

**UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**"Evaluación del ciclo sicrométrico del aire en el secado de caños de cartón y propuesta de eventuales mejoras en empresa Papeles Bío Bío S.A."**

Seminario de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Ejecución en Mecánica.

Profesor Guía Sr. : **Luis Cerda Miskulini.**

**Felipe Eduardo Sánchez Oñate**

**Fernando Andrés Faúndez Vilugrón**

**CONCEPCIÓN - CHILE**

**2015**

INDICE

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.</b>	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Origen del tema.....	2
1.3. Objetivos generales.....	3
1.4. Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO II. ....</b>	<b>4</b>
<b>ANTECEDENTES DE LA EMPRESA</b>	
2.1. Reseña histórica empresa papeles Bío Bío S.A.....	4
2.2. Papeles Bío Bío en la actualidad.....	5
2.3. Política de la empresa.....	7
2.4. Estructura organizacional.....	10
<b>CAPÍTULO III. ....</b>	<b>11</b>
<b>ANTECEDENTES GENERALES.</b>	
3.1 Conceptos y definiciones fundamentales.....	11
3.2 Definiciones y conceptos Sicrométricos.....	13
3.3 Carta sicrométrica.....	18
3.4 Procesos sicrométricos.....	19
<b>CAPÍTULO IV. ....</b>	<b>23</b>
<b>PROCESO DE FABRICACIÓN Y SECADO DE CAÑOS.</b>	
4.1 Descripción del proceso de fabricación y secado de caños de cartón...	23
4.1.1 Proceso de fabricación.....	23
4.1.2 Secado de caños en horno secador.....	31

<b>CAPÍTULO V.</b> .....	40
<b>DETERMINACIÓN DEL CICLO SICROMÉTRICO DE SECADO.</b>	
5.1 Etapas de secado.....	40
5.1.1 Etapa de calentamiento.....	40
5.1.2 Etapa de secado en régimen permanente.....	42
5.2 Evaluación de procesos de secado.....	44
<b>CAPÍTULO VI.</b> .....	52
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.</b>	
6.1 Análisis de los primeros resultados.....	52
6.2 Verificación de la humedad de los caños en un menor tiempo de secado.	53
<b>CAPÍTULO VII.</b> .....	62
<b>PROPUESTA DE MEJORAS.</b>	
7.1 Cambio en la posición del dámper de entrada y salida del aire.....	62
<b>CAPÍTULO VIII.</b> .....	65
<b>ESTUDIO ECONOMICO DE LAS MEJORAS PROPUESTAS.</b>	
8.1 Factor económico de las mejoras propuestas.....	65
<b>CAPÍTULO IX.</b> .....	67
<b>RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.</b>	
9.1 Recomendaciones.....	67
9.2 Conclusiones.....	67
<b>CAPÍTULO X.</b> .....	68
<b>BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS</b>	
10.1 Bibliografía.....	68
10.2 Anexos.....	69
10.2.1 Características de los equipos.....	69
10.2.2 Ecuaciones utilizadas.....	71
10.2.3 Manual y características del anemómetro utilizado.....	74

## Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar el ciclo sicrométrico del aire en el secador de caños de cartón en empresa Papeles Bío Bío S.A. Donde se determinará el consumo energético, tiempo de secado, posibles modificaciones en el proceso y costos de operación.

Para tales efectos se realizó mediciones del ciclo sicrométrico de secado. Se modeló en software EES el ciclo, para su evaluación, luego se verificó en la práctica los resultados obtenidos, se analizó el comportamiento del ciclo en diferentes situaciones y se identificó las variables más sensibles.

Del estudio anterior, se concluyó que es posible realizar modificaciones operacionales, llegando a una reducción de 12 horas por cada proceso de secado sin inversión alguna, contribuyendo a un ahorro del 32,4%, que anualmente reflejan cifras que alcanzan a 1.601.280.- pesos.



## **CAPÍTULO I. GENERALIDADES.**

### 1.1 Introducción.

La energía es la capacidad de producir algún tipo de trabajo o poner algo en movimiento. Si bien el término puede definirse desde una variedad amplia de enfoques, lo cierto es que todos ellos guardan algún tipo de relación con la definición provista. La energía es un tópico de enorme relevancia para la actividad humana, en la medida en que permite el desarrollo de la vida en la tierra y sostiene la actividad económica.

