.1.	CONDUCCIÓN DEL SECADO UTILIZANDO UN PSICRÓMETRO.....	7
1.8.1.1.	FASE DE CALENTAMIENTO.....	7
1.8.1.2.	FASE DE SECADO .....	8
1.8.1.3.	FASE DE ACONDICIONAMIENTO .....	9
1.8.1.4.	FASE DE ENFRIAMIENTO .....	10
1.9.	PROGRAMA DE SECADO .....	10
1.10.	ELEMENTOS DEL SECADO.....	11

## CAPITULO 2

### DESCRIPCIÓN DEL HORNO DE SECADO

2.1.	GENERALIDADES.....	13
2.2.	UBICACIÓN DEL HORNO DE SECADO.....	13
2.3.	ESPECIES Y ESPESORES DE MADERAS A SECAR.....	14

2.4.	INFRAESTRUCTURA INSTALADA DEL SECADOR DE MADERA .....	16
2.4.1.	SISTEMA DE CALEFACCIÓN.....	16
2.4.2.	SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	18
2.4.3.	SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN.....	18
2.5.	CRITERIOS Y VARIABLES PARA EL CONTROL DE HUMIDIFICACIÓN .....	19
2.6.	CÁLCULO DE TUBERIAS PARA HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN.....	21
2.6.1.	HUMIDIFICACIÓN .....	21
2.6.2.	DESHUMIDIFICACIÓN.....	23
2.7.	EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	23
2.8.	CONSIDERACIÓN IMPORTANTE CON EL MEDIDOR DE HUMEDAD DE LA MADERA .....	24

### **CAPITULO 3**

#### **DISEÑO, SIMULACIÓN Y EQUIPAMIENTO**

#### **PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL HORNO DE SECADO DE MADERA DE LA EMPRESA DYMAP**

3.1.	SELECCIÓN DE EQUIPAMIENTO.....	25
3.1.1.	SEÑALES DE ENTRADA .....	26
3.1.2.	SEÑALES DE SALIDA.....	27
3.2.	CONTROL PARA CADA PROCESO .....	29
3.2.1.	TIPO DE CONTROL PARA TEMPERATURA.....	29
3.2.2.	TIPO DE CONTROL PARA HUMIDIFICADOR Y DESHUMIDIFICADOR .....	30
3.2.3.	TIPO DE CONTROL PARA LA VARIACIÓN DE VELOCIDAD .....	31
3.3.	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR ZELIO .....	32
3.3.1.	ENTRADAS FÍSICAS DEL PROGRAMA .....	35
3.3.2.	SALIDAS FÍSICAS DEL PROGRAMA .....	36
3.3.3.	ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA SE INCLUYE ALARMAS .....	37
3.3.4.	SELECCIÓN DEL TIPO DE MADERA Y LA FASE DE SECADO .....	40

3.3.5.	CONTROL DE TEMPERATURA .....	42
3.3.6.	CONTROL DEL HUMIDIFICADOR .....	46
3.3.7.	CONTROL DEL DESHUMIDIFICADOR .....	50
3.3.8.	CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	52
3.4.	SIMULACIÓN DEL PROGRAMA.....	52
3.5.	CONEXIÓN DE EQUIPOS .....	53
3.5.1.	GENERALIDADES .....	53
3.5.2.	CONEXIONES DE ENTRADA AL CONTROLADOR ZELIO .....	53
3.5.3.	CONEXIONES A LA SALIDA DEL CONTROLADOR.....	53
3.6.	CÁLCULO DE CORRIENTE PARA ESTABLECER CALIBRE DE CABLES .....	54
3.6.1.	CONEXIÓN DE SENSORES HACIA EL CONTROLADOR .....	54
3.6.2.	CALIBRE DE CABLE PARA EL VARIADOR DE FRECUENCIA .....	54
3.6.3.	ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN DE VÁLVULAS .....	55
3.6.3.1.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VÁLVULAS A UTILIZAR	55
3.6.4.	CALIBRE DE CABLES EN EL CIRCUITO DE SIRENA E INDICADOR .....	56
3.6.5.	CALIBRE DE CABLES EN TODO EL CIRCUITO DE CONTROL .....	56
3.7.	INSTALACIÓN DE EQUIPOS .....	56
3.8.	MANUAL DE USUARIO .....	57
3.8.1.	INSTALACIÓN DEL PROGRAMA EN EL CONTROLADOR Y FUNCIONAMIENTO .....	57
3.8.2.	MENSAJES DE ERROR .....	59
3.8.2.1.	CÓDIGO DE ERRORES DEL MÓDULO LÓGICO.....	60
3.8.2.2.	CÓDIGO DE ERRORES EN LA EXTENSIÓN SR2COM01 .....	61

## **CAPITULO 4**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

4.1.	GENERALIDADES.....	62
4.2.	ANÁLISIS DE MERCADO.....	62
4.3.	DETALLE DE INVERSIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN.....	63

4.4.	COSTO DE SECADO DE MADERA .....	64
4.4.1.	FACTORES PARA EL ANALISIS DE COSTOS EN EL SECADO EN HORNO .....	64
4.4.2.	CÁLCULO DE COSTOS DE SECADO AL HORNO POR METRO CÚBICO DE MADERA .....	68
4.5.	CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	70
4.6.	CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	72
4.7.	EVALUACION DEL PROYECTO .....	73

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES.....	74
5.2.	RECOMENDACIONES .....	76
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTO DEL SECADO DE MADERA

La madera es un material poroso y es aquí en donde se alojará el agua en su mayor parte, técnicamente se la encuentra bajo diferentes formas: agua libre, agua de saturación y agua de constitución. A continuación se definirá cada una.

#### 1.1. AGUA LIBRE

Se encuentra ocupando las cavidades de los poros y por tanto este tipo de agua es fácil de sacar pues la fuerza que la mantiene unida a la madera es la capilar, de allí que al iniciarse el proceso de secado el agua se evapora dejando estas cavidades huecas, sin producir en la madera ningún tipo de cambio dimensional ni mecánico. Cuando se ha desalojado el agua libre, se estará en el *punto o zona de saturación de las fibras (PSF)*, con humedades que oscilan entre 21 y 32 %<sup>1</sup>

#### 1.2. AGUA DE SATURACIÓN, HIGROSCÓPICA O FIJA

Este tipo de agua se encuentra en las paredes celulares de la madera y la forma de extraerla es mediante secado en hornos especiales ya que el convencional que es al aire libre lleva mucho tiempo. Luego que el agua de saturación ha sido eliminada la madera experimenta cambios mecánicos y dimensionales.

#### 1.3. AGUA DE CONSTITUCIÓN

Es la que forma parte de las células de la madera, y por tanto no puede ser extraída a menos que exista destrucción del material.

---

<sup>1</sup> Según SIAU, 1984.

#### 1.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA

La madera es considerada totalmente seca cuando su peso alcanza un valor constante, luego de un proceso de secado al horno a  $103 \pm 2$  °C, éste es un dato importante pues muchas de las fórmulas estarán relacionadas o harán referencia.

El *contenido de humedad (CH)*, está determinado por el peso del agua que la pieza de madera contenga, expresada en función del peso cuando el material ha sido seco al horno. Esto se puede expresar mediante la ecuación 1.1.

$$CH = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100\% \quad \text{Ecuación 1.1}$$

En donde:

Ph = Peso de la madera cuando se encuentra húmeda.

Ps = Peso constante de la pieza de madera luego del secado al horno.

Como se puede notar el valor de CH esta siempre expresado en porcentaje.

#### 1.5. HUMEDAD DE EQUILIBRIO

Cuando la madera permanece bajo las mismas condiciones de temperatura y humedad por un periodo de tiempo suficiente, se establece un equilibrio entre “*la presión parcial de vapor en el aire y la que existe en le interior de la pieza de madera*”<sup>1</sup>, a este punto se le conoce como *contenido de humedad de equilibrio (ECH)*.

Se hace referencia a esta humedad pues en algunos casos las cartas de secado presentan dicha información.

#### 1.6. MÉTODOS PARA DETERMINAR EL CH

Conocer el contenido de humedad de la madera es fundamental para el proceso de secado y para ello se usan varios métodos, pero únicamente se especificarán los que son aplicables al proyecto.

---

<sup>1</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el secado de maderas página 2-25

### 1.6.1. MÉTODO ELÉCTRICO

Es uno de los más utilizados pues la madera presenta características eléctricas que pueden ser medibles, como son la conductividad eléctrica y las pérdidas de potencia en relación al contenido de humedad de la madera. Al hablar de conductividad se hace referencia a una especie de ohmetro como instrumento de medición (*higrómetro resistivo*), con la diferencia que sobre el *punto de saturación de las fibras (PSF)* la dependencia entre humedad y resistencia será inversa en un factor de cinco, en cambio por debajo del PSF se tendrá un factor multiplicador de un millón<sup>1</sup>, (ver figura 1.1).

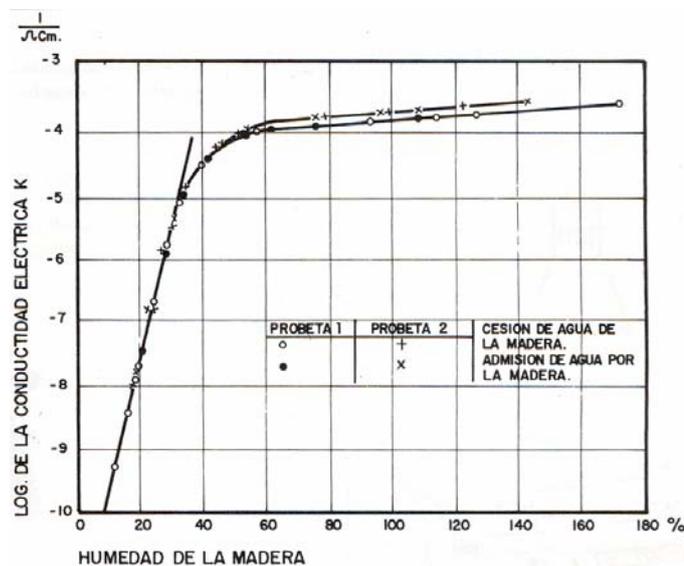


Figura 1.1. Conductividad eléctrica de la madera.<sup>2</sup>

Con buenos detectores de humedad se tendrá una desviación del  $\pm 2\%$ , tomando en cuenta también otros factores que pueden alterar las mediciones como son la temperatura y la especie maderera.

Los medidores que utilizan radio frecuencia por pérdida de potencia (*higrómetros capacitivos*) son utilizados para maderas delgadas y en éstos no existe la influencia de la temperatura, además utilizan electrodos como sensores sin la necesidad de perforar la madera, al contrario de lo que ocurre con los higrómetros resistivos que deben atravesar una parte del material.

<sup>1</sup> Según KOLMANN Y COTE, 1968

<sup>2</sup> Según STAMM, 1929

## 1.7. VARIABLES FÍSICAS INMERSAS EN EL PROCESO DE SECADO

La madera pierde agua de acuerdo a variables que se encuentran relacionadas, de allí que el material puede eliminar agua mucho más rápido si existe un adecuado proceso de secamiento. La humedad es eliminada por evaporación por ello la temperatura, la humedad del ambiente y el viento son los factores controlables determinantes en el secado.

### 1.7.1. TEMPERATURA

Este tipo de energía da mayor o menor movilidad a las moléculas de agua, pero si éste movimiento es muy rápido debido a fluctuaciones severas en la temperatura, la madera tenderá a deformarse. En este capítulo no se establecerán las temperaturas adecuadas para cada tipo de madera pues existe estrecha relación con la humedad del aire y por tanto se detallará a continuación como se debe medir la temperatura en función de la humedad.

### 1.7.2. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE

Para el control del secado es importante medir la humedad relativa del aire pero dependiente de la temperatura, ésta relación se la consigue con un instrumento denominado *psicrómetro* (ver figura 1.2) y con la ayuda de las cartas psicrométricas. Este instrumento consta de dos termómetros, el primero de *bulbo seco* medirá la temperatura real del horno de secado y el segundo de *bulbo húmedo* estará rodeado por un tejido especial, que transmite la humedad desde un recipiente con agua destilada hacia el bulbo, haciendo que éste se encuentre a menor temperatura, en relación al de bulbo seco; el efecto es producido por la evaporación, de allí que mientras más seco este el ambiente mayor será la transferencia de vapor al horno y por ende el termómetro húmedo estará aun más frío. Con los datos obtenidos y con la ayuda de una carta psicrométrica (ver figura 1.3) se determinará la humedad relativa del aire.

Las tablas de secado proporcionadas por algunas empresas madereras hacen referencia a la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y humedad relativa. Dichas tablas son como recetas de secado y por lo tanto las mediciones se harán en relación a estas variables, haciendo viable el proyecto de automatización.

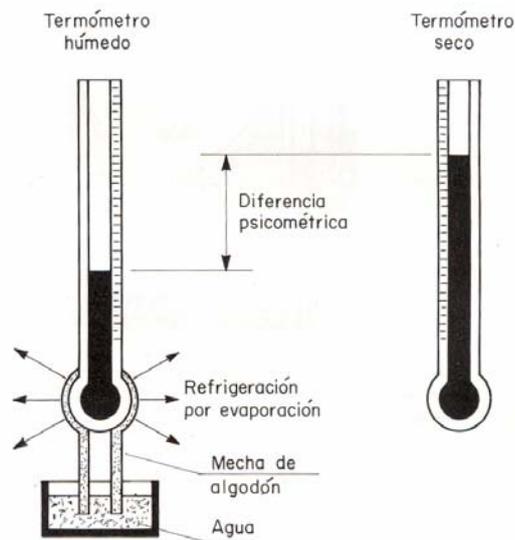


Figura 1.2. Psicrómetro.

### 1.7.3. VENTILACIÓN

El viento facilita la evaporación y es un factor que acelera o retarda el tiempo de secado según la velocidad del flujo, ya que sobre el PSF esto es ( $CH > 30\%$ ) trabajar con velocidades de aire mayores disminuirá el tiempo de secado y no producirá deformaciones en la madera, en cambio por debajo del PSF es recomendable trabajar con velocidades menores para obtener un secado eficiente.

Otra ventaja que ofrece el cambio de velocidad es el ahorro económico en función del rendimiento y esto es que la “energía eléctrica consumida por los ventiladores es aproximadamente proporcional al cubo de la velocidad del aire (J. L. BACHRICH, 1980)”<sup>1</sup>. Esta relación se puede aplicar al inicio del proceso de secado, para conseguir ahorros económicos y reducir el tiempo de permanencia de la madera en el horno.

Un sistema automatizado para el control de velocidad será diseñado en el capítulo III, para cumplir con el objetivo de proyecto eficiente y rentable.

<sup>1</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, página 2-24.

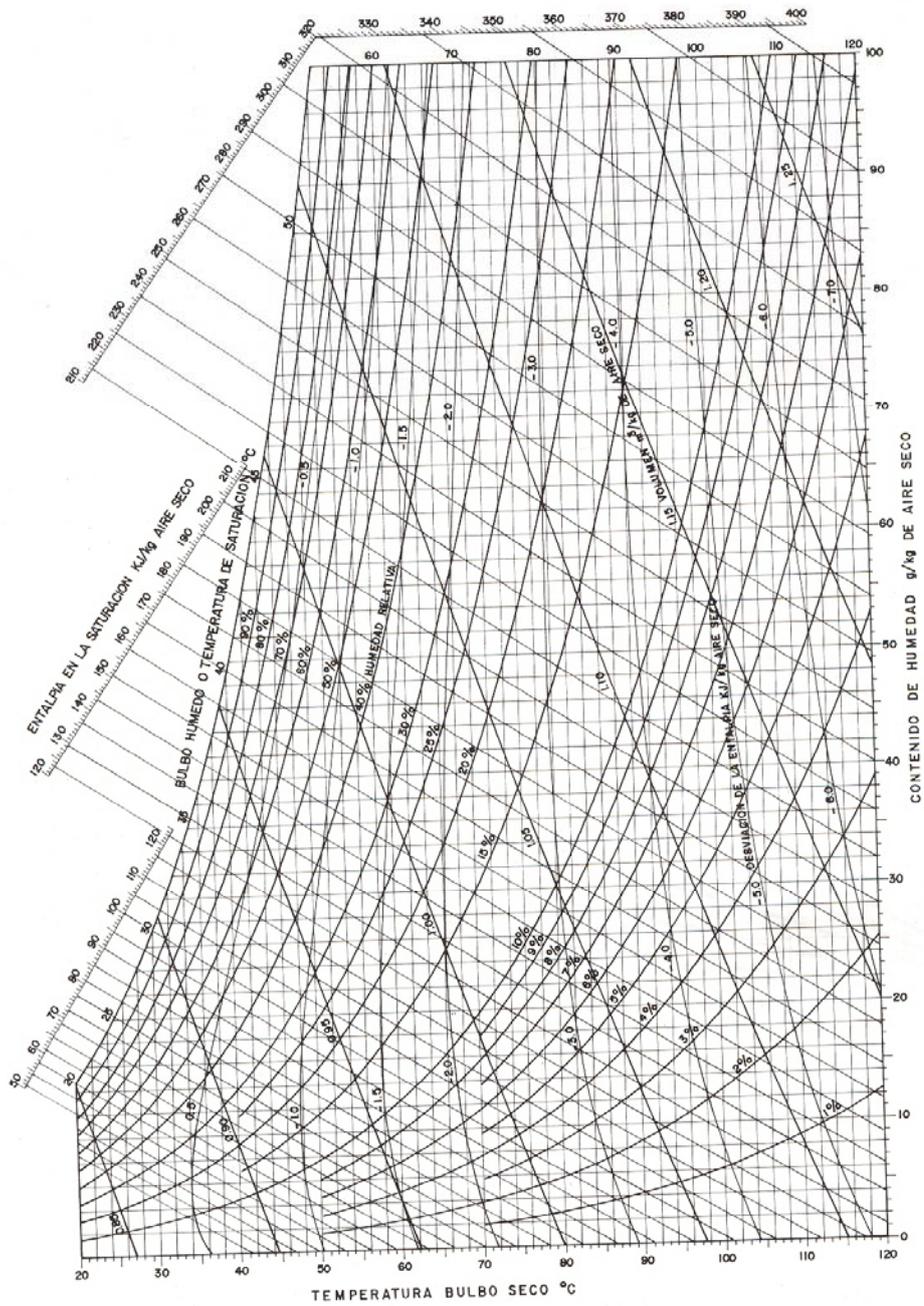


Figura 1.3. Carta psicrométrica aplicable a presiones de 76 cm de HG.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Extraído de CARRIER CORPORATION, 1975

## 1.8. PROCESO DE SECADO

Existen varios métodos para controlar el proceso de secado y estos son:

- Utilizando un psicrómetro o un humidímetro
- Utilizando gradiente de secado
- Utilizando deshumidificador

Para utilizar el método del deshumidificador la empresa tendría que invertir en equipos que son muy costosos, por lo que éste método para conducir el secado queda descartado. La utilización de la gradiente de secado requiere cálculos que son complejos además la información no es muy difundida, lo que no ocurre cuando se utiliza un psicrómetro o un humidímetro, pues esta información se encuentra en tablas que son mundialmente difundidas.

Analizando todos estos aspectos para el proyecto en estudio se utilizará un psicrómetro o un humidímetro dependiendo de la disponibilidad en el mercado y de los precios. Las características de funcionamiento son similares por lo que cualquier equipo es aplicable.

### 1.8.1. CONDUCCIÓN DEL SECADO UTILIZANDO UN PSICRÓMETRO

Con este método se debe tener control en todo momento de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, dependiendo de la fase en la que se encuentre el secado.

#### 1.8.1.1.FASE DE CALENTAMIENTO

Primero es necesario calentar el horno hasta la temperatura adecuada, para iniciar el programa de secado. Es importante en esta fase no aumentar súbitamente la temperatura, ya que se pueden ocasionar colapsos en la madera y para ello se *“calcula una hora de calentamiento por centímetro de espesor para las maderas livianas y dos horas por*

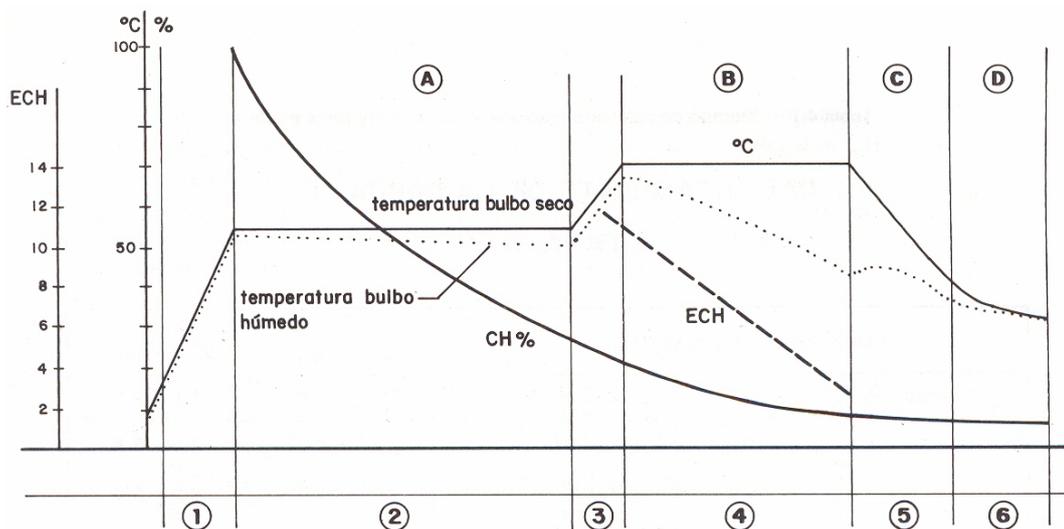
centímetro para las maderas densas cuando su contenido de humedad es superior al 30%.”<sup>1</sup>.

La humedad relativa del aire se debe mantener alta para rehumidificar las superficies de las piezas de madera y por lo tanto la diferencia psicrométrica será de 1 y 2 °C.

### 1.8.1.2.FASE DE SECADO

Es aquí en donde ya comienza el programa de secado y para conseguir las condiciones climáticas adecuadas, se aumenta la diferencia psicrométrica de acuerdo al contenido de humedad que tenga la madera.

Como se puede ver en la figuras 1.4 y 1.5, sobre el PSF la diferencia psicrométrica no es alta, pero por debajo del PSF se podrá aplicar aire cada vez más seco hasta alcanzar el CH deseado.



Secado por evaporación, ciclo esquemático (según BOLLMANN 1984).

- |  |  |
|--|--|
| 1. Calentamiento                       | 5. Acondicionamiento C.                    |
| 2. Etapa de secado A (antes del PSF)   | 6. Enfriamiento D.                         |
| 3. Calentamiento intermedio.           | ECH = Equilibrio del contenido de humedad. |
| 4. Etapa de secado B (después del PSF) | PSF = Punto de saturación de la fibra.     |

Figura 1.4. Ciclo esquemático del proceso de secado.

<sup>1</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, página 4-20.

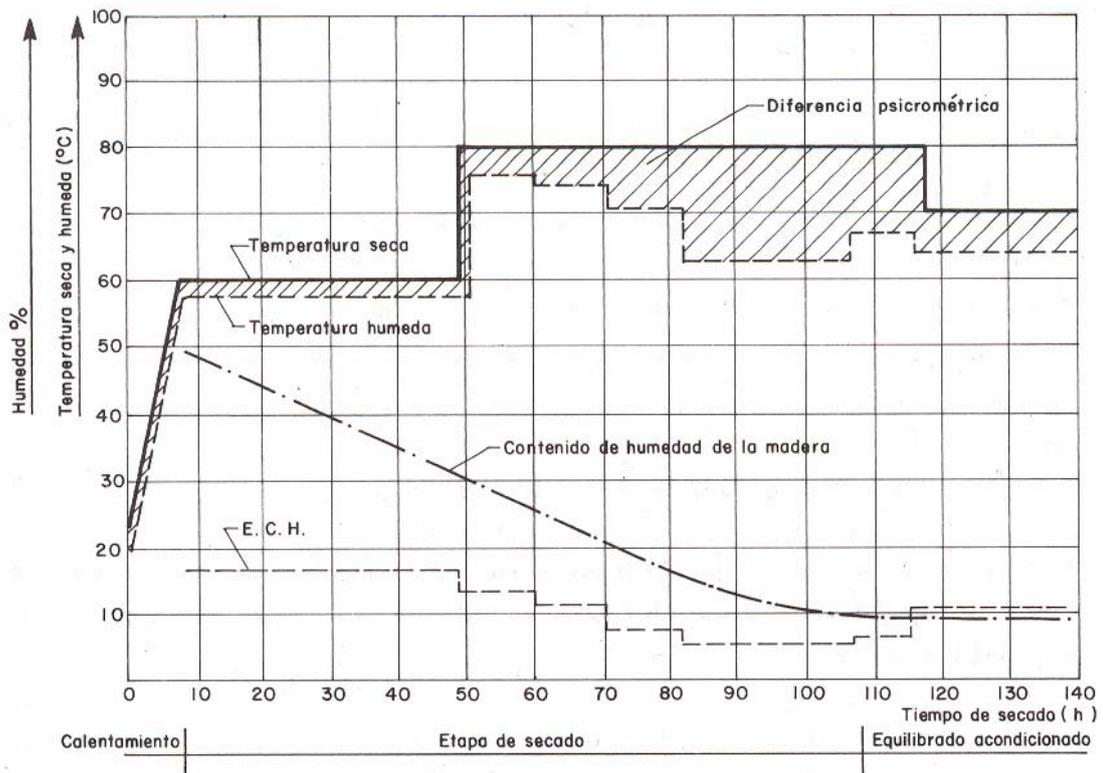


Figura 1.5. Diagrama real del proceso de secado utilizando un psicrómetro.

### 1.8.1.3.FASE DE ACONDICIONAMIENTO

Cuando la madera alcanza en el centro o en el tercio de su espesor la humedad final deseada, se debe acondicionar (ver figura 1.6), para evitar deformaciones cuando se proceda al reaserrado, pues la superficie de la pieza de madera estará con humedades inferiores a las del centro, haciendo que se produzcan tensiones no deseadas.

Para realizar el acondicionamiento se procede a bajar la temperatura del bulbo seco y reducir fuertemente la diferencia psicrométrica, para obtener valores del ECH ligeramente superiores a los del CH de la madera.

El tiempo recomendable para el acondicionamiento, debe ser el doble que el empleado para el calentamiento.

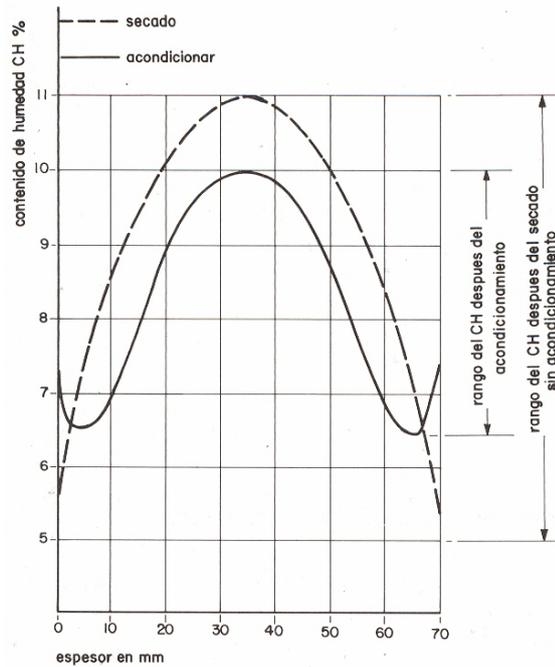


Figura 1.6. Distribución del contenido de humedad con y sin acondicionamiento.

#### 1.8.1.4.FASE DE ENFRIAMIENTO

Se debe reducir la temperatura progresivamente, hasta alcanzar la que se tiene en el exterior de la cámara de secado, además se debe mantener la diferencia psicrométrica casi igual a la que se obtuvo en la fase de acondicionamiento.

### 1.9. PROGRAMA DE SECADO

Los programas de secado dependen de la especie, de las dimensiones y de la calidad de la madera. Como se vio en las fases de secado se deben llegar a temperaturas y humedades ambientales dependiendo del contenido de humedad de la madera, estos valores predeterminados se denominan horarios de secado y los más difundidos son los de FPRL de Princess Risborough-Inglaterra, en los cuales se establece una aplicación directa, cuando se está secando maderas de 4 cm. Para espesores entre 4 y 6.5 cm, se debe aumentar un 5% de la humedad relativa en cambio que para espesores mayores a 7 cm el incremento será del 10%.

A continuación se mostrará un horario de secado (ver tabla 1.1) apropiado para maderas que no son propensas a las rajaduras, con ello quedará establecido como se pretende automatizar el secadero de la empresa DYMAP. El alcance del proyecto es proponer la automatización para tres especies madereras, dichos horarios se especificarán en el siguiente capítulo.

Tabla 1.1. Ejemplo de un horario de secado.

<b>Horario de Secado</b>	<b>Contenido humedad madera (%)</b>	<b>Temperatura termómetro seco (°C)</b>	<b>Temperatura termómetro húmedo (°C)</b>	<b>Humedad relativa aproximada (%)</b>
A	Verde	35	30.5	70
	60	35	28.5	60
	40	38	29	50
	30	43.5	31.5	40
	20	48.5	34	35
	15	60	40.5	30

### 1.10. ELEMENTOS DEL SECADO

Luego de establecer las variables que controlan el proceso de secado se puede esquematizar, como se indica en la figura 1.7, los elementos constitutivos de un horno de secado, orientados a la automatización.

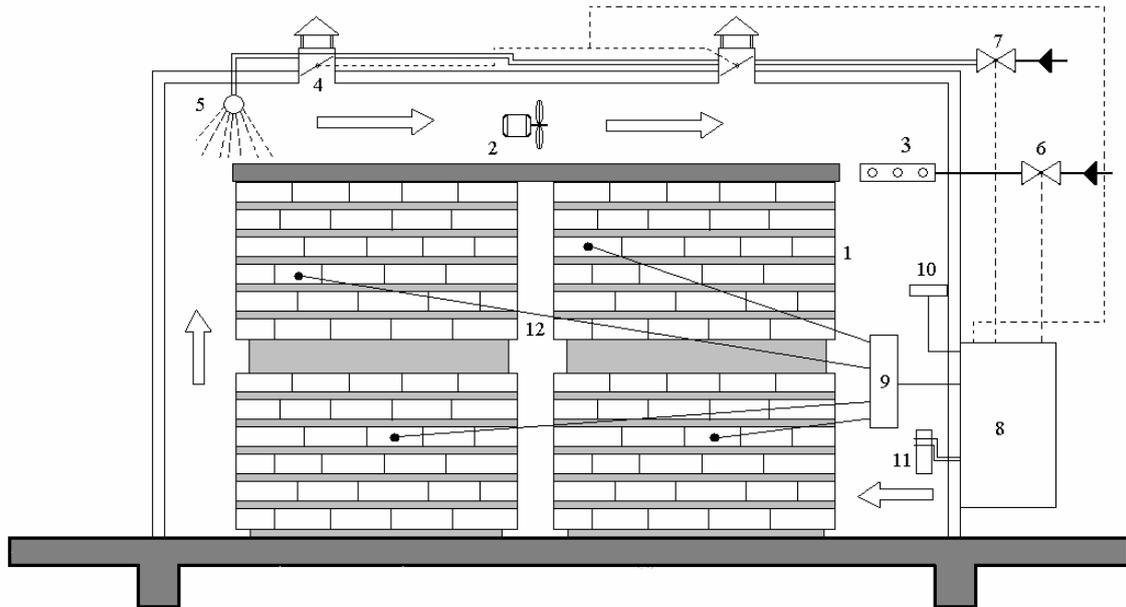


Figura 1.7. Esquema general de un horno de secado de madera.

- 1) Madera
- 2) Sistema de Ventilación
- 3) Sistema de Calefacción
- 4) Válvulas de entrada y salida de aire
- 5) Sistema de Humidificación
- 6) Válvula para control de Calefacción
- 7) Válvula para control de Humidificación
- 8) Equipo de control y acondicionamiento de señales.
- 9) Equipo de medición de la humedad en la madera.
- 10) Sensor de Temperatura en Seco
- 11) Sensor de Temperatura con Humedad ambiente.
- 12) Sensores para la medición del contenido de humedad en la madera.

## **CAPITULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DEL HORNO DE SECADO**

#### **2.1. GENERALIDADES**

La empresa DYMAP en la actualidad mantiene funcionando su secador de madera sin establecer programas adecuados de secado, además el control de todos los procesos se lo realiza en forma manual.

En este capítulo se describirá que equipos posee la empresa y las maderas que van a ser secadas. Además en este mismo capítulo una parte está orientada a esbozar como se hará el diseño del automatismo.

#### **2.2. UBICACIÓN DEL HORNO DE SECADO**

La fábrica de la empresa DYMAP en donde se encuentran las maquinarias, galpones y el horno de secado están ubicadas en las cercanías de la ciudad de Machachi, en la avenida Panamericana Sur Km 39 y es en este sector en donde se analizarán las características ambientales, para determinar los contenidos de humedad final de la madera.

Con los datos que posee la empresa, se ha determinado que el contenido mínimo de humedad será del 12% para las ciudades de Quito y Machachi, que son los lugares en donde se comercializa actualmente la madera.

Se hace importante conocer la altitud y la presión a la que se encuentra la ciudad de Machachi pues los instrumentos se calibrarán de acuerdo a ello, además las cartas psicrométricas deberán ser las adecuadas para esta altitud. Machachi se encuentra

aproximadamente a 3000 metros sobre el nivel del mar, obteniéndose una presión de 52,1 cm<sup>1</sup> de mercurio a esa altura.

### 2.3. ESPECIES Y ESPESORES DE MADERAS A SECAR

Los programas de secado varían de acuerdo a la especie de la madera y al espesor, por lo tanto DYMAP entregó una lista de maderas y espesores que son los más comercializados y para los cuales se realizará la automatización (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1. Tipos de madera a ser secadas.

Nombre Científico	Nombre Común	Espesor (cm)
Humiriastrum procerum	Chanúl	3
Eucaliptus globulus	Eucalipto	3
Pinus radiata	Pino insigne	5

Con los nombres científicos y espesores se investigó los programas más adecuados para el secado, todo esto basado en estudios realizados por la “*Junta de Acuerdo de Cartagena*” (JUNAC), que además relaciona sus procedimientos con los realizados por la FPRL de Princess Risborough. A continuación se presentarán los programas de secado para las tres especies madereras.

- *Para el Humiriastrum procerum (Chanúl)*

En la tabla 2.2 se puede ver las fases de secado correspondientes al contenido de humedad de la madera, con las respectivas variables que deben controlarse, como temperatura y humedad relativa.

<sup>1</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, página 2-16

Tabla 2.2. Fases de secado para la madera de chanúl.

Contenido de humedad de la madera (%)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	Humedad Relativa aproximada (%)
Verde (100-40)	40	37	80
40 (39-30)	40	35	70
30 (29-25)	45	37	60
25 (24-20)	50	40	50
20 (19-15)	55	42	40
Menor al 15 (14-10)	55	37	30

- *Para el Eucaliptus globulus (Eucalipto)*

Tabla 2.3. Fases de secado para la madera de Eucalipto.

Contenido de humedad de la madera (%)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	Humedad Relativa aproximada (%)
Verde (100-60)	41	38	85
60 (59-40)	41	37	80
40 (39-35)	44	39	75
35 (34-30)	44	38	70
30 (29-25)	47	40	65
25 (24-20)	52	43	60
20 (19-15)	60	48	50
15 (14-10)	66	49	40

- *Para el Pinus radiata (Pino insigne)*

En este caso a la humedad relativa se le debe aumentar un 5% por tratarse de un espesor de 5 cm, la teoría de este incremento se vio en el primer capítulo.

Tabla 2.4. Fases de secado para la madera de Pino insigne.

Contenido de humedad de la madera (%)	Termómetro Seco (°C)	Termómetro Húmedo (°C)	Humedad Relativa aproximada (%)
Verde (100-60)	50	47	80 + 5% = 84,0
60 (59-40)	55	49	70 + 5% = 73,5
40 (39-30)	60	51	60 + 5% = 63,0
30 (29-25)	65	52	50 + 5% = 52,5
25 (24-20)	70	54	40 + 5% = 42,0
20 (19-10)	70	50	35 + 5% = 36,8

## 2.4. INFRAESTRUCTURA INSTALADA DEL SECADOR DE MADERA

Para proceder al secado primero se coloca en el horno solo una clase de madera, en igualdad de espesor. La capacidad de la cámara de secado es de 30  $m^3$  (únicamente volumen de madera) y los equipos que utilizan son sistemas de calefacción. Un sistema de ventilación unidireccional que no es apagado durante el secado, así como equipos para humidificar la madera durante periodos cortos de tiempo todo controlado de forma manual.

Posee además cuatro ventilas, dos de las cuales son usadas para dejar salir el aire húmedo y las dos siguientes para permitir el ingreso de aire fresco.

Para aislar térmicamente la cámara de secado con el ambiente se tiene primero una construcción de ladrillo, revestida por el interior con fibra de vidrio de 2 cm de espesor y laminas de tol galvanizado para que resistan las condiciones variables al interior del horno.

### 2.4.1. SISTEMA DE CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción está conformado por un caldero de fabricación nacional, el cual posee un quemador que funciona con gas licuado de petróleo de la marca Wayne, modelo HSG 400 que produce desde 200.000 a 400.000 Btu/hr.

El quemador tiene incorporado un control de la marca Honeywell S-89-F, que hace que el funcionamiento sea confiable y seguro, pues comanda tres válvulas, la primera que permite el ingreso de gas al sistema, la segunda es una válvula reguladora de presión para la llama y la tercera que es una válvula redundante que permite la desconexión automática del sistema. Cada una funciona con 24 VAC, además posee un sensor que detecta la presencia de llama y en caso de que se extinguiera por cualquier motivo, el controlador tratará de reiniciar la secuencia de encendido, desconectando por completo el quemador si en el segundo intento no llegara a funcionar, en si se puede decir que se está trabajando con un equipo que garantiza su funcionamiento.

Es importante mencionar que el controlador Honeywell S-89-F solo comanda el encendido y apagado del quemador, dependiendo de la presión a la que se encuentra el caldero, esto es de 0 a 60 PSI. El vapor producido por el caldero pasa a través de un sistema de radiadores colocados estratégicamente en la parte superior del horno, por lo que el ingreso de vapor a los radiadores es lo que se controlará con la automatización, para subir o bajar la temperatura de acuerdo a los programas de secado.

En la figura 2.1<sup>2</sup> que se muestra a continuación, se representa como está controlado el quemador Wayne.