Dentro de las energías una de gran importancia en la industria es la energía térmica. Puede ser transformada tanto en energía eléctrica como en energía mecánica, que se usa para producir potencia mecánica, en intercambiadores de calor, procesos de secado, etc.

El aprovechamiento óptimo de esta energía es de vital importancia para reducir los costos de producción y aumentar la productividad.

Este tipo de energía puede ser obtenida a partir de diferentes situaciones o circunstancias como ser de la naturaleza, del sol, a partir de una reacción exotérmica, tal es el caso de la combustión de algún tipo de combustible.

Cabe destacar que la obtención de la energía térmica siempre provocará un impacto ambiental, porque la combustión libera dióxido de carbono y emisiones altamente contaminantes.

## 1.2 Origen del tema.

La importancia de los tubos de cartón o caños en la industria del papel es imprescindible puesto que no hay otra forma de enrollar o bobinar el papel si no es en un caño o tubo de cartón. Se puede decir que el caño es el corazón de un rollo de papel, puesto que siempre se ubica en el centro de éste.

En el proceso de fabricación de caños, es muy importante el secado de éstos, ya que no puede haber caños con humedad sobre el 8% por que sería un desperfecto que provocaría una serie de contratiempos en el bobinado del papel y por ende un costoso proceso de recuperación del papel en sí. En el caso de Papeles Bío- Bío, para evitar estos problemas, es necesario pasar por un proceso de secado a los caños, esto se logra en una cámara especial, donde son expuestos a una corriente de aire húmedo caliente y cuyo ciclo demora alrededor de 37 horas, para secar desde el 13% de humedad hasta llegar a un 7% aproximadamente.

Al reducir las horas de secado de caños, ayudará a elevar la eficiencia del área, obteniendo una mayor holgura en las descargas del horno secador, pudiendo realizar fabricaciones más de dos veces a la semana, cuando existieran eventuales problemas operacionales.

Además con esta reducción de horas de secado se obtendría una disminución del gasto energético de la empresa, ya que ésta a su vez también produce energía eléctrica que la vende al sistema interconectado central del país.

Es primordial para obtener dichas reducciones realizar una evaluación de la eficiencia del horno secador e identificar las variables que más influyen en el tiempo de secado, que pueden ser de tipo operacionales.

### 1.3 Objetivo general.

- Evaluar el ciclo sicrométrico del aire en el secado de caños de cartón, en la empresa Papeles Bío-Bío S.A.

### 1.4 Objetivos específicos.

- Determinar el consumo energético del proceso.
- Determinar el tiempo de secado bajo condiciones actuales.
- Determinar el tiempo de secado haciendo variar las propiedades más influyentes y flujo de aire.
- Proponer modificaciones para disminuir el tiempo de secado.
- Determinar costos de operación y de inversión en las mejoras.

## **CAPÍTULO II.**

### **ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.**

#### 2.1 Reseña histórica.

Papeles Bío-Bío se encuentra emplazada en la ciudad de San Pedro de la Paz, al lado de la ciudad de Concepción, sus instalaciones están ubicadas cerca de la desembocadura del río Bío-Bío.

Su dirección es Pedro Aguirre Cerda N°1054, San Pedro de la Paz, teléfono (41) 2500000. (Ver figura 2.1)



Figura 2.1 Vista aérea de la planta.



La empresa inicio sus operaciones el 27 de abril del año 1957 siendo sus primeros dueños CMPC (Chile) desde 1957 al 1986, luego la empresa fue adquirida por Fletcher Challenge (Nueva Zelandia) desde 1987 al 2000, posteriormente fue vendida a Norske Skog (Noruega) desde 2000 al 2012, donde finalmente fue vendida a Bo Paper (Chile) dueños actuales, hoy en día lleva por nombre Papeles Bío Bío S.A.

Papeles Bío Bío S.A. Produce papeles de impresión en base a pulpa mecánica con madera proveniente de bosques renovables de pino radiata.

## 2.2 Papeles Bío-Bío en la actualidad.

La empresa Papeles Biobío cuenta en la actualidad con moderna tecnología y personal altamente calificado para producir y comercializar anualmente más de 125.000 toneladas de papeles de impresión en base a pulpa mecánica, y es reconocida por sus altos estándares de calidad, eficiencia y productividad.