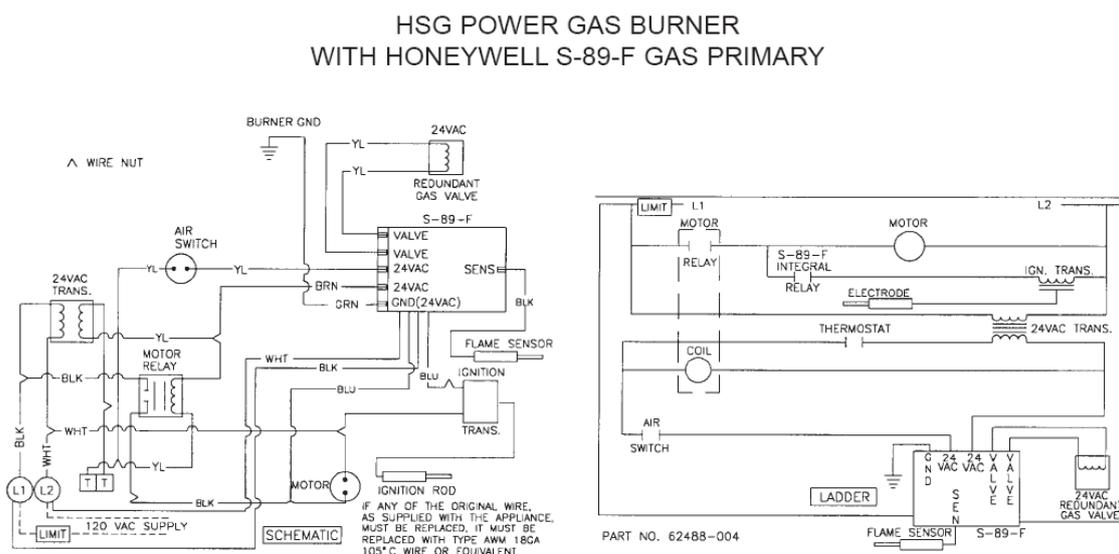


Figura 2.1. Sistema de control para el quemador Wayne.

<sup>2</sup> Extraído de Wayne Combustion System “Gas burners models HSG 200/400” página 10, archivo .pdf.

### 2.4.2. SISTEMA DE VENTILACIÓN

Para permitir una distribución uniforme del calor, los ventiladores fueron colocados en la parte superior, de esta forma toda la cámara de secado se encuentra bajo las mismas condiciones ambientales.

Existen dos ventiladores centrífugos de la marca Dayton 7c074, con motores de  $\frac{3}{4}$  de HP y alimentación trifásica, cada uno de estos produce 3100 CFM (Cubic feet per minute) a 692 RPM; dicho flujo de aire es suficiente para evaporar rápidamente la humedad de la madera por sobre el PSF. Con estas condiciones de funcionamiento se tiene una velocidad aproximada de 7 m/s. Pero este flujo de aire deformará la madera bajo el PSF, por lo tanto se instalará un variador de frecuencia que regule la salida de los ventiladores, para producir aproximadamente una velocidad de 2 m/s<sup>3</sup>.

Como los motores son de  $\frac{3}{4}$  HP cada uno, se escogió un variador de frecuencia de la marca LG Industrial System modelo SV015IG5-2 con entrada trifásica de 200 – 230 VAC que maneja 2HP. Dicho equipo puede ser comandado mediante un controlador, por lo que el proyecto se estructura de forma correcta para una automatización completa.

La forma como debe operar el equipo en unión con el controlador escogido, se desarrollará en el capítulo III.

### 2.4.3. SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN

La cámara de secado de DYMAP, posee aspersores que permiten el ingreso de agua en pequeñas partículas, añadiendo humedad a la madera. El control de humidificación es realizado de acuerdo al criterio del operador cerrando y abriendo las válvulas cuando se considere pertinente; sin tomar en cuenta instrumentos de medición, pues la empresa no posee este tipo de sensores lo que hace que el proceso de secado sea inestable.

---

<sup>3</sup> Valor sugerido por los Ingenieros de la empresa DYMAP.

## 2.5. CRITERIOS Y VARIABLES PARA EL CONTROL DE HUMIDIFICACIÓN

La humedad relativa no es un parámetro aislado de la temperatura, pues el aire puede absorber mayor cantidad de agua, si existe un incremento de calor al interior del horno. Como lo demuestra la ecuación 2.1.

$$HA = \frac{2.88p}{T} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

HA = Humedad absoluta saturada

p = Presión de vapor en cm de Hg

T = Temperatura del aire en grados Kelvin = °C +273

HA es la humedad absoluta saturada y sus unidades son  $\frac{g}{m^3}$ , que quiere decir que cuando la humedad relativa se encuentra al 100% (lo que el sensor marca) se tiene determinada masa de vapor de agua en un metro cúbico de aire.

La tabla 2.5, que se presenta a continuación nos entrega el valor de po y de HA para que los cálculos se simplifiquen.

Para tener un mejor enfoque de lo mencionado se presentará el siguiente ejemplo: Si la temperatura es de 40°C y el sensor de humedad marca 80%, se quiere saber cuanta masa de agua se tendrá que inyectar en el horno para subir la humedad a un 90%.

La ecuación 2.1 antes expuesta y la tabla 2.5 se complementarán para obtener el siguiente resultado:

$$HA = \frac{2887x(5.532)}{40 + 273}$$

$$HA = 51.0 \frac{g}{m^3}$$

---

<sup>4</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera, Pag 2-5

Tabla 2. 5. Presión de vapor saturado (po) y humedad absoluta saturada (HAo).<sup>5</sup>

TEMPERATURA		po cm Hg	HAo g/m <sup>3</sup>	TEMPERATURA		po cm Hg	HAo g/m <sup>3</sup>
°C	°F			°C	°F		
0	32.0	0.458	4.8	54	129.2	11.25	99.3
2	35.6	0.529	5.6	56	132.8	12.38	108.6
4	39.2	0.610	6.4	58	136.4	13.61	118.7
6	42.8	0.701	7.3	60	140.0	14.94	131.0
8	46.4	0.805	8.3	62	143.6	16.38	141.2
10	50.0	0.921	9.4	64	147.2	17.93	153.6
12	53.6	1.052	10.7	66	150.8	19.61	167.0
14	57.2	1.200	12.1	68	154.4	21.42	181.3
16	60.8	1.363	13.6	70	158.0	23.37	198.0
18	64.4	1.548	15.4	72	161.6	25.46	213.1
20	68.0	1.754	17.3	74	165.2	27.72	230.6
22	71.6	1.983	19.4	76	168.8	30.14	249.3
24	75.2	2.238	21.8	78	172.4	32.73	269.2
26	78.8	2.521	24.4	80	176.0	35.51	294.0
28	82.4	2.835	27.2	90	194.0	52.58	424.0
30	86.0	3.182	30.4	100	212.0	76.00	598.0
32	89.6	3.566	33.8	110	230.0	107.46	827.0
34	93.2	3.990	37.5	120	248.0	148.91	1,122.0
36	96.8	4.456	41.6	130	266.0	202.61	1,451.0
38	100.4	4.969	46.1	140	284.0	271.09	1,968.0
40	104.0	5.532	51.1	150	302.0	357.04	2,437.0
42	107.6	6.150	56.4	160	320.0	463.60	3,265.0
44	111.2	6.826	62.2	170	338.0	594.20	3,872.0
46	114.8	7.565	68.5	180	356.0	751.93	4,792.0
48	118.4	8.371	75.3	190	374.0	941.21	5,869.0
50	122.0	9.251	83.2	200	392.0	1,165.65	7,114.0
52	125.6	10.210	90.7				

Estos valores indican que cuando la humedad es del 100% a 40°C se tiene 51g de vapor de agua en un metro cúbico. Pues como el sensor ha marcado 80% y el valor deseado es del 90% entonces se procede de la siguiente forma.

$$\text{Con el 80\% se tiene: } 0.8 \times 51 = 40.8 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Con el 90\% se tiene: } 0.9 \times 51 = 45.9 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Si se resta los resultados anteriores se obtiene  $5.1 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$ , que será el valor de cuanta agua, se tiene que hacer ingresar en un metro cúbico de aire, para conseguir un incremento del 10% en la humedad.

<sup>5</sup> Extraído del Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera, página 2-6

Como la capacidad total de la cámara de secado es de **95.11**  $m^3$  se multiplica por la cantidad de agua y se obtiene 485.1 g de vapor de agua que deben inyectarse en el horno para incrementar 10% en la humedad. Con lo que el problema queda resuelto.

El momento de inyectar agua en el horno, la madera empieza un proceso en el cual absorbe y expulsa la nueva humedad, hasta llegar a un punto en el cual dicha humedad se estabiliza con el medio ambiente; a este proceso se lo conoce como homogenización y tiene un periodo establecido de **45 minutos**. Por ello los sensores que miden la variable humedad lo harán en éstos intervalos de tiempo.

El mismo criterio antes mencionado debe aplicarse cuando se desea sacar humedad del horno, con la diferencia que las ventilas que permiten el ingreso de aire fresco y la salida del aire húmedo serán abiertas simultáneamente.

Como la válvula que permitirá el ingreso de agua al horno es un solenoide, se tendrá que calcular el tiempo de apertura de dicha válvula, para que pase el caudal que el equipo ha especificado. Cabe aclarar que el caudal es dependiente de la presión, por ello en el proceso de diseño se establecerán las condiciones adecuadas para mantener dicha presión constante.

## **2.6. CÁLCULO DE TUBERIAS PARA HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN**

### **2.6.1. HUMIDIFICACIÓN**

Se debe colocar un tanque de almacenamiento de agua, en la parte superior del horno, para que exista una presión constante del líquido hacia el interior de la cámara de secado. La boya que se ve en la figura 2.2, será el actuador para la válvula que permita el ingreso de agua hacia el reservorio. La variación de nivel para la apertura o cierre de dicha válvula será de 1 cm, con lo cual se garantiza una presión constante cuando el agua ingresa al horno.

Se ha pensado también en las perturbaciones que pueden afectar a la boya por tanto la tubería y la válvula para el ingreso de agua al reservorio serán instaladas en la cuarta parte superior del tanque.

Además como se verá más adelante, la tubería de salida hacia el secador será de ¼ de pulgada lo que asegura aun más un flujo lento pero constante, al tener un mayor control.

Es necesario que los elementos que permiten el ingreso de agua al reservorio sean de mayor diámetro que los de salida, para mantener el tanque siempre lleno, por ello se ha pensado en tubos de ½ pulgada en esta parte del diseño.

La figura 2.2, muestra como se implementará el sistema.

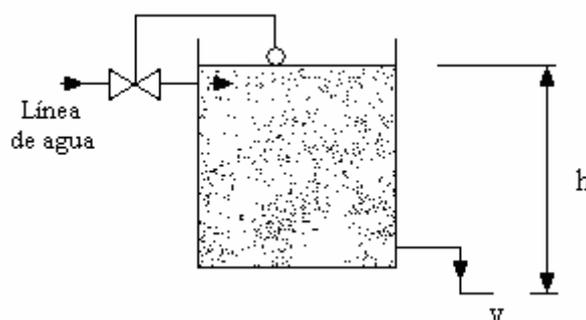


Figura 2.2. Tanque de almacenamiento de agua y altura de la válvula.

En donde la formula para calcular la salida del líquido será:

$$v = \sqrt{2gh} \quad ^6 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

La altura del tanque incluyendo la de la tubería hasta llegar a los aspersores será de 1.55m. Con lo que se tiene una velocidad de  $5.51 \frac{m}{s}$ .

El diámetro de la tubería determinará cuanta cantidad de líquido sale por segundo. Si se coloca una tubería con un diámetro pequeño se tendrá un mejor control del caudal inyectado, para lo cual se escogió una de ¼ de pulgada.

<sup>6</sup> Referente a física fundamental 1 de Michel Balero pag. 175

$$\text{El caudal será} = \pi r^2 v = 3.1416 * 0.00153^2 * 5.51 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Obteniendo una respuesta de:  $40.59 \text{ cm}^3 / \text{seg}$

*Que será la cantidad de liquido que pasará en un segundo*, entonces por ejemplo si se debe inyectar un volumen de  $5 * 10^{-3} \text{ m}^3$  se debe tener abierta la válvula durante 29 segundos.

### 2.6.2. DESHUMIDIFICACIÓN

En este proceso de deshumidificación intervienen muchas más variables como:

- Humedad del ambiente, se pensará que no influye pero al abrir las válvulas que permiten el ingreso de aire fresco, también ingresa humedad en dicho aire.
- Caudal de salida del aire húmedo.
- Caudal de ingreso de aire fresco.
- Temperatura al exterior del horno.

Determinar un modelo matemático que describa este proceso será muy complejo, de allí que mediante la experiencia de la empresa y con las ventilas que tienen instaladas para el ingreso y salida de aire (tubos de 2 pulgadas), se llegó a la conclusión que para disminuir un 2% en la humedad relativa se deben mantener abiertas, las ventilas, simultáneamente durante 7 minutos.

### 2.7. EQUIPOS DE MEDICIÓN

La empresa dispone de equipos para medición de: humedad en la madera, medidor de temperatura, así como un medidor de velocidad del viento. Cada uno de estos entrega información visual para el operador de la planta. Por lo tanto esta instrumentación no puede ser usada en el proceso de diseño de la automatización.

En el siguiente capítulo se escogerán los sensores, actuadores y el controlador del proceso.

## 2.8. CONSIDERACIÓN IMPORTANTE CON EL MEDIDOR DE HUMEDAD DE LA MADERA

“La temperatura de la madera afecta los valores de la resistencia eléctrica, por lo que la lectura afectada con aparatos eléctricos debe ser corregida”<sup>7</sup>

En la figura 2.3 se puede ver como los valores de humedad se alejan de la realidad con los cambios de temperatura, de allí que en la actualidad existen equipos que compensan los valores de manera automática y será este tipo de equipo el se seleccionará para obtener una automatización confiable.

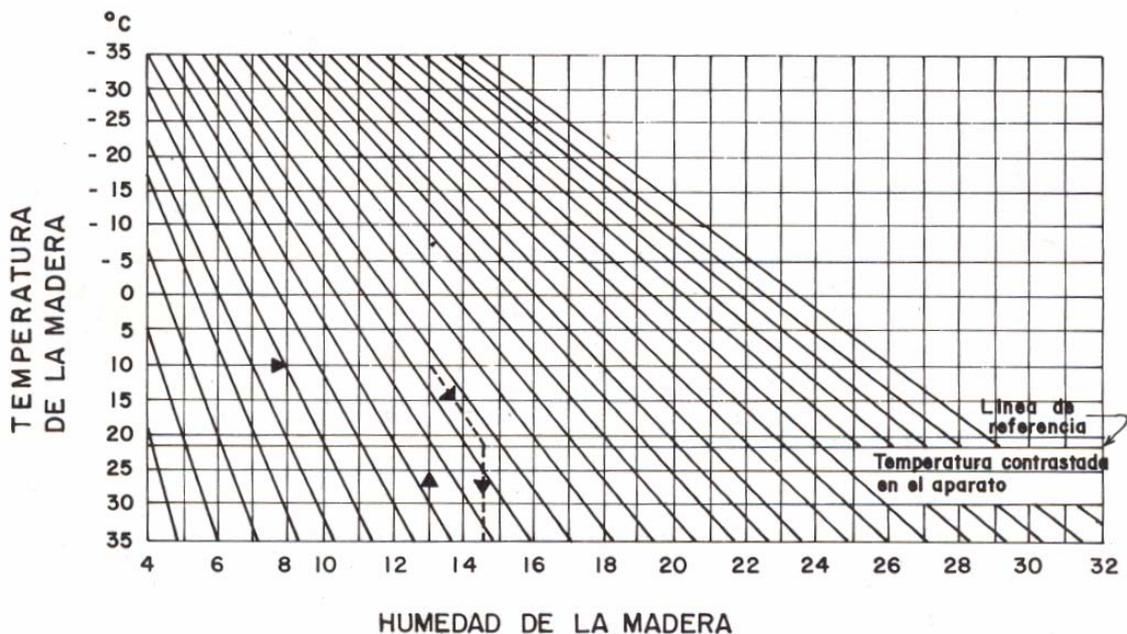


Figura 2.3. Nomograma para realizar las correcciones de temperatura.

<sup>7</sup> Manual del grupo andino para el secado de maderas, página 1-15.

## CAPITULO 3

### DISEÑO, SIMULACIÓN Y EQUIPAMIENTO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL HORNO DE SECADO DE MADERA DE LA EMPRESA DYMAP

#### 3.1. SELECCIÓN DE EQUIPAMIENTO

Antes de seleccionar los equipos se debe entender como está conformado el automatismo, por ello el diagrama de flujo representado en figura 3.1, muestra cada una de las partes inmersas en el proceso automatizado de secado.

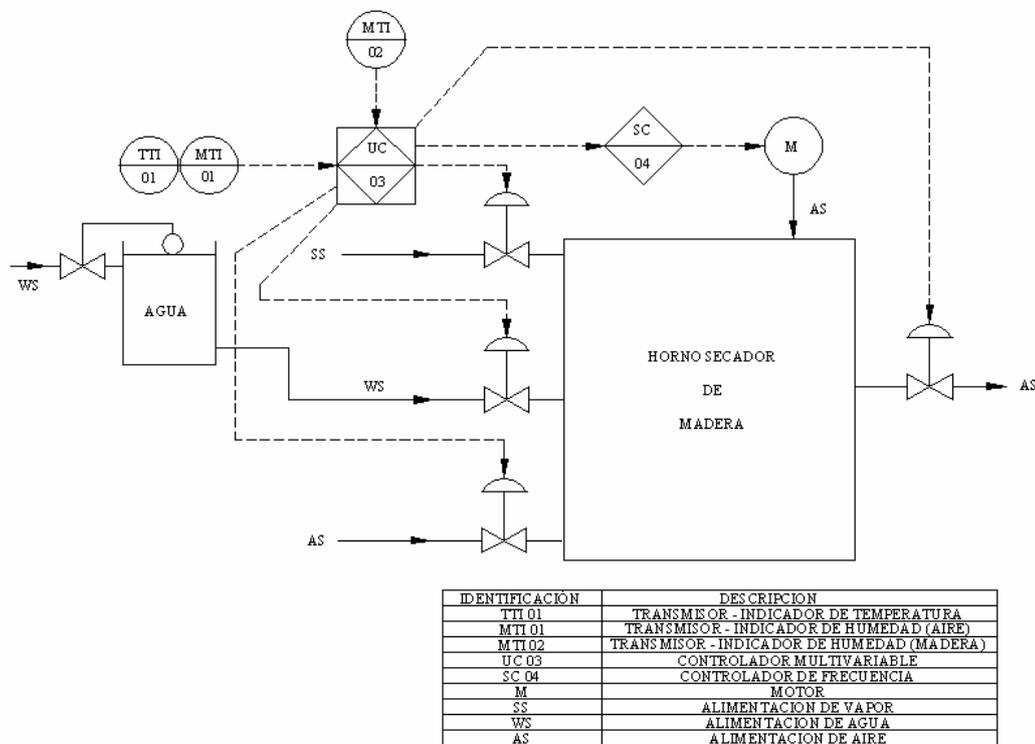


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la automatización.

Es muy claro para el diseñador que una buena selección de equipos, garantiza un buen funcionamiento de la planta, de allí que se equilibrará entre eficiencia y costo moderado.

El equipo seleccionado se clasificará de acuerdo al tipo de entradas y salidas.

### 3.1.1. SEÑALES DE ENTRADA

Se ha clasificado a las entradas en dos grupos: análogos y digitales.

Tabla 3.1. Entradas análogas.

<b>Variable a controlar</b>	<b>Sensor</b>	<b>Rango</b>	<b>Tipo de señal</b>	<b>Observaciones</b>
Temperatura	Marca Greisinger	-40 a 120°C	Voltaje de 0 a 10 V	Rango escalable.
Humedad Relativa (HR)	Marca Greisinger	0 a 100%	Voltaje de 0 a 10 V	Rango escalable. Compensación de temperatura.
Humedad de la Madera	Marca Greisinger	4 a 100%	Voltaje de 0 a 1 V	Compensación de temperatura manual o automática. Rango escalable.

Como el sensor de humedad de la madera entrega un voltaje de 0 a 1 voltio, se usará un amplificador de voltaje marca ADAM serie 3014, para que entregue una señal de 0 a 10 voltios para obtener mayor precisión. Las hojas técnicas de todos estos equipos están en los anexos 2, 3 y 7

Tabla 3.2. Entradas digitales.

Señales de control	Tipo de dispositivo	Observaciones
Encendido del sistema <i>ON</i>	Pulsador	Voltaje 24VDC
Reset y Stop del sistema <i>OFF</i>	Pulsador	Voltaje 24 VDC
Selector del tipo de madera. Digito menos significativo	Interruptor	Voltaje 24VDC Combinando los interruptores se elige el tipo de madera.
Selector del tipo de madera. Digito más significativo	Interruptor	Voltaje 24 VDC. Combinando los interruptores se elige el tipo de madera.

Como se puede ver es indispensable una fuente de + 24 VDC y se ha seleccionado una de la marca “red lion” modelo PSDR de 4 amperios para que cumpla con los requisitos de diseño. La hoja técnica de este equipo esta adjunta en el anexo 6.

### 3.1.2. SEÑALES DE SALIDA

Los actuadores seleccionados dependiendo de las variables se muestran en la tabla 3.3.

Para seleccionar el controlador adecuado, se observa que se tienen tres entradas análogas, cuatro entradas digitales y ocho salidas digitales que de preferencia sean manejadas con relé, por lo tanto se escogió un “Zelio Logic Smart Relay” modelo: SR3-262BD que posee similares funciones que un PLC, a bajo costo.

Tabla 3.3. Salidas digitales.

<b>Variable controlada</b>	<b>Actuador</b>	<b>Señal que comanda al actuador</b>	<b>Observaciones</b>
Temperatura	Válvula solenoide	110 VAC	Válvula especial para soportar vapor a presión.
Humidificadores	Válvula solenoide	110 VAC	Con 110 V válvulas se abren.
Deshumidificadores	Válvulas solenoides	110 VAC	Con 110 V válvula se abre.
Velocidad Viento	Variador de frecuencia marca LG Industrial System modelo SV015IG5-2	Contactos cerrado	Señal conectada al común del variador 1 para ON y OFF 1 para alta frecuencia. 1 para baja frecuencia. Total 3 salidas.
Alarma General	Sirena	110 V AC	Sirena se activa cuando existe cualquier falla.
Indicador de funcionamiento	Foco	110 V AC	Encendido solo cuando el sistema funcione.

Como el diseño requiere flexibilidad, capacidad de expansión, se ha pensado en este controlador que posee 10 entradas digitales, 6 entradas analógicas, y 10 salidas a relé, además, puede expandirse en un futuro con módulos de entradas y salidas análogas así como módulos de comunicación y módulos de temperatura.

La programación de este equipo puede escogerse entre lenguaje “Ladder” o “FDB (Function block diagram)”. Este último se escogió por poseer bloques más complejos de forma predefinida.

Los equipos seleccionados para la tabla 3.3 tienen sus hojas técnicas en los anexos 1, 4 y 5.

### 3.2. CONTROL PARA CADA PROCESO

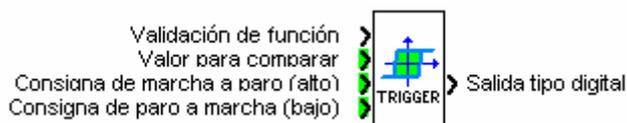
Analizar el control más adecuado para cada proceso, es un paso muy importante en el diseño por eso se estudiará lo mencionado a continuación.

#### 3.2.1. TIPO DE CONTROL PARA TEMPERATURA

Se ha seleccionado un control ON – OFF con histéresis para manejar la temperatura, pues son admisibles en el proceso fluctuaciones de esta variable sin afectar la calidad de la madera. Por lo que un control PID no es necesario. Al hablar de un rango admisible de control sobre el punto de referencia, se ha tomado como variación  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Se escoge además este tipo de control, por que un aumento de un grado de temperatura lleva alrededor de 1 hora, por lo que la válvula que se comandará tendrá una vida útil mayor al realizar menos cambios de estado.

El bloque de programación que permite hacer este proceso de manera directa es el “TRIGGER DE SCHMITT”, en el cual se coloca los valores como se muestran a continuación:



La salida se la representa en la figura 3.2.

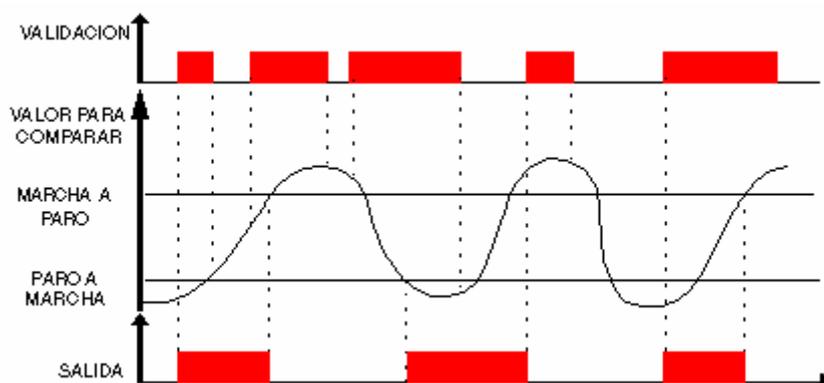


Figura 3.2. Funcionamiento del bloque de control “TRIGGER DE SCHMITT”

### 3.2.2. TIPO DE CONTROL PARA HUMIDIFICADOR Y DESHUMIDIFICADOR

Los cálculos realizados en el capítulo dos, así como los tiempos de apertura y cierre de las válvulas son un complemento para determinar que tipo de control debe realizarse, con respecto a la variable humedad. Al hacer un análisis simple con relación a la temperatura por ejemplo, si no se inyecta calor en el horno este perderá temperatura de manera lenta, por el aislamiento térmico, etc, lo que no ocurre con la humedad, pues si no se inyecta agua en el horno, la humedad se incrementará de todas maneras pues la madera por el efecto de la temperatura tiende a expulsar agua hacia el horno. Por tal motivo se ha pensado en un control con histéresis que se ha denominado de dos fases, **la primera**, que comande el humidificador para incrementar la humedad hasta el límite máximo, luego de dicho límite el humidificador queda desconectado pero la humedad de la cámara sigue creciendo, de allí que se pensó en la **segunda fase**, en la que entra a funcionar el deshumidificador para reducir la humedad de la cámara de manera paulatina, hasta el límite inferior. Todos los tiempos analizados, así como los de homogenización del horno serán implementados, respetando el control fundamental que es el de histéresis.

La respuesta del sistema de control diseñado, tendrá la forma indicada en figura 3.3.

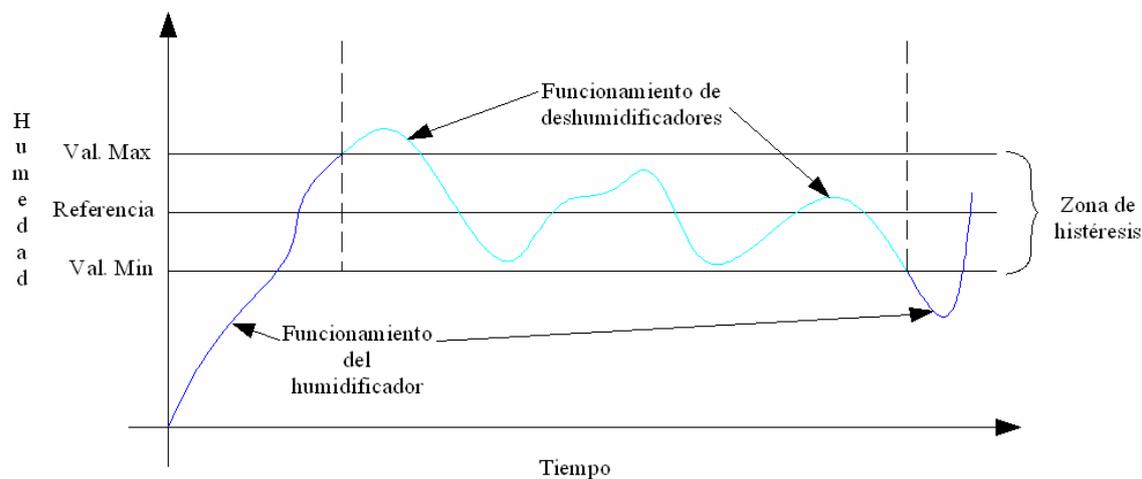


Figura 3.3. Respuesta de la variable humedad.

Con el diseño propuesto se pretende mantener a la humedad en un rango máximo y mínimo, con una respuesta atenuada pues los procesos en el secado son lentos. Es importante aclarar que el valor de Referencia (Humedad Relativa), visto en la figura 3.3, no es un valor fijo pues está determinado por las tablas 2.2, 2.3 y 2.4.

### 3.2.3. TIPO DE CONTROL PARA LA VARIACIÓN DE VELOCIDAD

Este control es dependiente de la humedad de la madera, por lo tanto cuando ésta sea mayor al 30% los ventiladores deben trabajar a altas revoluciones y cuando sea menor al 30% los ventiladores trabajarán a bajas revoluciones, por lo mencionado en los dos capítulos anteriores. Al tener dos frecuencias establecidas se ha seleccionado un variador, en el cual se puedan escoger dichos valores y que además para activar el tipo de frecuencia, se tengan dos contactos para recibir las dos salidas del controlador Zelio.

Por lo tanto el control a implementar será un ON-OFF, que automáticamente escogerá a que frecuencia debe trabajar.

La figura 3.4 mostrará como se realizarán las conexiones.

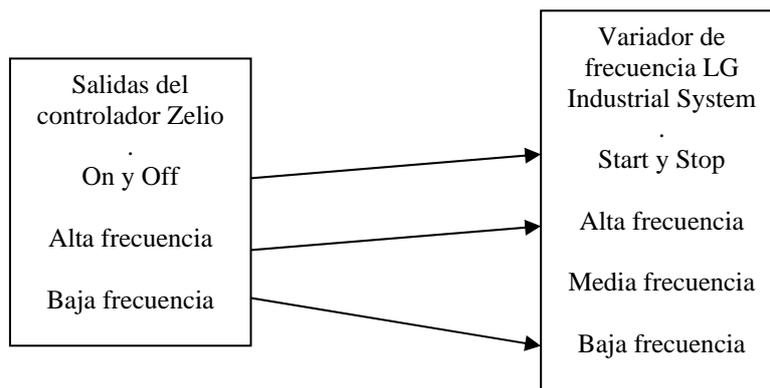


Figura 3.4. Esquema de conexión entre el controlador y el variador.

### 3.3. PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR ZELIO

La programación para esta automatización requiere de más de 200 sub bloques entre los que se encuentran funciones and, contadores, temporizadores, etc. Por ello solo se presentarán los bloques que contendrán a los “sub bloques” destinados a un control específico como por ejemplo “Control de temperatura”. Lo único que se ha omitido en el gráfico de la figura 3.5 son las conexiones específicas pero se han adjuntado las conexiones más representativas.

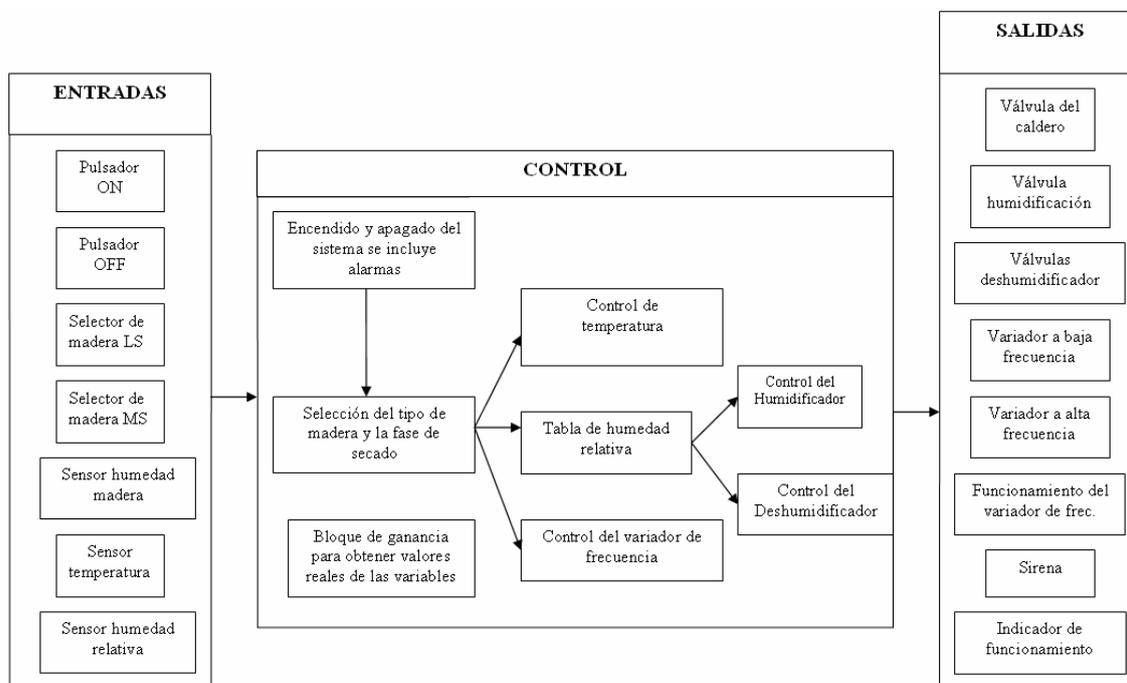


Figura 3.5. Bloques de programación del controlador Zelio.

El diagrama de flujo mostrado en la figura 3.6, da una idea más amplia de cómo se realizó la programación, además se explicará el funcionamiento total del sistema a continuación.

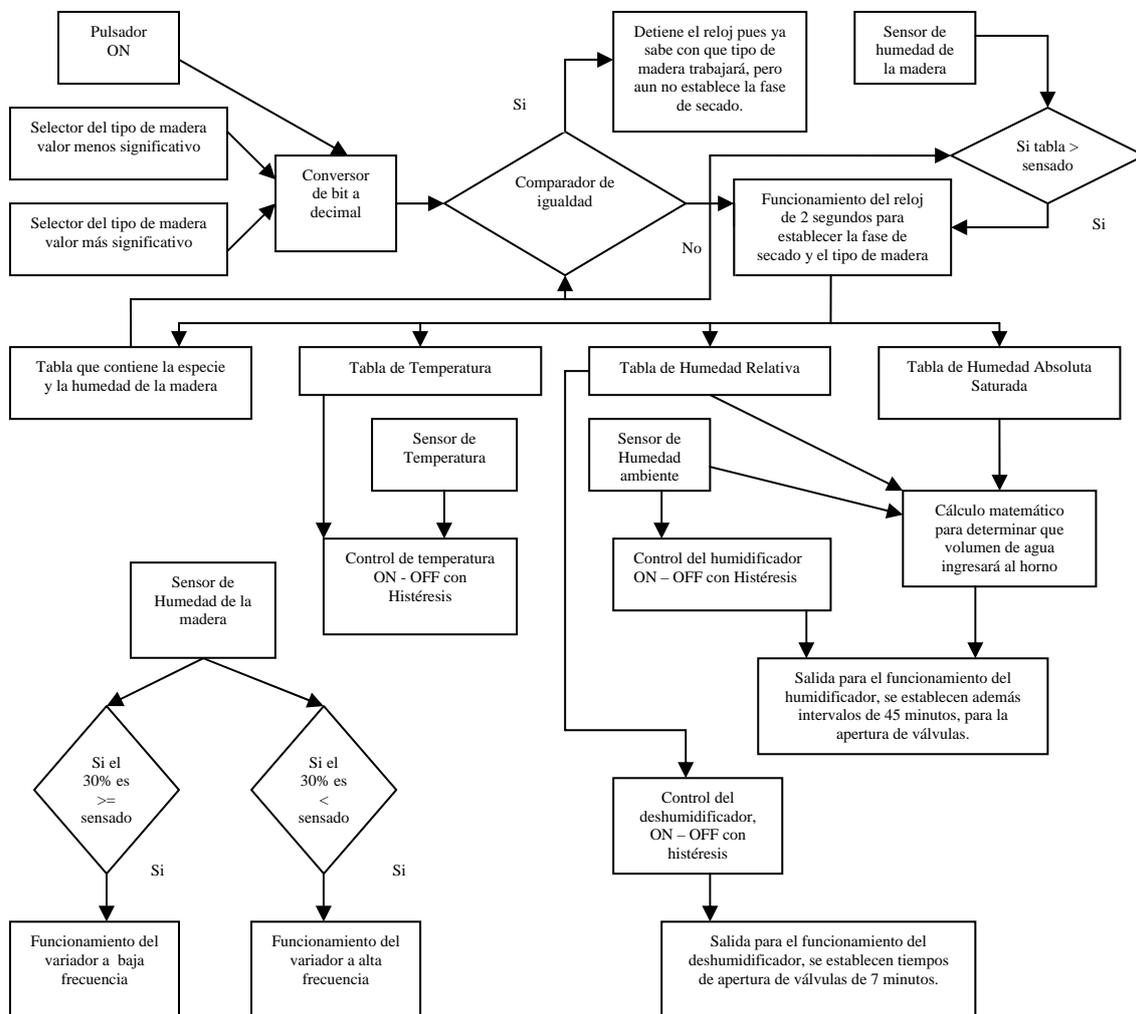


Figura 3.6. Flujograma de la programación del controlador Zelio.

Luego de haber seleccionado el tipo de madera a secar y haber presionado el botón de ON para iniciar el secado, el bloque de “selección del tipo de madera y la fase de secado” inicia un proceso de barrido, para saber en que parte de las tablas 2.2, 2.3 y 2.4 se debe trabajar, tomando como referencia, a la humedad de la madera en ese momento, esto es que: cuando coincide la humedad de la madera del sensor con la del rango de la tabla se detiene el proceso de barrido y se inicia el secado en esa fase. Como este proceso de barrido dura alrededor de 52 segundos, un temporizador espera 1 minuto para iniciar todo

el proceso de secado. Luego de lo cual los siguientes bloques: Control de temperatura, Tabla de humedad relativa, Control del variador de frecuencia, Control del Humidificador, Control del Deshumidificador, inician su funcionamiento, pues el controlador ya sabe a que temperatura y humedad debe llegar la cámara de secado y lo que hará el control de temperatura es poner el valor de esa variable como **referente** para que un sub bloque de histéresis realice el control con los límites establecidos.

El mismo concepto de histéresis se aplicará para humidificar y deshumidificar como lo muestra la figura 3.3. De la misma manera se carga el valor **referente** de humedad, para que los sub bloques de histéresis realicen el control. Para humidificar el horno, es necesario saber, a que temperatura va a llegar la cámara de secado en la fase que se encuentra trabajando en ese momento, por ejemplo si la temperatura debe llegar a 45°C (ver tabla 2.2) el horno esta en capacidad de absorber determinada cantidad de agua antes que se sature su humedad, por ello la “humedad absoluta saturada” (HAo) es el inicio para saber cuanta agua debe inyectarse en el horno, si se continua con el ejemplo: a esos 45 °C el HAo será de 51.1 g/m<sup>3</sup> (ver tabla 2.5), que será la tabla que debe cargarse en un sub bloque para proceder con los cálculos de tiempo de apertura de válvula (ver sección “2.6.1. HUMIDIFICACIÓN”).

El bloque deshumidificador entra a funcionar (apertura de válvulas 7 minutos para reducir humedad 2%) cuando la humedad ha excedido el limite máximo permitido (ver figura 3.3). Ese proceso también se lo logra con un sub bloque de histéresis pero configurado de diferente manera (ver figura 3.15). Con más detalle se analizará esto más adelante.

Para el control de variación de frecuencia solo se toma la humedad de la madera como referente y cuando esta variable está sobre el 30% un sub bloque de comparación analiza estos datos y manda una señal para que el variador trabaje a altas revoluciones, de igual manera se hará, para que el variador trabaje a bajas revoluciones cuando la humedad de la madera sea menor al 30%.

Cuando el secado ha finalizado el bloque de “encendido y apagado del sistema se incluye alarmas” desenclavará todo, con un sub bloque “set reset” que permite la desconexión total del sistema.

El funcionamiento de cada sub bloque utilizado como: temporizador, ganancia, display, etc, será visto en el anexo 8

### 3.3.1. ENTRADAS FÍSICAS DEL PROGRAMA

Las entradas digitales están marcadas en el controlador desde la I1 a la IA, así como las entradas análogas desde la IB a la IG. La figura 3.7 muestra las conexiones físicas utilizadas.