### ➤ **Calidad en sus productos y procesos.**

Una gestión en base al aseguramiento y mejoramiento continuo de sus procesos y productos, permite satisfacer los requerimientos de los clientes, cumpliendo con estándares a nivel internacional de calidad de producto. A través del mejoramiento continuo, ha logrado adaptar sus productos a los nuevos requerimientos de impresión del mercado y sus clientes. La pulpa mecánica producida con la tecnología Nórdica de desfibradores presurizados, permite obtener un papel con grandes propiedades de impresión. La empresa también mantiene una cercana relación con sus proveedores de equipos y tecnologías para poder adaptar sus productos y procesos a los requerimientos de sus clientes, la comunidad y demás partes interesadas.

➤ **Producto y mercado.**

El papel para diarios es el principal producto que fabrica y vende a importantes diarios regionales. También se fabrican papeles especiales o mejorados, los cuales son utilizados en la elaboración de insertos/volantes, revistas, guías telefónicas y libros, entre otros. Alrededor del 45% de su producción es destinada al mercado nacional. El otro 55% se exporta a otros países de América del Sur, principalmente Argentina, Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia y Paraguay.

**Máquinas papeleras:**

➤ **Máquina Papelera N° 1.**

Máquina de 4,6 metros de ancho, que produce papel con una variedad de gramaje entre los 36,0 y los 55,0 gramos por metro cuadrado. Su velocidad es de alrededor de los 1.160 metros por minuto y la capacidad anual de producción es de 120000 toneladas.

➤ **Máquina Papelera N° 2.**

Produce papeles especiales de impresión y papel base para la fabricación de papel mural, la capacidad anual de producción es de 5.000 toneladas. La máquina se caracteriza por su amplio rango de fabricación de papeles de distinto gramaje desde 48 a 110 gramos por metro cuadrado.

**Pulpa mecánica como materia prima:**

La pulpa mecánica fabricada en la planta es la materia prima principal para la producción del papel. Esta pulpa es producida a partir de madera de pino radiata y a través de un proceso de desfibrado mecánico presurizado, de alto rendimiento en el uso de la madera y alta eficiencia en el uso de la energía. A su vez, el papel

obtenido a través de este proceso de desfibrado, permite una impresión de alta calidad (printability) tanto en rotativas de heat set como cold set.

La madera pulpable que utiliza Papeles Bío-Bío proviene de plantaciones forestales que cumplen íntegramente los requerimientos legales del país. A su vez, un alto porcentaje de esta madera proviene de bosques certificados ambientalmente. La Planta es operada bajo los conceptos de mejoramiento continuo del desempeño ambiental y con una clara visión de reducir el impacto ambiental al mínimo. Los subproductos de la madera originados por la Planta, son utilizados junto a la biomasa forestal comprada a terceros, en la producción de energía térmica y eléctrica. El 19% de la electricidad que consumen los procesos es generada internamente.

Como resultado de acciones realizadas en materia de gestión y medidas tecnológicas, la empresa ha mejorado en el uso de los recursos naturales, manejo y control de los residuos y uso eficiente de la energía. Además, las inversiones realizadas en el área ambiental, le permiten cumplir y superar los estándares exigidos por la legislación ambiental chilena, destacándose su moderna tecnología para el tratamiento de los residuos líquidos industriales y emisiones áreas.

### **2.3 POLITICAS DE LA EMPRESA**

Su política actualmente se basa en los siguientes principios:

➤ "Papeles Bío-Bío, una empresa dedicada a la fabricación de papel, asume el compromiso de aplicar y mantener un proceso de mejoramiento continuo, con el objeto de lograr excelencia en toda su gestión, mejorando su competitividad y garantizando que la calidad de sus productos satisfaga los requerimientos y/o expectativas de sus clientes".

Su política ambiental se basa en los siguientes principios:

- Cumplir con todos los requerimientos establecidos en la legislación ambiental y otros suscritos por la organización, adoptando una posición preventiva y de mejoramiento continuo en su desempeño ambiental.
- Compatibilizar sus objetivos con la preservación del medio ambiente, a través de procesos productivos eficientes con alto rendimiento de materias primas y energía, integrando los aspectos ambientales en las decisiones operacionales.
- Incorporar a todos los empleados en el compromiso con el medio ambiente y mantener una educación y capacitación permanente, para desarrollar una conducta ambiental responsable.
- Operar con respeto y comprensión de los valores sociales y culturales del país, manteniendo una comunicación abierta con las partes interesadas en materias Ambientales.
- Privilegiar la relación con proveedores de bienes y servicios que compartan nuestros mismos principios.
- Establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión ambiental basado en estándares internacionales, integrado a la gestión global de la empresa.