Entrada	No	Símbolo	Parámetros	Comentario
I1	B92		No hay parámetros	ON
I2	B93		No hay parámetros	OFF
I3	B132		No hay parámetros	Selector tipo de madera LS
I4	B133		No hay parámetros	Selector tipo de madera MS
IB	B00		Conexión eléctrica en la entrada : 0 - 10	Sensor humedad madera
IC	B26		Conexión eléctrica en la entrada : 0 - 10	Sensor temperatura ambiente
ID	B36		Conexión eléctrica en la entrada : 0 - 10	Sensor humedad relativa

Figura 3.7. Entradas Físicas.

El conversor de señal análoga a digital del controlador es de 8 bits por lo tanto el rango de medición será de 0 a 255, por lo que se debe añadir un bloque de conversión para transformar cada variable en valores de temperatura, humedad relativa y humedad de la madera.

Los rangos de medición son escalables en todos los sensores escogidos, por lo tanto se puede elegir que valor mínimo de la variable corresponderá a 0V y que valor máximo de la variable será 10V. Por ello, para los requerimientos del automatismo los rangos de

temperatura, humedad relativa y humedad de la madera serán de 0 a 100°C para la temperatura y de 0 a 100% para las humedades.

Los valores superior e inferior pueden ser configurados de esta manera, pero nunca se llegarán a estos límites, por la misma constitución del proceso de secado, con ello se garantiza que los equipos trabajarán en condiciones normales.

El bloque de conversión tendrá en su interior la ecuación 3.1, además en la figura 3.8 se puede ver las entradas con sus respectivas ganancias para obtener los valores reales.

$$y = \frac{(conversion.del.controlador) * (100)}{255} \tag{Ecuación 3.1}$$

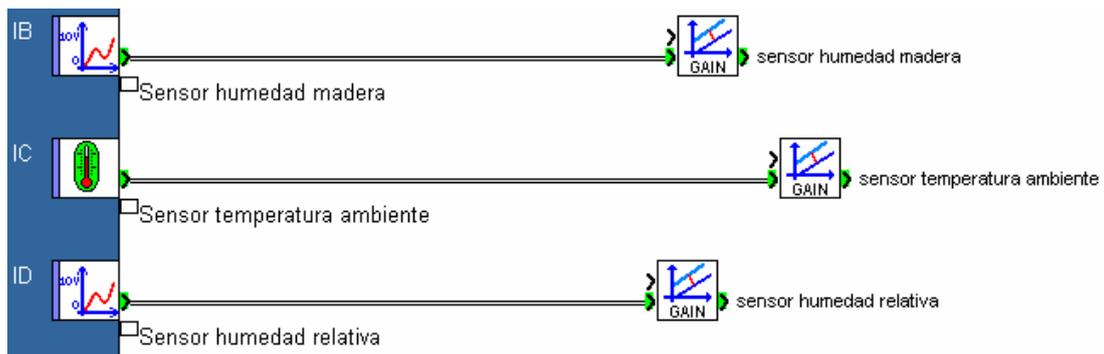


Figura 3.8. Conexiones de las entradas a los bloques de ganancia.

### 3.3.2. SALIDAS FÍSICAS DEL PROGRAMA

Las salidas son digitales y van desde Q1 a QA, según lo ha establecido el fabricante del equipo. A continuación en la figura 3.9 se presentarán las salidas asignadas a cada proceso.

Salida	No	Símbolo	Función	Comentario
Q1	B23		Calefacción	Calefactor
Q2	B39		Válvula	Humidificador
Q3	B40		Válvula	Deshumidificador
Q4	B157		Señal acústica	Alarma general
Q5	B163		Indicador verde	Indicador de funcionamiento
Q8	B119		Ventilador	Variador a baja frecuencia
Q9	B128		Ventilador	Variador a alta frecuencia
Q.A	B214		Contacto normalmente abierto	Run (1) y Stop (0) del variador

Figura 3.9. Salidas físicas.

### 3.3.3. ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA SE INCLUYE ALARMAS

El bloque de programación posee las siguientes funciones:

- Si se presenta algún error en el controlador zelio, se activará la sirena de propósito general y dependiendo del fallo se detendrá todo el sistema o se quedará guardado el error en el módulo.
- Cuando exista un exceso en la temperatura de control superior a 4°C, el sistema se detendrá automáticamente y la sirena comenzará a funcionar.
- Se ha pensado además que cuando exista un corte de electricidad y ésta se reanude nuevamente, todos los equipos se detengan pues las condiciones del secado habrán cambiado y los equipos pueden haberse afectado, también la sirena comenzará a funcionar.
- No se podrá iniciar el proceso de secado si existe una mala selección del tipo de madera.
- Cuando la humedad sea menor o igual al 12%, terminará el secado y todos los equipos se apagarán.

- El sistema automatizado desplegará en la pantalla del controlador los mensajes mostrados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Mensajes que presentará el controlador.

Bloque #	Función	Mensaje
B170	Este mensaje aparecerá cuando el programa inicia en modo RUN.	Antes de presionar on. Seleccione el tipo de madera y verifique todo.
B177	Cuando excede la temperatura de control, el mensaje aparecerá.	Falla en el sistema de calefacción, verifique. Presione off luego on.
B188	Solo se puede seleccionar las maderas tipo 0,1,2, cuando es 3 aparece el mensaje.	Mala selección del tipo de madera. No podrá iniciar el sistema.
B189	Cuando el secado ha terminado el controlador desplegará lo siguiente.	Proceso de secado completo.
B190	Cuando la energía se reanude se presentará el siguiente mensaje.	Corte de electricidad sistema detenido verificar todo pulsar off y on.

El bloque **status** que se ve en la programación de la figura 3.10, tiene varias aplicaciones pero se usarán las más importantes que son “Estado Alarma” que tiene su propio código de falla, identificable en una tabla que se presentará en el manual de usuario. Cuando esto ocurra el controlador mantendrá guardado el código y activará la sirena deteniendo el sistema por completo. Además posee una alarma “Inicio en caliente” que dará un pulso durante un ciclo de trabajo cuando la electricidad se reanude nuevamente, con ello se activará la sirena de propósito general deteniendo el sistema por completo, cabe recalcar que cuando exista un corte de energía, las válvulas, motores, instrumentación o el variador pueden haberse dañado, por eso cuando se reanude la electricidad un operador deberá verificar que cada una de las partes esté en perfectas condiciones, para luego proceder a reiniciar el secado.

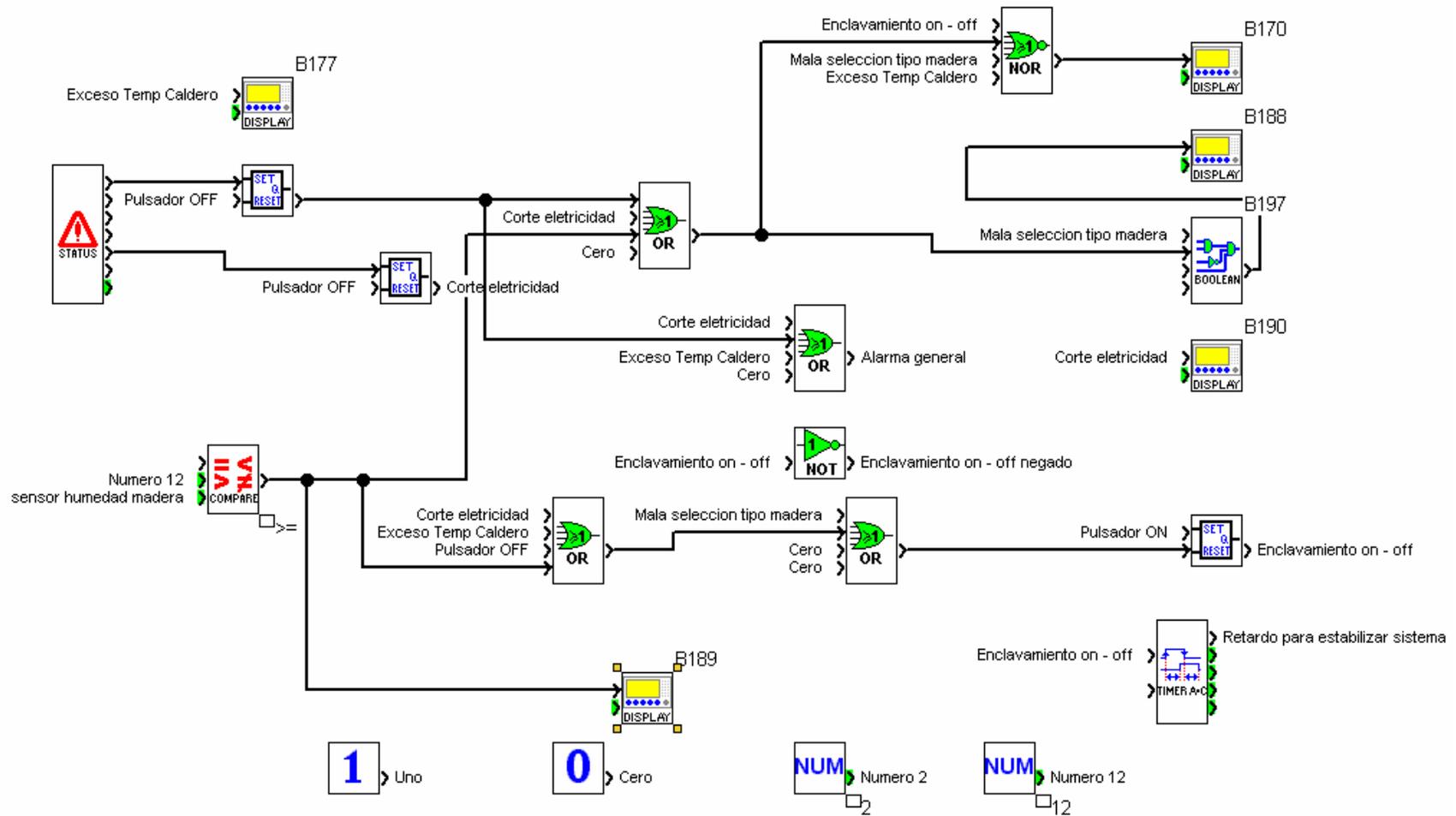


Figura 3.10. Encendido y apagado del sistema se incluye alarmas.

Se puede observar también, un bloque de temporización (retardo en la señal para empezar el funcionamiento de control) que fue diseñado por que al seleccionar el tipo de madera el controlador además determinará en que fase del secado debe trabajar, dicho proceso dura un máximo de 52 segundos. Transcurrido este tiempo el controlador sabe que tipo de madera está ingresada en el horno y en que fase del secado se encuentra, dependiendo de la humedad de la madera. Cuando se ha establecido todo ello los bloques para el control empezarán su funcionamiento.

El bloque denominado display tiene la función de presentar en la pantalla del controlador cualquier mensaje y debe encontrarse un método para presentar uno a la vez, de esta manera los mensajes no saldrán sobrepuestos, para ello se usó las funciones lógicas; además existe un bloque denominado booleana en el cual se puede escoger el tipo de salida, dependiendo de la entrada (ver anexo 8) y la tabla para el bloque B197 que se ve en la figura 3.10 es:

B197		Función Booleana
Salida MARCHA si resultado VERDADERO		
ENTREE 1	ENTREE 2	SORTIE
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	0

Existen dos métodos de representar las conexiones entre sub bloques, uno es con cables y otro mediante texto el cual identificará, una única salida o entrada, de esta manera se reduce la complejidad del programa.

### 3.3.4. SELECCIÓN DEL TIPO DE MADERA Y LA FASE DE SECADO

Se recomienda revisar la figura 3.11 y complementar con lo descrito a continuación para que exista una comprensión global de lo desarrollado.

En los PLC se encuentran registros para almacenar valores, en este controlador no existen, por lo tanto se halló una manera muy útil de desarrollar el proyecto sin inconveniente, para ello se usó un bloque denominado CAM, en el cual se pueden almacenar 50 diferentes datos en formato binario. Para avanzar en lo que se denominó pasos se debe introducir un flanco ascendente y establecer si se quiere llegar al paso 15 por ejemplo, en el cual debe comenzar el secado, todo esto dependiente de la humedad y del

tipo de madera seleccionada. En el capítulo 2 se estableció tres tablas diferentes de secado, las cuales registrarán durante todo el proceso automatizado, pero se deberá escoger en que fase debe trabajar el controlador, de allí que se presentará un ejemplo para clarificar como actuará la programación. Si se introduce una madera de chanúl que se encuentra al 49% de humedad se deberá establecer las condiciones al interior del horno para que la madera llegue al 40% por ello se estará trabajando en el paso 3 como se muestra en la tabla 3.5. Al llegar la humedad de la madera al 40% el programa aumenta un paso y se procede a la siguiente fase, así hasta llegar al 12%.

La tabla 3.5 correspondiente a la humedad de la madera asignada al bloque 24 es:

Tabla 3.5. Número total de pasos del programa y humedad de la madera.

Num pasos	Bloque B24	Bloque B24	Tipo madera
	Humedad madera % Valor decimal	Humedad madera % Valor binario	
1	0	00000000	Chanúl
2	100	01100100	
3	40	00101000	
4	30	00011110	
5	25	00011001	
6	20	00010100	
7	15	00001111	
8	10	00001010	
9	1	00000001	
10	100	01100100	
11	60	00111100	
12	40	00101000	
13	35	00100011	
14	30	00011110	
15	25	00011001	
16	20	00010100	
17	15	00001111	
18	10	00001010	
19	2	00000010	
20	100	01100100	
21	60	00111100	
22	40	00101000	
23	30	00011110	
24	25	00011001	
25	20	00010100	
26	10	00001010	
		S8.....S1	

Los bloques de programación, B137, B147, B148, son los que seleccionarán el tipo de madera, para este diseño, 0 asignado a la madera de chanúl, 1 a la de eucalipto y 2 para la de pino. El funcionamiento del proceso será el siguiente, por ejemplo el operador de la planta asigna la madera de tipo 1, éste valor es comparado con el bloque B24 y mientras sean diferentes un reloj de 2 segundos funcionará, pasando en cada flanco ascendente al siguiente paso.

Luego de realizar los procesos descritos anteriormente, el mismo reloj funcionará pero ahora comandado por el bloque B27 el cual determinará en que fase de secado debe detenerse el reloj.

Las tablas de las funciones booleanas que complementan todo el proceso son:

B142  Función Booleana				B147  Función Booleana			
BBOLEEN				BBOLEEN			
Salida MARCHA si resultado VERDADERO	ENTREE 1	ENTREE 2	ENTREE 3	ENTREE 1	ENTREE 2	ENTREE 3	ENTREE 3
ENTREE 1	ENTREE 2	ENTREE 3	ENTREE 3	ENTREE 1	ENTREE 2	ENTREE 3	ENTREE 3
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1

A continuación, en la figura 3.11 se presentará el diagrama de programación que permitirá realizar las funciones descritas anteriormente

### 3.3.5. CONTROL DE TEMPERATURA

De igual manera como se almacenaron los datos para la humedad de la madera, ahora se guardarán para la temperatura, en la tabla 3.6 asignada al bloque B06, como se ve en la figura 3.12.

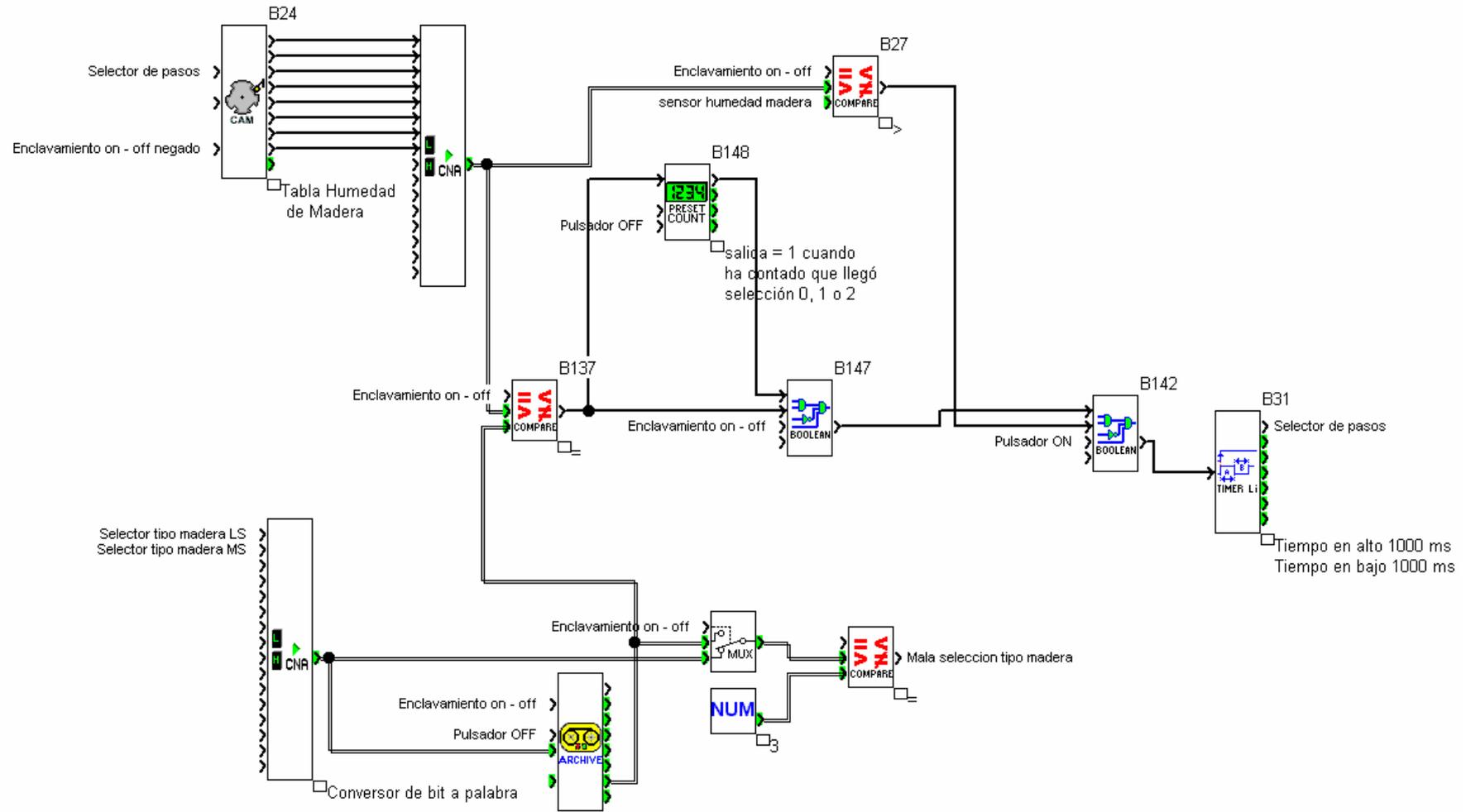


Figura 3.11. Selección del tipo de madera y la fase de secado.

Tabla 3.6. Número total de pasos del programa y temperatura de cada fase.

Num pasos	Bloque B06	Bloque B06	Tipo madera
	Temperatura °C Valor decimal	Temperatura °C Valor binario	
1	0	00000000	Chanúl
2	40	00101000	
3	40	00101000	
4	40	00101000	
5	45	00101101	
6	50	00110010	
7	55	00110111	
8	55	00110111	
9	1	00000001	
10	41	00101001	
11	41	00101001	
12	41	00101001	
13	44	00101100	
14	44	00101100	
15	47	00101111	
16	52	00110100	
17	60	00111100	
18	66	01000010	
19	2	00000010	
20	50	00110010	
21	50	00110010	
22	55	00110111	
23	60	00111100	
24	65	01000001	
25	70	01000110	
26	70	01000110	
		S8.....S1	

Todos los bloques que contienen tablas trabajan con el mismo selector de pasos, lo que ayuda a simplificar el diseño. Como ya se mencionó el tipo de control será ON – OFF con una banda de histéresis de 4°C y los parámetros para que el bloque trigger funcione serán que el sistema ya sepa con que tipo de madera y en que fase se trabajará; esto se logrará con una señal de inicio denominada “Retardo para estabilizar sistema”.

Los bloques secundarios pero importantes serán los de suma y resta, encargados de aumentar o disminuir 2°C sobre el punto de referencia, con lo que el bloque trigger completará su funcionamiento (ver figura 3.12).

Adicionalmente se implementó el sistema de alarma, que desconectará todo, cuando la temperatura este 4°C sobre el punto de referencia.

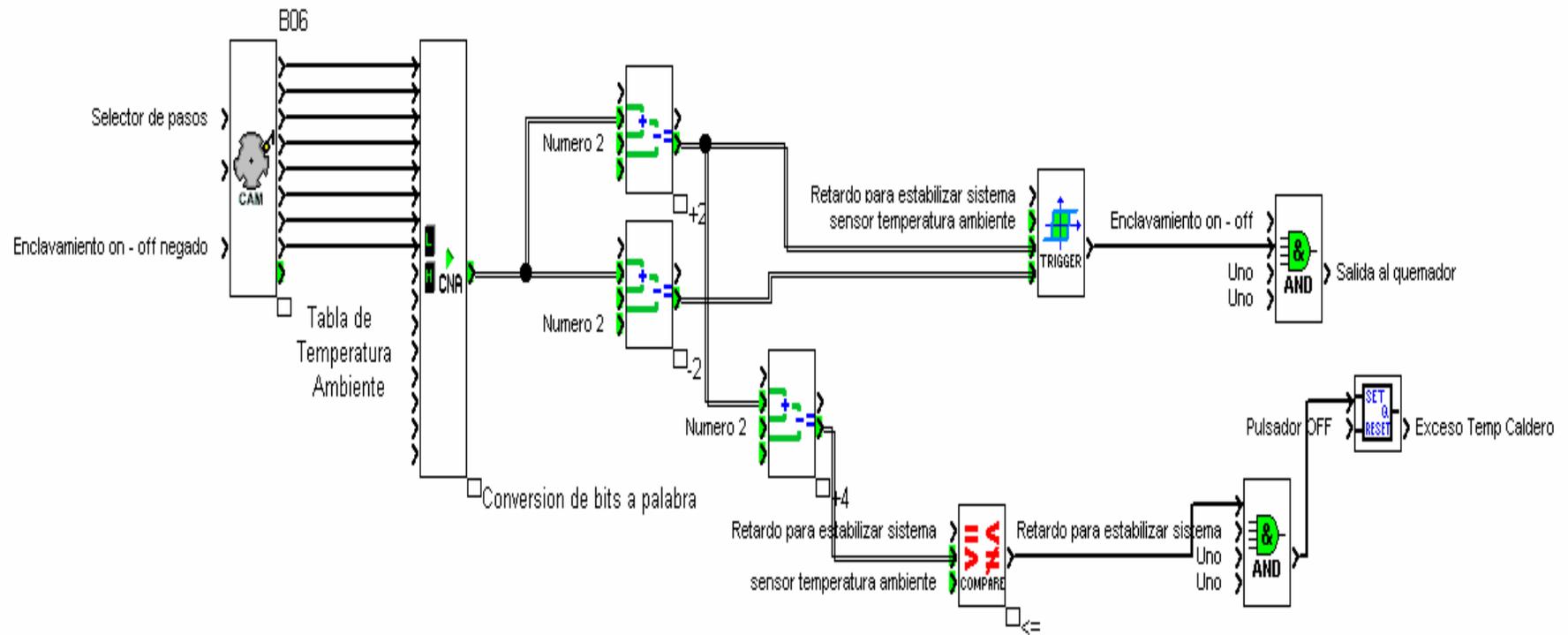


Figura 3.12. Control de temperatura.

### 3.3.6. CONTROL DEL HUMIDIFICADOR

La tabla 3.7 contenida en el bloque B34, posee información de la humedad relativa, dicha tabla con sus bloques adjuntos de programación será usada para el control de deshumidificación y humidificación; se mencionará además que el único selector de pasos también registrará este bloque.

La tabla B34 será:

Tabla 3.7. Número total de pasos del programa y humedad relativa de cada fase.

	Bloque B34	Bloque B34	
Num pasos	HR % Valor decimal	HR % Valor binario	Tipo madera
1	0	00000000	Chanúl
2	80	01010000	
3	80	01010000	
4	70	01000110	
5	60	00111100	
6	50	00110010	
7	40	00101000	
8	30	00011110	
9	1	00000001	
10	85	01010101	
11	85	01010101	
12	80	01010000	
13	75	01001011	
14	70	01000110	
15	65	01000001	
16	60	00111100	
17	50	00110010	
18	40	00101000	
19	2	00000010	
20	84	01010100	
21	84	01010100	
22	74	01001010	
23	63	00111111	
24	53	00110101	
25	42	00101010	
26	37	00100101	
		S8.....S1	

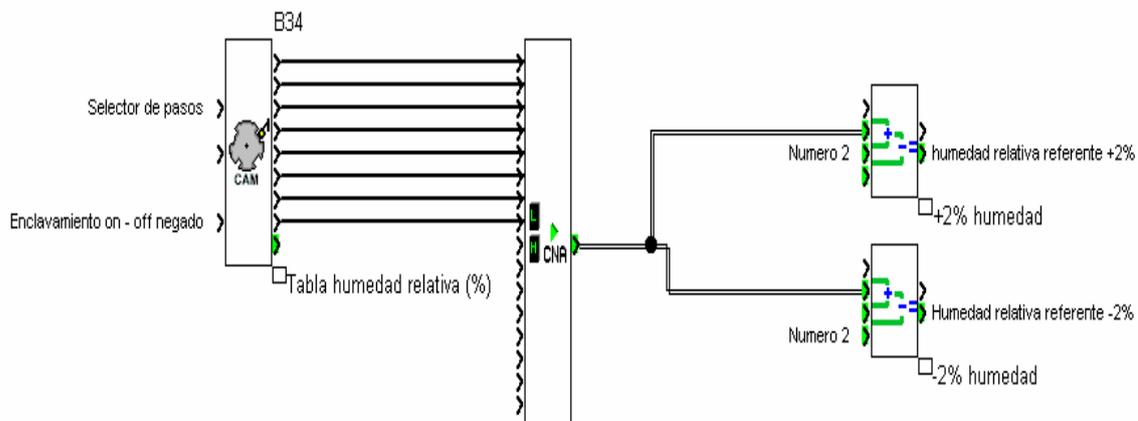


Figura 3.13. Tabla de humedad relativa.

Las señales que entrega el conjunto de programación visto en la figura 3.13 servirán para configurar los tiempos de apertura que calculará automáticamente el equipo.

Al hablar únicamente de humidificador la atención debe centrarse en medir la humedad relativa del ambiente y compararla con la tabla 3.7, que indica a que humedad relativa debe permanecer el horno secador. Esta comparación debe pasar por un proceso matemático de sumas, restas multiplicaciones y divisiones, para determinar que tiempo en segundos las válvulas permanecerán abiertas para dejar salir la humedad requerida. El proceso de cálculo fue explicado con detalle en el capítulo 2 siendo importante mencionar que la tabla con la humedad absoluta saturada igualmente vista en el capítulo 2, se implementará en el bloque de programación B43 asignado a la tabla 3.8.

Para tener un enfoque más amplio de lo mencionado se verá en la figura 3.14 los bloques de funciones que hacen posible el sistema de humidificación.

En la descripción realizada en este mismo capítulo sobre el tipo de control, se usará igualmente un bloque que trabaja con histéresis y que es el trigger, el cual determinará en que instante deben abrirse las válvulas de ventilación complementadas con el tiempo de apertura calculado. Por ello las dos señales de tiempo y de funcionamiento ingresan a un sub bloque AND.

Tabla 3.8. Humedad absoluta saturada referente a la tabla 2.5.

	Bloque B43	Bloque B43	
Num pasos	Humedad absoluta saturada Valor decimal	Humedad absoluta saturada Valor binario	Tipo madera
1	0	00000000	Chanúl
2	51	00110011	
3	51	00110011	
4	51	00110011	
5	69	01000101	
6	83	01010011	
7	109	01101101	
8	109	01101101	
9	1	00000001	
10	56	00111000	
11	56	00111000	
12	56	00111000	
13	62	00111110	
14	62	00111110	
15	75	01001011	
16	91	01011011	
17	131	10000011	
18	167	10100111	
19	2	00000010	Pino
20	83	01010011	
21	83	01010011	
22	109	01101101	
23	131	10000011	
24	167	10100111	
25	198	11000110	
26	198	11000110	
		S8.....S1	

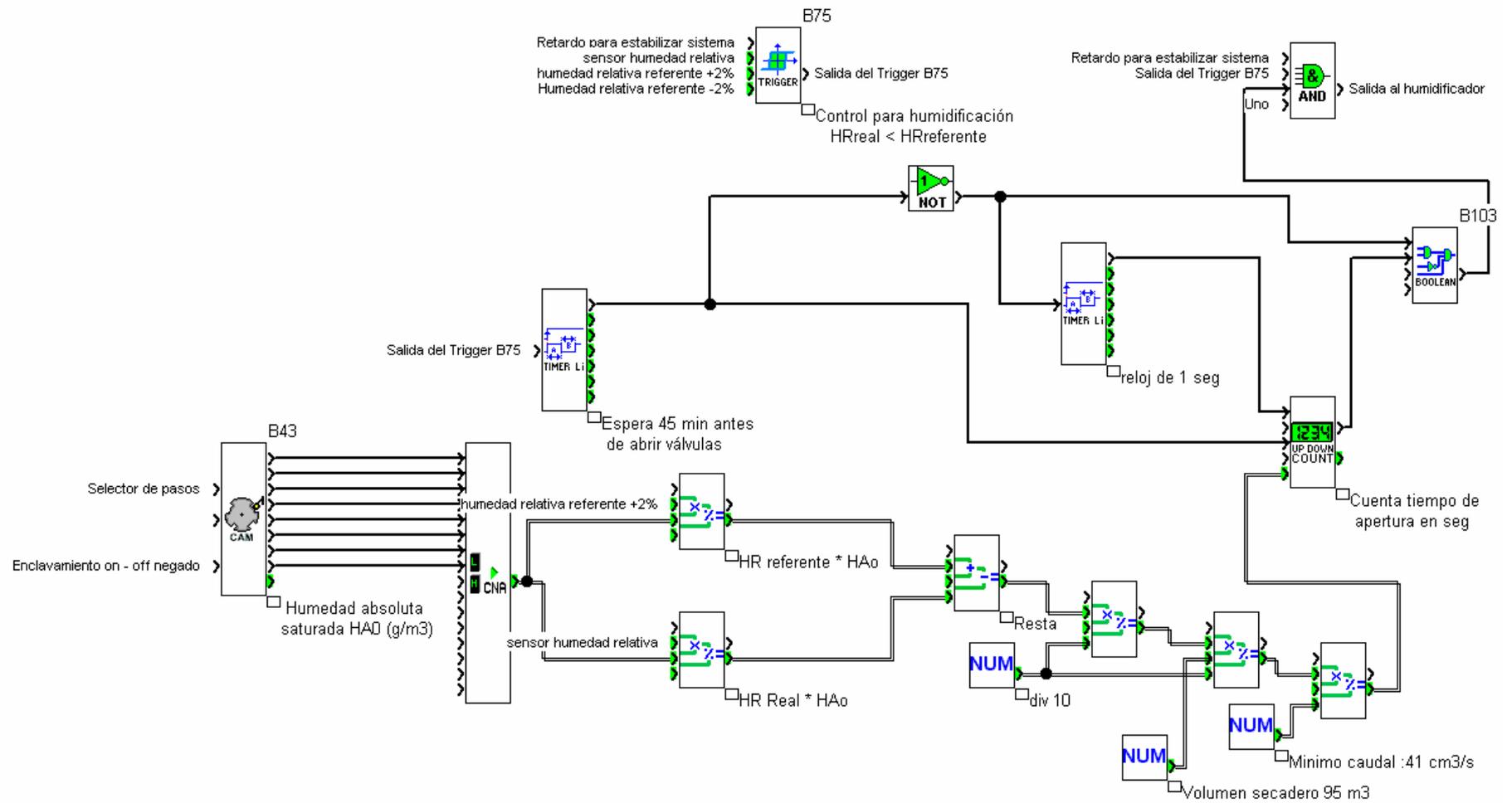


Figura 3.14. Control del humidificador.

La función booleana asignada al bloque B103 posee la siguiente tabla de verdad.

B103		Función Booleana
Salida MARCHA si resultado VERDADERO		
ENTREE 1	ENTREE 2	SORTIE
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	0

El contador será cargado con el valor calculado y al unirlo a un reloj de 1 segundo, realizará la función que necesitamos, “apertura en un tiempo establecido en segundos”. El contador al llegar a dicho valor da un flanco ascendente y lo mantiene en alto lo que hace indispensable añadir una función booleana, para tener la salida que se necesita.

### 3.3.7. CONTROL DEL DESHUMIDIFICADOR

El trigger representado en el bloque B84 (ver figura 3.16) tiene una característica especial, que lo diferencia del resto, pues siempre se establece un límite superior y uno inferior pero respetando éste orden; cuando se colocan los valor a la inversa esto es inferior primero y superior después las características de este bloque son diferentes y la salida se establece como se muestra en la figura 3.15.

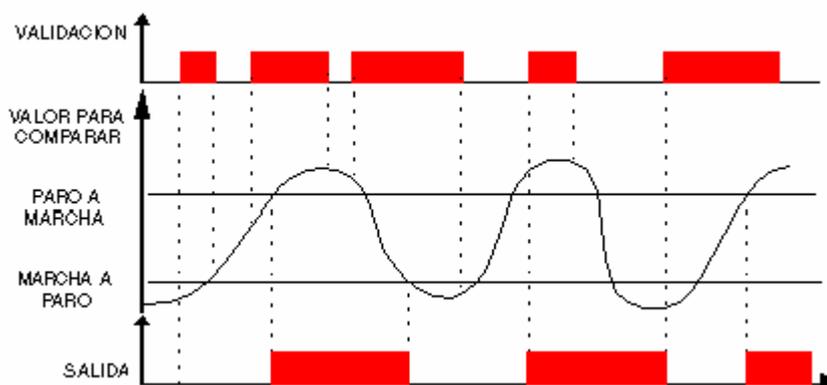


Figura 3.15. Funcionamiento del Bloque TRIGGER DE SCHMITT con parámetros diferentes.

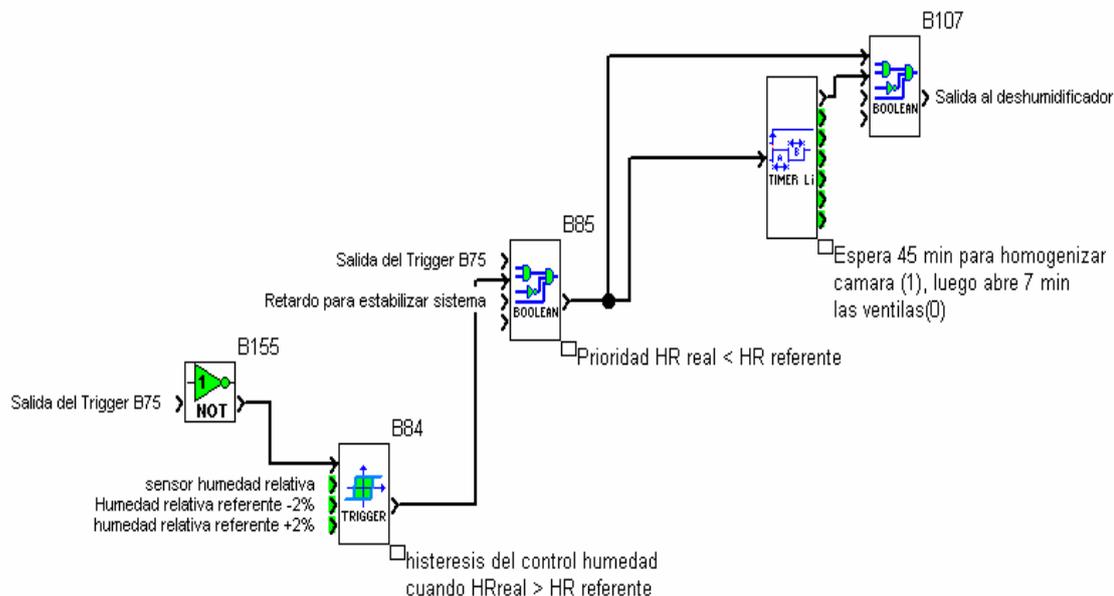


Figura 3.16. Control del deshumidificador.

La salida del Trigger B75 (ver figura 3.14) servirá para hacer funcionar al humidificador y deshabilitar el deshumidificador; esto quiere decir que funcionará un proceso o el otro de manera excluyente.

Las tablas de las funciones booleanas que comandarán el proceso serán:

B85		Función Booleana	Prioridad HR real < HR referen
Salida MARCHA si resultado VERDADERO			
ENTREE 1	ENTREE 2	ENTREE 3	SORTIE
0	0	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	1	0	0
0	0	1	0
1	0	1	0
0	1	1	1
1	1	1	0

B107		Función Booleana
Salida MARCHA si resultado VERDADERO		
ENTREE 1	ENTREE 2	SORTIE
0	0	0
1	0	1
0	1	0
1	1	0

En el temporizador se pueden establecer tiempos de permanencia en alto y en bajo de manera independiente por lo que se configuró en 45 minutos la permanencia en alto, esto quiere decir que durante este intervalo la cámara de secado se estará homogenizando para luego pasar a la apertura de las válvulas de humidificación durante 7 minutos.

### 3.3.8. CONTROL DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Se han establecido dos salidas, la primera para que funcione el variador a alta frecuencia y la segunda para que trabaje a baja frecuencia, como se puede ver en la figura 3.17; como cada proceso es excluyente se utilizó un comparador para cada caso. El valor de 30% de la humedad de la madera es el denominado PSF que es el punto crítico en donde la madera tiende a deformarse.

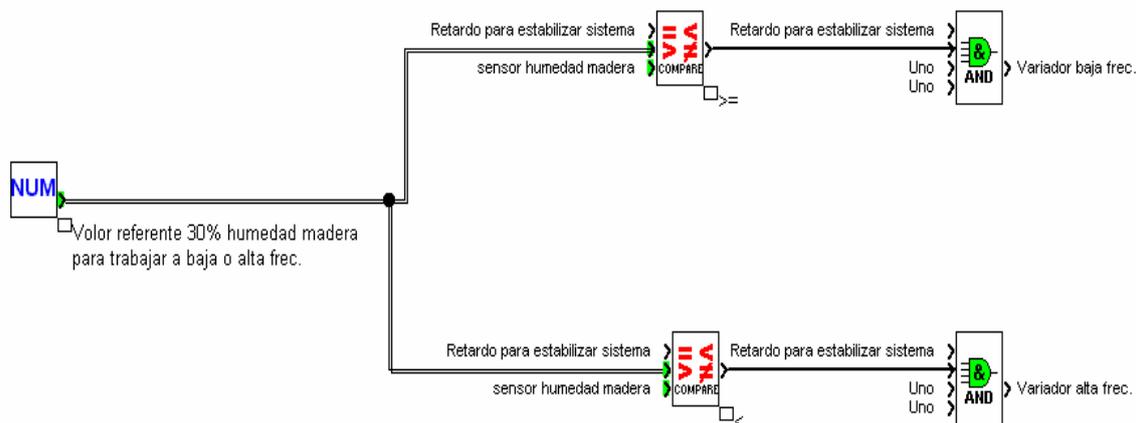


Figura 3.17. Control del variador de frecuencia.