Su política de energía se basa en los siguientes principios:

- Cumplir con los requerimientos legales y otros, suscritos por la organización, relacionados con el uso y consumo de energía y eficiencia energética.
- Establecer, implementar y mantener objetivos de energía desafiantes y compatibles con el resto de los objetivos de la organización, asegurando la disponibilidad de información y de los recursos necesarios para alcanzarlos, integrando el desempeño energético en las decisiones estratégicas del negocio.
- Alcanzar el mejoramiento continuo en el desempeño energético en todas las actividades de la organización, a través de la definición de estándares exigentes de uso y consumo de energía, compra de productos, equipos y servicios energéticamente eficientes, compatibles con las directrices establecidas por la organización.
- Promover la reducción de gases de efecto invernadero, privilegiando la producción, compra y uso de la energía proveniente de fuentes con menor emisión de estos gases y en términos comercialmente aceptables.
- Asegurar que todas las personas que trabajan en la organización o para ella, relacionadas a los usos significativos de energía, cuentan con las competencias adecuadas para desarrollar una conducta responsable en el uso y consumo de la energía y promover la creatividad e innovación tecnológica en éste ámbito.
- Establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía basado en estándares internacionales, integrado a la gestión global de la empresa.

## 2.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

### ➤ Organización.

Papeles Bío-Bío está organizado fundamentalmente por procesos.

Los Procesos/Funciones y las relaciones de autoridad están indicadas en el organigrama que se muestra en la figura 2.2

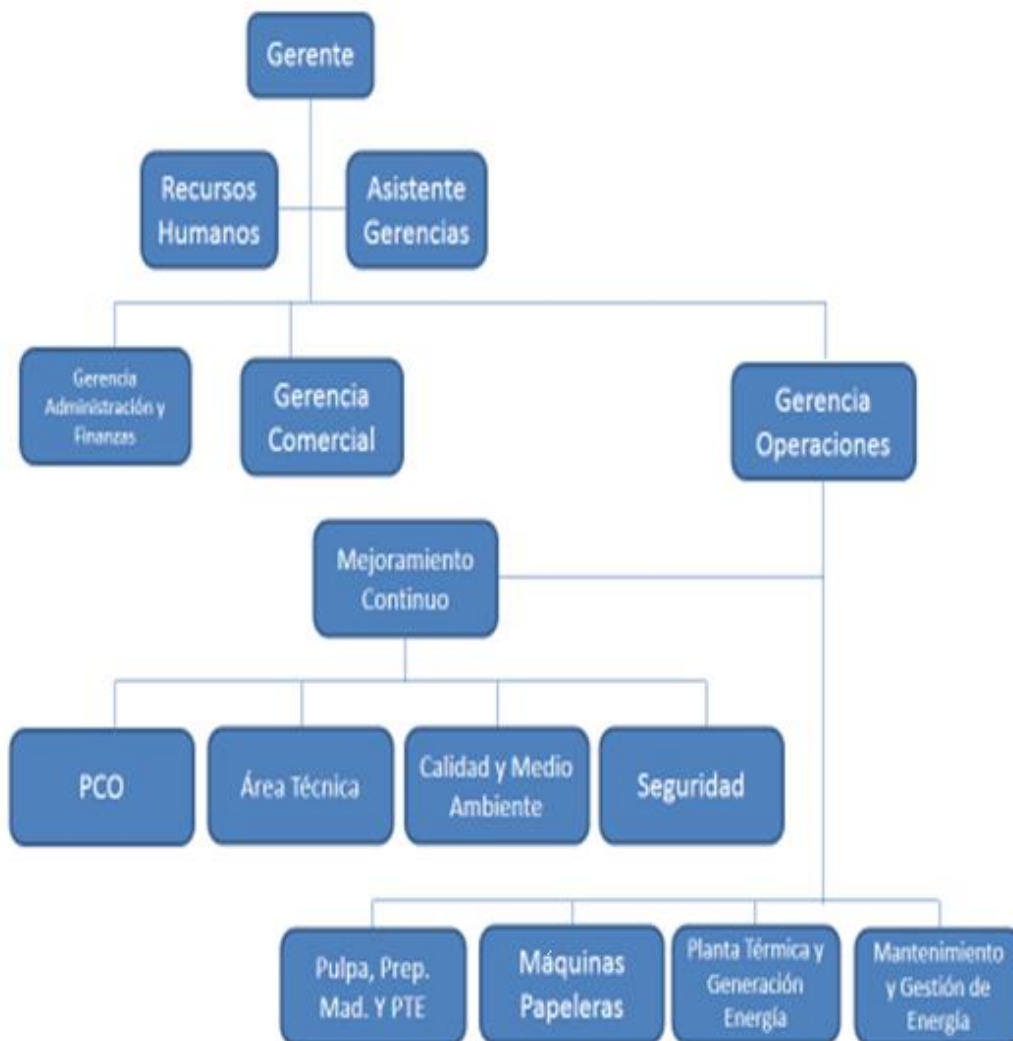


Figura 2.2 Organigrama de la empresa.