### 3.4. SIMULACIÓN DEL PROGRAMA

Las necesidades de la empresa DYMAP no son las de monitorear el proceso de secado pues ellos saben que la reducción de la humedad en la madera es un proceso lento que no debe ser supervisado por el operador de la planta, pues se estaría mal gastando el tiempo en esta actividad. Las necesidades son muy claras y se ha establecido que: se ingrese la madera a los hornos, se presione un botón de encendido para el funcionamiento del sistema y cuando la madera ha llegado al 12% de humedad los equipos se desactiven y termine el proceso de secado. Por tal motivo realizar un HMI (Interfaz hombre maquina), no es aplicable.

### **3.5. CONEXIÓN DE EQUIPOS**

#### **3.5.1. GENERALIDADES**

En ésta parte del diseño se mostrarán los diagramas de conexión entre los equipos así como los diagramas de montaje de los elementos sobre los paneles.

#### **3.5.2. CONEXIONES DE ENTRADA AL CONTROLADOR ZELIO**

De acuerdo a la programación se establecerá, cuales son los equipos que corresponden a cada entrada del controlador, tomando en cuenta que no se podrán cambiar las conexiones a menos que exista una reprogramación.

El tipo de cables y las protecciones a implementarse se analizarán más adelante.

El diagrama total de conexiones se mostrará en la lamina denominada “DIAGRAMA DE CONEXIONES”, en el anexo 9.

#### **3.5.3. CONEXIONES A LA SALIDA DEL CONTROLADOR**

Las salidas del controlador marcadas desde la Q1 a la Q5 estarán conectadas directamente a las válvulas de cada proceso, a la sirena y al indicador de funcionamiento, como se pudo ver en el diagrama de conexiones anterior. Además el variador de frecuencia recibe el comando digital del controlador zelio (salida QA) que le indicarán al variador cuando encenderse o cuando apagarse. Es muy importante establecer que el variador de frecuencia es el que controla la velocidad de los motores, por ello se debe configurar, antes de iniciar el proceso de secado, la frecuencia baja y alta con la que debe trabajar el equipo, por tal motivo las salidas Q8 y Q9 del controlar zelio solo le indicarán al variador de frecuencia en que momento funcionará su frecuencia alta o baja.

Las especificaciones de corrientes y calibre de los cables serán analizadas más adelante.

### **3.6. CÁLCULO DE CORRIENTE PARA ESTABLECER CALIBRE DE CABLES**

#### **3.6.1. CONEXIÓN DE SENSORES HACIA EL CONTROLADOR**

En estas conexiones se debe tener especial cuidado, pues las señales que ingresan al controlador “Zelio” no deben contener ruido o estar sujetas a algún tipo de distorsión, en especial las señales de salida de los sensores, ya que de estas lecturas depende la confiabilidad del control.

Para cumplir este propósito se utilizará cables de radio frecuencia tipo *RG-59U* que posee aislamiento y la capacidad de conectarlos a tierra. En este diseño la malla del cable será aterrizada a tierra para proteger aun más las señales.

De acuerdo a los parámetros mencionados anteriormente se establecerá un gabinete que contenga los sensores, el controlador y los amplificadores y en otro el variador, las fuentes, los pulsadores y los interruptores. La distancia entre gabinetes será de 1 metro ya que las fuentes, el variador y los demás elementos enmarcados en el mencionado gabinete producen distorsiones.

#### **3.6.2. CALIBRE DE CABLE PARA EL VARIADOR DE FRECUENCIA**

Según las especificaciones del variador y la corriente que manejará a alta frecuencia, se estableció una corriente máxima por fase de 15 A (revisar pagina 13 del catálogo del anexo 4), con lo que el cable seleccionado será un *AWG 3x12*, con capacidad de conducción de 18 A.

Las conexiones con este calibre de cable se harán a los terminales de fuerza del variador, esto es a R, S, T y U, V, W.

Para la puesta a tierra del variador se usará un cable *AWG 12 tipo THW*, para cumplir con los requerimientos de las conexiones (revisar pagina 13 del anexo 4).

### 3.6.3. ASPECTOS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN DE VÁLVULAS

#### 3.6.3.1.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE VÁLVULAS A UTILIZAR

Tabla 3.9. Tipo de válvulas a utilizar.

Sistema	Tipo de rosca en pulgadas	Consumo solenoide	Marca del equipo
Humidificación	Hembra de $\frac{1}{4}$	13 VA	Norgren serie 82 120
Deshumidificación	Hembra de 2	45VA	Norgren serie 85 000
Calefacción	Hembra 2	33 VA	Norgren serie 85 020

Se recomienda utilizar las válvulas de la tabla 3.9 por sus características de trabajo a altas temperaturas o por el fluido que atraviesan las mismas (revisar anexo 5), no obstante también se puede escoger otro tipo de válvulas con similar desempeño.

Al conocer el consumo de las solenoides en VA se puede determinar la corriente por cada elemento de allí es importante observar la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Consumo de corriente y tipo de cables para cada proceso.

Numero válvulas	Proceso	$I = \frac{P}{V}$ (Amp) para accionar válvulas	Calibre de cable
1	Calefacción	0.275	Cable extra flexible AWG 18 tipo TFF
1	Humidificación	0.108	Cable extra flexible AWG 18 tipo TFF
4	Deshumidificación	1.5	Cable extra flexible AWG 18 tipo TFF

La corriente total de las válvulas de proceso será de 1.883 A, siendo aplicable un cable general para toda la conexión *AWG 18 extra flexible tipo TFF*, el cual soporta hasta 7 Amperios, con un fusible general para todo el circuito de 6 Amperios, según practicas de diseño.

#### **3.6.4. CALIBRE DE CABLES EN EL CIRCUITO DE SIRENA E INDICADOR**

El circuito de la sirena y el foco indicador se lo diseñó para una corriente máxima de 1 amperio por elemento, por ello el cable seleccionado será igualmente un *AWG 18 extra flexible tipo TFF*.

#### **3.6.5. CALIBRE DE CABLES EN TODO EL CIRCUITO DE CONTROL**

En todo el circuito de control exceptuando sensores y amplificadores el cable usado será un extra flexible *AWG 20 tipo FXT*, que facilita las conexiones por su flexibilidad y además su conductor esta diseñado para baja corriente.

### **3.7. INSTALACIÓN DE EQUIPOS**

En el grafico de la lámina “ESQUEMA GENERAL 1” (ver anexo 9) se muestra como es el secador de madera de la empresa DYMAP y en donde se deberán ubicar los equipos para dejar establecida la automatización.

Es muy importante establecer el montaje de los equipos que conforman el automatismo y esto se lo representará en las láminas “PANEL DE CONTROL 1” y “PANEL DE CONTROL 2” adjuntos en el anexo 9.

### 3.8. MANUAL DE USUARIO

#### 3.8.1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA EN EL CONTROLADOR Y FUNCIONAMIENTO

Cuando se va a poner en funcionamiento por primera vez el controlador Zelio, se debe cargar el programa que se adjuntó en este documento con el nombre de “horno DYMAP.zm2”, dicho programa al ser abierto puede ser transferido al módulo tal como aparece en la figura 3.18

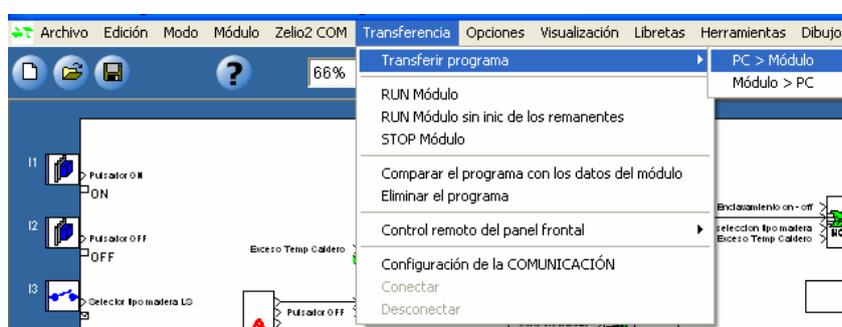


Figura 3.18. Transferencia del programa del computador al controlador.

El cable que permite la comunicación es uno especial diseñado por el fabricante (Telemecanique) que se adapta al computador mediante conexión serial, cuando la transferencia se ha terminado se puede cerrar por completo el programa y todos los mandos pueden realizarse desde el controlador zelio, el cual posee botones (ver anexo 1) que permiten el movimiento entre las funciones que posee intrínsecamente el controlador, estas funciones son entre otras, el idioma, run/stop, falla, etc.

Para correr el programa se debe acceder con las flechas de movimiento hasta el menú que nos indica RUN/STOP, aquí se elige RUN y el programa comenzará su funcionamiento, pero con todo esto todavía no se procederá al control del secado.

Para iniciar el proceso automatizado del secado es necesario, que se realice una inspección de todos los equipos, para comprobar de manera visual que todo se encuentre en perfectas condiciones. Luego de lo cual se debe seleccionar el tipo de madera a secar,

combinado los selectores # 1 y # 2. La tabla 3.11 que se muestra a continuación será la que debe aplicarse.

Tabla 3.11. Selección del tipo de madera en forma real.

Tipo de madera a secar	Selector # 1	Selector # 2
Chanúl	0	0
Eucalipto	1	0
Pino insigne	0	1
No podrá iniciar el secado así se presione ON Mala selección del tipo de madera.	1	1

El esquema de los pulsadores y los selectores será el de la figura 3.19.

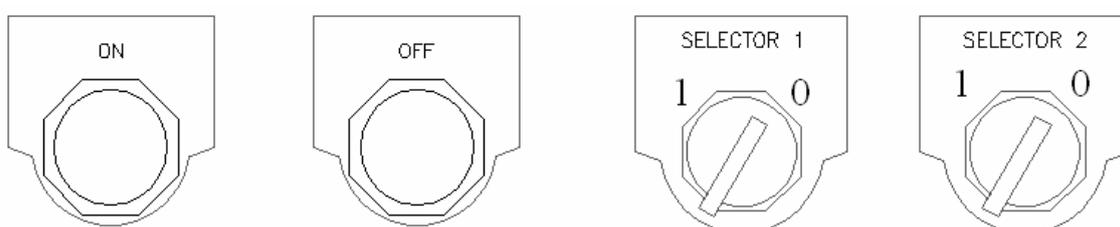


Figura 3.19. Botones y selectores para el control del secado.

Luego de haber seleccionado el tipo de madera se puede pulsar ON, con lo cual se inicia el proceso automatizado de seco. Si por algún motivo se cambia de posición del selector # 1 o # 2, antes de finalizar el proceso de secado, no se alterará el funcionamiento del sistema, pues queda deshabilitado cualquier selector luego de haber presionado ON.

El pulsador OFF tiene las siguientes aplicaciones:

- Detener el sistema por completo si ocurre alguna falla, también deja de funcionar la alarma sonora.

- Si ya inició el sistema, el proceso de secado con una madera seleccionada y si ésta selección no era la adecuada, se debe detener el proceso presionando OFF para luego escoger nuevamente el tipo de madera adecuada (luego debe presionarse ON para iniciar nuevamente el secado).
- Al reestablecerse la energía luego de un corte de alimentación, también debe presionarse OFF para resetear todo el sistema (se debe presionar ON para continuar con el proceso de secado).
- Cuando la temperatura al interior del horno ha excedido 4 °C sobre el valor al cual debería estar trabajando, se detiene todo el sistema y la sirena comienza a funcionar, pero solo se detendrá el sonido cuando se presione OFF, con lo cual queda también reseteado el sistema para poder nuevamente presionar ON y continuar con el secado.
- Al terminar el secado todos los equipos dejarán de funcionar, pero es necesario presionar OFF para que el programa resetee todo por completo. De esta manera el nuevo proceso de secado podrá iniciar su funcionamiento normal.

El horno para el secado de la madera se encuentra totalmente automatizado, solo se debe seleccionar correctamente el tipo de madera a secar y presionar ON, cuando el proceso de secado haya finalizado (humedad del 12%), los equipos se apagarán automáticamente, exceptuando el caldero pues éste entrega energía a otros procesos ajenos a este diseño.

### **3.8.2. MENSAJES DE ERROR**

El controlador presentará algunos mensajes en pantalla (ver tabla 3.4), los cuales fueron programados, para guiar al operador de la planta en caso de algún error frecuente; pero cuando exista un error propio del controlador por ejemplo sobrecargas en los relés, etc, se desplegará en el display un número, el cual indicará el código de la falla. A continuación se presentará los tipos de errores.

### 3.8.2.1. CÓDIGO DE ERRORES DEL MÓDULO LÓGICO

Lista de errores:

Número	Tipo de error
00	Sin fallos
01	Fallo de escritura en la memoria EEPROM Se trata de un fallo de transferencia entre el cartucho de memoria y el controlador. Si este fallo se produce muy a menudo, será necesario contactar con el servicio de atención al cliente.
02	Fallo de escritura del reloj Si este fallo se produce muy a menudo, será necesario contactar con el servicio de atención al cliente.
04	Sobrecarga de las salidas de relé estáticas Cuando una salida de relé estática alcanza una temperatura de 170 °C, el grupo de las cuatro salidas correspondiente se desactiva. Para que dicho grupo de salidas vuelva a activarse, es necesario eliminar la causa de la sobretensión (cortocircuito, etc.) y, a continuación, eliminar el fallo en el <a href="#">menú FALLO</a> .
50	El firmware del módulo está defectuoso Vuelva a cargar el firmware en el módulo y en la aplicación de usuario. Si el problema persiste, es necesario contactar con el servicio de atención al cliente.
51	Desbordamiento del watchdog Aviso o error en función de la selección del menú Configuración (visualización del módulo) o de la ventana de configuración (herramienta Zelio Soft 2). El periodo de ejecución de la aplicación en el módulo es demasiado corto con respecto al periodo de ejecución de la aplicación programada en el controlador. Si la aplicación requiere una periodicidad o un periodo de muestreo riguroso de las entradas y salidas del módulo, se deberá incrementar el periodo de ejecución de la aplicación en el módulo. Para ello, es necesario establecer el parámetro en el menú CONFIGURACIÓN (visualización del módulo) o en la ventana de configuración (herramienta Zelio Soft 2). Si la aplicación no requiere una ejecución periódica, es necesario activar en el menú CONFIGURACIÓN la opción: Ninguna acción para el WATCHDOG.
52	El controlador ha ejecutado una operación desconocida Si el problema continúa, vuelva a cargar el firmware en el módulo y en la aplicación de usuario. Si el problema persiste, debe contactar con el servicio de atención al cliente.
53	Fallo de enlace entre el módulo y la extensión de tipo bus Compruebe el funcionamiento de la extensión (conexión, alimentación, fallo).
54	Fallo de enlace entre el módulo y la extensión de tipo entradas-salidas Compruebe el funcionamiento de la extensión (conexión, alimentación, fallo).
58	Fallo en el firmware (software del controlador) o en el hardware del controlador Si el fallo es permanente, vuelva a cargar el firmware en el módulo y en el programa de usuario. Si el problema persiste, deberá contactar con el servicio de atención al cliente.
59	Al inicio de RUN de la aplicación en el módulo: la aplicación no puede pasar a modo RUN porque es incompatible con el módulo con conexión física Si se produce este fallo, debe contactar con el servicio de atención al cliente.
60	Al inicio de RUN de la aplicación en el módulo: el programa es incompatible con la extensión de tipo bus de conexión física Si se produce este fallo, contacte con el servicio de atención al cliente.
61	Al inicio de RUN de la aplicación en el módulo: el programa es incompatible con la extensión de tipo entradas-salidas de conexión física Si se produce este fallo, póngase en contacto con el servicio de atención al cliente.
62	Versiones incompatibles (o índice incompatible) durante la carga de un programa desde la memoria de copia de seguridad Si se produce este fallo, contacte con el servicio de atención al cliente.
63	Configuración del hardware incompatible durante la carga de un programa desde la memoria de copia de seguridad Si se produce este fallo, póngase en contacto con el servicio de atención al cliente.

### 3.8.2.2. CÓDIGO DE ERRORES EN LA EXTENSIÓN SR2COM01

Lista de errores:

Número	Tipo de error
03	<p>Error de módem</p> <p>Comprobar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El enlace entre la extensión de comunicación SR2COM01 y el módem</li> <li>• La alimentación del módem</li> </ul>
05	<p>Problema de destinatario</p> <p>El tipo de destinatario es incorrecto. Modificar el destinatario.</p> <p>Nota: Este fallo no tiene bloqueo.</p>
42	<p>Fallo de Checksum de la aplicación del módulo lógico</p> <p>La aplicación del módulo lógico no es correcta. Transferir al módulo la aplicación de la herramienta de programación.</p>
43	<p>Reanudación de la alimentación</p> <p>Se ha detectado una pérdida de alimentación.</p> <p>Nota: este fallo no tiene bloqueo.</p>
44	<p>Error del código PIN</p> <p>Se han introducido 2 códigos PIN erróneos. Comprobar el código PIN de la tarjeta SIM del módem GSM conectado a la extensión de comunicación.</p>
45	<p>IS463 Estado desconocido</p> <p>Se ha realizado una operación desconocida. Volver a cargar el firmware de la extensión de comunicación.</p>
46	<p>Fallo de programa</p> <p>Aplicación del módulo lógico ausente. Transferir al módulo la aplicación de la herramienta de programación.</p>
47	<p>IS498 Estado desconocido</p> <p>Se ha realizado una operación desconocida. Volver a cargar el firmware de la extensión de comunicación.</p>
48	<p>Módulo ausente</p> <p>No se ha detectado el módem. Comprobar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El enlace entre la extensión de comunicación SR2COM01 y el módem</li> <li>• La alimentación del módem</li> </ul>
49	<p>Módulo lógico ausente</p> <p>No se ha detectado el módulo lógico. Comprobar lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El enlace entre la extensión de comunicación SR2COM01 y el módulo lógico</li> <li>• El estado del módulo lógico.</li> </ul> <p>Nota: Este fallo no tiene bloqueo.</p>
50	<p>Fallo de bloque digital</p> <p>El firmware de la extensión de comunicación está dañado. Volver a cargar el firmware de la extensión de comunicación.</p>
51	<p>Parametrización de módem incorrecta</p> <p>Comprobar la parametrización del módem mediante la herramienta de programación. Véase <a href="#">Anuario de estaciones remotas</a>.</p>
58	<p>Fallo del watchdog</p> <p>Desbordamiento del watchdog interno.</p> <p>Nota: Este fallo no tiene bloqueo.</p>
59	<p>Comunicación con la herramienta de programación en curso</p>
60	<p>Alarmas OFF</p> <p>El envío de mensajes de alarma está desactivado. Véase <a href="#">Mensaje OFF</a></p>
61	<p>Error de eliminación SIM</p> <p>Se ha detectado un error de eliminación de la tarjeta SIM. Comprobar la tarjeta SIM.</p>

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 4.1. GENERALIDADES

En este capítulo se analizará la factibilidad del proyecto y la rentabilidad que se propone con la automatización, tomando como referencia los índices económicos como el VAN y el TIR.

#### 4.2. ANÁLISIS DE MERCADO

El análisis de mercado es el antecedente para determinar tres puntos claves:

- Técnico: como se debe producir
- Económico: a que costo se va a producir
- Financiero: que beneficios se esperan

La empresa DYMAP no puede abastecer la demanda de madera seca del mercado nacional, volúmenes que oscilan entre los *500 m<sup>3</sup> por año*, por ello existen dos alternativas viables para cumplir con los requerimientos que el mercado impone. Invertir más en materia prima que permanezca amortizada para cubrir dicha demanda o subir los niveles de productividad de la cámara de secado, con la automatización, siendo este último, el camino más apropiado para obtener los volúmenes de producción sustentables a costos moderados.

Todo este análisis comparativo será expuesto más adelante.

Los aspectos Técnicos y Económicos, deben ser analizados por la empresa DYMAP, siendo objeto de estudio únicamente para este proyectos el análisis financiero, el cual mostrará en que porcentaje se incrementarán las ganancias con la automatización.

### 4.3. DETALLE DE INVERSIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Los precios de los equipos y demás elementos para conseguir la automatización serán los mostrados en la tabla 4.1.

- **Activos Fijos**

Tabla 4.1. Detalle de costos de equipos para la automatización.

<b>Equipos</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Observaciones</b>
Controlador Zelio Logic	228	Existe en el mercado nacional
Cable para comunicación entre el controlador y la PC	89	Existe en el mercado nacional
Fuente de voltaje 24VDC	170	Importar equipo, precio FOB <sup>1</sup>
Amplificador de señal	190	Importar equipo, precio FOB
Sensor humedad madera	270	Importar equipo, precio FOB
Sensor de temperatura y humedad ambiente	210	Importar equipo, precio FOB
6 Válvulas solenoides	430	Existen en el mercado nacional
Variador de frecuencia	320	Existe en el mercado nacional
Cables	58	-----
Sirena e indicador	11	Existen el en el mercado nacional
Varios	50	Fusibles, adaptador, breaker, otros

<b>Valor total de la automatización</b>	<b>\$ 1837</b>
---	----------------

<sup>1</sup> Costo total del equipo incluyendo fletes, transportes, seguros, gastos de movilización interna y gastos aduaneros hasta la entrega en la fábrica.

#### **4.4. COSTO DE SECADO DE MADERA**

Existen varios factores que determinan los costos de secado y entre los más importantes están:

- La mano de obra
- El tipo de combustible
- Los tiempos de secado
- La especie maderera a secar
- La amortización de capital
- Pérdidas de madera
- Y la depreciación de los equipos y horno.

Cada uno de estos ítems será ampliado más adelante para poder decidir cuantitativamente si la automatización propuesta generará o no rentabilidad.

##### **4.4.1. FACTORES PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS EN EL SECADO EN HORNO**

Los valores de cada una de las variables que intervienen en los costos de secado fueron proporcionados por la empresa. Y dichas variables al igual que las fórmulas para obtener los costos totales del secado fueron extraídas del “Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas”, pues allí se hace mención a los factores más influyentes para obtener costos reales.

Las tablas 4.2 y 4.3 mostrarán los costos de secado al horno, sin y con automatización, respectivamente, de ésta manera se podrá hacer un análisis comparativo para saber cuantitativamente en que porcentaje se incrementa la productividad.

- *Proyecto sin automatización.*

Tabla 4.2. Factores que intervienen en los costos del secado al horno sin la automatización.

Ítem	Descripción	Símbolo y valor
a	Inversión total. Que comprende el costo del horno, caldera, sistema de conducción de calor, obra gris, transporte al sitio de instalación y montaje.	$I = \$ 14000$
b	Porcentaje anual de depreciación de la inversión. Se estima un periodo de ocho años para la depreciación del horno de secado.	$F1 = 12.5 \% / \text{año}$
c	Volumen de madera que seca actualmente la empresa DYMAP por año.	$Vm = 300 m^3 / \text{año}$
d	Tasa anual de interés.	$i = 14 \% / \text{año}$
e	Área requerida para la secadora y apilado de la madera.	$As = 70 m^2$
f	Costo del terreno para el horno de secado.	$K1 = \$ 20 / m^2$
g	Costo de las obras civiles para instalación del horno de secado.	$K2 = \$ 71.43 m^2$
h	Porcentaje anual de depreciación de las obras civiles. Se estima un periodo de 10 años para la depreciación de las obras civiles.	$F2 = 10 \% / \text{año}$
i	Extracción promedio de humedad por $m^3$ . $W = \frac{(CHi - CHf)}{100}$	$W = 0.38 \text{ Kg de agua} / m^3$
j	Consumo promedio de combustible durante un año por kg de agua extraída.	$Q = 14 \text{ Gal/kg de agua}$
k	Precio del combustible.	$Pq = \$ 0.32 / \text{galón (GLP)}$
l	Potencia requerida por los ventiladores durante el secado.	$NW = 194.63 \text{ Kw}$

m	Consumo de energía de los ventiladores expresado como un porcentaje de la potencia de los motores.	$Y = 0.85 \%$
n	Costo de energía.	$Pe = \$ 0.105/ \text{Kwh}$
o	Precio de la madera antes del secado, excluyendo el costo del apilado.	$Pm = \$ 140$
p	Tiempo de almacenamiento de la madera durante el presecado.	$Tp = 1 \text{ mes}$
q	Tiempo de secado al horno.	$Ts = 27 \text{ Días}$
r	Capacidad de la secadora en volumen neto de madera.	$Vs = 30 \text{ m}^3$
s	Tiempo de apilado.	$Ta = 32 \text{ min} / \text{m}^3$
t	Tiempo de descargue.	$Td = 24 \text{ min} / \text{m}^3$
u	Costo de la mano de obra, incluyendo prestaciones sociales.	$L = \$ 1.7 / \text{hora}$
v	Porcentaje estimado de las pérdidas de madera durante el secado al horno.	$Pw = 0.05\%$

- **Proyecto automatizado**

Tabla 4.3. Factores que intervienen en los costos de secado al horno con la automatización.

Ítem	Descripción	Símbolo y valor
a	Inversión total. Que comprende el costo del horno, equipos para la automatización, caldera, sistema de conducción de calor, obra gris, transporte al sitio de instalación y montaje.	$I = \$ 15837$
b	Porcentaje anual de depreciación de la inversión. Se estima un periodo de ocho años para la depreciación de la secadora.	$F1 = 12.5 \% / \text{año}$
c	Volumen de madera que secará la empresa DYMAP por año.	$Vm = 550 \text{ m}^3 / \text{año}$

d	Tasa anual de interés.	$i = 14 \% / \text{año}$
e	Área requerida para la secadora y apilado de la madera.	$A_s = 70 \text{ m}^2$
f	Costo del terreno para la secadora.	$K_1 = \$ 20 / \text{m}^2$
g	Costo de las obras civiles para instalación del horno de secado.	$K_2 = \$ 71.43 \text{ m}^2$
h	Porcentaje anual de depreciación de las obras civiles. Se estima un periodo de 10 años para la depreciación de las obras civiles.	$F_2 = 10 \% / \text{año}$
i	Extracción promedio de humedad por $\text{m}^3$ $W = \frac{(CHI - CHF)}{100}$	$W = 0.38 \text{ Kg de agua} / \text{m}^3$
j	Consumo promedio de combustible durante un año por kg de agua extraída.	$Q = 8.77 \text{ Gal/kg de agua}$
k	Precio del combustible.	$P_q = \$ 0.32 / \text{galón (GLP)}$
l	Potencia requerida por los ventiladores durante el secado.	$NW = 321.39 \text{ Kw}$
m	Consumo de energía de los ventiladores expresado como un porcentaje de la potencia de los motores.	$Y = 0.85 \%$
n	Costo de energía.	$P_e = \$ 0.105 / \text{Kwh}$
o	Precio de la madera antes del secado, excluyendo el costo del apilado.	$P_m = \$ 140$
p	Tiempo de almacenamiento de la madera durante el presecado.	$T_p = 1 \text{ mes}$
q	Tiempo de secado al horno.	$T_s = 19 \text{ Días}$
r	Capacidad de la secadora en volumen neto de madera.	$V_s = 30 \text{ m}^3$
s	Tiempo de apilado.	$T_a = 32 \text{ min} / \text{m}^3$
t	Tiempo de descargue.	$T_d = 24 \text{ min} / \text{m}^3$
u	Costo de la mano de obra, incluyendo prestaciones sociales.	$L = \$ 1.7 / \text{hora}$

v	Porcentaje estimado de las pérdidas de madera durante el secado al horno.	Pw = 0.01%
---	---	------------

#### 4.4.2. CÁLCULO DE COSTOS DE SECADO AL HORNO POR METRO CÚBICO DE MADERA

En la tabla 4.4 se presenta de forma detallada, los costos en que incurre la empresa para secar un metro cúbico de madera, además se compararán los valores del secado con la automatización y sin la automatización, para poder analizar los beneficios económicos al incluir nuevas tecnologías.

Tabla 4. 4. Costos comparativos del secado con y sin automatización.

Descripción	Fórmula	Secado al horno sin automatización (\$/m <sup>3</sup> )	Secado al horno con automatización (\$/m <sup>3</sup> )
a. Depreciación sobre inversión en la secadora	$\frac{I \times F1}{Vm \times 100}$	<b>5.83</b>	<b>3.60</b>
b. Interés sobre la inversión	$\frac{I \times i}{Vm \times 100}$	<b>6.53</b>	<b>4.91</b>
c. Interés sobre el costo del terreno ocupado por la secadora	$\frac{As \times K1 \times i}{Vm \times 100}$	<b>0.65</b>	<b>0.36</b>
d. Depreciación sobre obras civiles	$\frac{As \times K2 \times F2}{Vm \times 100}$	<b>1.67</b>	<b>0.91</b>
e. Interés sobre el capital circulante	$\frac{Pm \times Tp \times i}{12 \times 100}$	<b>1.63</b>	<b>1.63</b>
f. Costo del combustible	$W \times Q \times Pq$	<b>1.70</b>	<b>1.07</b>

g. Costo de la energía consumida por los ventiladores	$\frac{NW \times 24 \times Ts \times Y \times Pe}{Vs \times 100}$	<b>3.75</b>	<b>4.36</b>
h. Costo de mano de obra durante el apilado	$\frac{Ta \times L}{60}$	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>
i. Costo de la mano de obra para el descargue	$\frac{Td \times L}{60}$	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>
j. Valor de las pérdidas de madera durante el secado al horno	$\frac{Pm \times Pw}{60}$	<b>0.12</b>	<b>0.02</b>
<b>Costo total del secado</b>	-----	<b>23.48</b>	<b>18.45</b>

- **Cálculo del flujo neto**

El flujo neto es el valor resultante de los ingresos menos los gastos generados.

Se hace indispensable el cálculo del “flujo neto” pues con este valor se obtendrá el VAN y el TIR.

### Sin automatización

Tabla 4.5. Flujo Neto sin la automatización.

+ Ventas sin automatización (300 m <sup>3</sup> ) por año	\$79200
- Gastos totales del secado	\$7044
- Gastos totales (administrativos y operativos)	\$52470
<b>Flujo Neto</b>	<b>\$19686</b>

### Con automatización

Tabla 4. 6. Flujo Neto con la automatización.

+ Ventas con automatización (550 m <sup>3</sup> ) por año	\$145200.0
- Gastos totales del secado	\$10147.5
- Gastos totales (administrativos y operativos)	\$105270.0
<b><i>Flujo Neto</i></b>	<b>\$29782.5</b>

#### 4.5. CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN es el valor presente de los flujos de ingresos y gastos generados durante el periodo de vida útil del proyecto.

Con la ecuación 4.1, se calcula el “valor actual” que sirve para saber que cantidad de dinero en el futuro es equivalente en el presente, dependiendo del número de años y de la tasa de interés. De esta manera se puede establecer un flujo de ingresos (+) y gastos (-) cuya diferencia dará como resultado el VAN.

$$VA = VF \frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Siendo:

VA = Valor actual (flujo descontado)

VF = Valor futuro (flujo neto)

i = Tasa de interés

n = Número de años

El VAN solo puede obtenerse luego de haber realizado los cálculos para todo el tiempo de vida útil del proyecto.

- **Cálculo de VAN sin automatización**

Tabla 4.7. Cálculo del VAN sin automatización.

Años	Flujo Neto	Tasa de descuento	Flujo descontado
0	19000	1,00	-19000,00
1	19686	0,88	17268,42
2	19686	0,77	15147,74
3	19686	0,67	13287,49
4	19686	0,59	11655,69
5	19686	0,52	10224,29
6	19686	0,46	8968,68
7	19686	0,40	7867,26
8	19686	0,35	6901,11
<b>VAN</b>			<b>72320,67</b>

- **Cálculo de VAN incluyendo la automatización.**

Tabla 4. 8. Cálculo del VAN con la automatización.

Años	Flujo Neto	Tasa de descuento	Flujo descontado
0	-20837	1,00	-20837,00
1	29782,5	0,88	26125,00
2	29782,5	0,77	22916,67
3	29782,5	0,67	20102,34
4	29782,5	0,59	17633,63
5	29782,5	0,52	15468,10
6	29782,5	0,46	13568,51
7	29782,5	0,40	11902,20
8	29782,5	0,35	10440,53
<b>VAN</b>			<b>117319,96</b>

En ambos casos el VAN es positivo y por lo tanto los proyecto son viables, pero sin la automatización no se podrá abastecer al mercado de madera seca; en cambio con la automatización si. Para tener un mejor enfoque de lo que representan los valores calculados es necesario establecer el TIR (tasa interna de retorno), de esta manera se obtendrá un valor porcentual en relación a la rentabilidad.

#### 4.6. CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno esta definida como “*el valor de la tasa de actualización en que se iguala el valor actual de los ingresos con el valor actual de los egresos*”<sup>2</sup>, esto es: encontrar el porcentaje con el cual los \$19000 de la inversión se igualan con los ingresos.

El procedimiento para el cálculo del porcentaje se lo conoce como interpolación, dicho valor puede ser calculado en una hoja de Excel, de manera más directa.

##### Sin la automatización

Tabla 4.9. Cálculo del TIR sin la automatización.

Años	Flujo Neto	Factor 102	Flujo descontado	Factor 104	Flujo descontado
0	-19000	1,00	-19000,00	1	-19000
1	19686	0,50	9745,54	0,49	9650,00
2	19686	0,25	4824,53	0,24	4730,39
3	19686	0,12	2388,38	0,12	2318,82
4	19686	0,06	1182,37	0,06	1136,68
5	19686	0,03	585,33	0,03	557,19
6	19686	0,01	289,77	0,01	273,13
7	19686	0,01	143,45	0,01	133,89
8	19686	0,00	71,01	0,00	65,63
			230,38		-134,26

Cálculo del TIR:

$$TIR = 102 + 2 \frac{230,38}{230,38 + 134,26} = 103,26\%$$

<sup>2</sup> Extraído del libro “Diseño y elaboración de proyectos de inversión”, página 227

### Con la automatización

Tabla 4. 10.Cálculo del TIR con la automatización.

Años	Flujo Neto	Factor 142	Flujo descontado	Factor 144	Flujo descontado
0	-20837	1,00	-20837,00	1	-20837
1	29782,5	0,41	12306,82	0,41	12205,94
2	29782,5	0,17	5085,46	0,17	5002,44
3	29782,5	0,07	2101,43	0,07	2050,18
4	29782,5	0,03	868,36	0,03	840,24
5	29782,5	0,01	358,83	0,01	344,36
6	29782,5	0,00	148,28	0,00	141,13
7	29782,5	0,00	61,27	0,00	57,84
8	29782,5	0,00	25,32	0,00	23,71
			118,76		-171,17

Cálculo del TIR:

$$TIR = 142 + 2 \frac{118,76}{118,76 + 171,17} = 142,83\%$$

La tasa de rentabilidad del proyecto automatizado es más atractiva que la que no posee automatización y se concluye esto, luego de haber evaluado los ingresos y gastos durante todo el tiempo de vida útil del horno de secado.

#### 4.7. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Los altos porcentajes de rentabilidad son por que la madera secada al horno es muy cotizada en el mercado nacional, teniendo pocos oferentes de este producto.

Luego de haber hecho un análisis de los factores económicos inmersos en el proyecto, se concluye que la automatización del secadero de madera de la empresa DYMAP aumentará el rendimiento aproximadamente en un 40%.

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Con este proyecto se cumple con los objetivos de la empresa DYMAP, esto es: diseño de la automatización de la cámara de secado, diseño de un plan de secamiento completo para tres especies madereras, establecer una automatización segura y obtener un análisis económico del proyecto.
- Todo proceso de alguna planta industrial, debe ser entendido de la mejor manera para obtener buenos resultados en la automatización.
- Las variables que intervienen en el proceso de secado son varias pero se ha seleccionado las más representativas como el calor, la humedad y el viento para obtener un horno de secado automatizado, sin complejidad.
- Con los resultados obtenidos del análisis económico se concluye que: con la automatización la producción de madera seca se incrementa en un 45%, y la rentabilidad en todo el tiempo de vida del proyecto será del 40% adicional a lo que percibe la empresa en la actualidad.
- El impacto social que representa esta automatización es nula pues ninguna persona deberá ser removida de su cargo o trasladada a otra área.

- Las tablas de secado no son una receta inmutable, pues al secar la misma especie maderera (para este proyecto “pino”, “eucalipto” y “chanúl”), se tiene diversas densidades dependiendo del sitio de extracción. Por ello algunas industrias tienen sus propias tablas en base a la experimentación, de allí que si en un futuro se requiere modificar dichas tablas, la reprogramación será sencilla.
- Los instrumentos utilizados en la automatización pueden llegar a ser muy sofisticados, encareciendo sustancialmente el proyecto dependiendo de su utilidad, por ello los equipos seleccionados en esta automatización son muy funcionales a costos moderados.
- Se debe programar el controlador “Zelio” de forma ordenada y entendible para detectar alguna falla de forma inmediata. Puede que esto alargue el proceso de diseño, pero los beneficios que se obtienen recompensan el trabajo.
- La programación utilizada es “FDB”, “Function block diagram” no muy compleja, pero debe ser entendida de la mejor manera para obtener buenos resultados.
- El ruido es un factor determinante en una automatización y en este caso como no existe un protocolo de comunicaciones entre los equipos para aislar el ruido, se escogió utilizar cables blindados y puestos a tierra para obtener señales exactas.
- La distancia entre los sensores y el controlador afecta en la intensidad de la señal, además de ser vulnerable a la inserción de ruido. Por ello éstos elementos estarán lo más cerca uno del otro.
- La expansión de una industria es algo que llega en determinado momento, por tal motivo se ha seleccionado el controlador “zelio modelo: SR3-262BD” que soporte dichas ampliaciones.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- La construcción del proyecto deberá ser realizada por personal calificado, para que no existan riesgos cuando la planta ya este en funcionamiento.
- Los equipos que se especifican en este proyecto fueron analizados para cumplir con los requerimientos del automatismo, así como para soportar las condiciones físicas a las que van a trabajar. Por ello sustituirlos puede provocar lesiones graves en las personas o fallas en el sistema. Se recomienda únicamente el reemplazo de los equipos con otros superiores o de igual desempeño.
- El caldero representa un peligro potencial si no posee las seguridades pertinentes, de allí que antes de proceder a montar los equipos para el automatismo, se debe tener el caldero funcionando en condiciones óptimas.
- La programación del controlador fue realizada de tal manera que cuando se quiera incluir otras maderas al proceso de secado, solo se debe añadir las tablas pertinentes, sin modificar el programa y sus bloques. Dicha expansión es aplicable para tres especies madereras más.
- Los equipos y la instrumentación trabajarán casi todo el año de manera continua, haciendo que una revisión periódica, de todo el horno sea indispensable. Es aconsejable que antes de iniciar cada proceso de secado se verifique el estado de todo el sistema, para detectar posibles fallas de manera temprana.
- El acceso a los equipos y configuraciones solo debe estar a cargo de personal capacitado, aunque el equipo disponga de seguridades por posibles intromisiones de extraños.
- Es aconsejable mantener el programa bajo código de seguridad ya que desde el panel frontal del controlador se puede acceder a la programación de varios bloques.

- Se debe tener en cuenta que la automatización explotará todo el potencial de la cámara de secado, por ello ofertar la nueva producción al mercado así como manejar adecuadamente el flujo de materia prima, garantizará que toda la cadena del proceso funcione correctamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JUNAC, Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas, 1ra Edición, 1989.
- MICHEL VALERO, Física Fundamental 1, 1ra Edición, 1982.
- <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-Met-03-02-EMC.pdf> 08/2005
- <http://www.waynecombustion.com/manuals/hsg.pdf> 02/2006

FECHA DE ENTREGA

---

ELABORADO POR:

---

Sr. Fabricio Andrés Peralta Chamba

COORDINADOR DE CARRERA

SECRETARIO ACADÉMICO

---

Ing. Víctor Proaño

---

Abg. Jorge Carvajal