## CAPÍTULO III.

### ANTECEDENTES GENERALES

#### 3.1 Conceptos y definiciones fundamentales

El contenido de humedad (CH) se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza, madera, cartón, en este caso caños de cartón. Se expresa en función del peso anhidro de la pieza a evaluar. Su valor numérico se expresa en porcentaje y se calcula por medio de la fórmula descrita a continuación.

$$CHs = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

$$CHh = \frac{Ph - Ps}{Ph} \times 100$$

Donde:

CHs: Humedad de la pieza analizada, expresada como un porcentaje de su peso anhidro [%].

CHh: Humedad de la pieza, expresada como un porcentaje de peso húmedo.

Ph: Peso de la pieza en estado húmedo [kg].

Ps: Peso de la pieza en estado anhidro [kg].

➤ **El calor.**

Se podría definir como la transferencia de energía térmica que se da entre diferentes cuerpos o zonas del mismo que se encuentran a diferentes temperaturas. El calor siempre se transfiere del cuerpo que posee mayor energía térmica al que posee menor energía, hasta llegar a un equilibrio térmico.

➤ **Temperatura.**

La temperatura es un factor de aceleración de la evaporación; cuanto más elevada es la temperatura, más intensa será la evaporación.

Es importante además tener en cuenta que la temperatura, conjuntamente con la humedad relativa, son los elementos que determinan el clima dentro de un horno de secado y el equilibrio del contenido de humedad.

➤ **Humedad relativa del aire.**

La humedad relativa del aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen determinado de aire y la mayor cantidad posible de vapor de agua que pueda hallarse en ese volumen de aire a la misma temperatura.

Cuando menor es la humedad relativa del aire mayor será la capacidad de absorción de vapor, favoreciendo de este modo la velocidad de evaporación.

Hoy en día existen variadas formas de poder medir la humedad relativa del aire, a continuación, se describirán algunas formas de medición.

- Usando un higrómetro.
- Usando un sicrómetro y posteriormente utilizando carta sicrométrica o software EES.



➤ **Velocidad del aire.**

Además de la temperatura y la humedad relativa del aire, la velocidad de circulación del aire participa en la evaporación del agua durante el secado de los caños. Este factor, en una instalación de secado es generalmente constante y depende del tipo de secador y la naturaleza del ventilador.

La velocidad del aire es necesaria para hacerlo circular a través de una unidad calefactora (con vapor o agua caliente), para aumentar la capacidad de evaporación y posteriormente introducirlos a los productos húmedos y extraer la humedad de éstos.

La velocidad de circulación del aire es función del tipo y características del secador, del tamaño y forma de las pilas de caños y además de las condiciones sicrométricas del aire, de la fase del secado que se está considerando y de la temperatura a que se está empleando.

### **3.2 Definiciones y conceptos Sicrométricos:**

• **Sicrometría:** es una parte de la física que estudia las propiedades térmicas del aire húmedo, su regulación, medición y el efecto que la humedad produce en los materiales y confort de las personas.

• **Aire Húmedo**: está constituido principalmente por “vapor de agua y aire seco”, en el cual el vapor se encuentra en cantidades muy pequeñas, frente a la masa de aire seco. Lo anterior quiere decir que la presión parcial que ejerce el vapor de agua, en su mezcla con el aire, es tan pequeña, a las temperaturas ambientales, que normalmente es inferior a 20 mm columna de mercurio ( $0,03 \text{ kg/cm}^2 \approx 2,67 \text{ kPa abs} \approx 0,03 \text{ kg/cm}^2$ ).

Este vapor normalmente se encuentra en el aire como “Vapor sobrecalentado”.

En condiciones señaladas anteriormente, el vapor de agua se comporta muy bien como gas ideal, y por lo tanto la mezcla de aire seco con vapor de agua (aire húmedo) se puede considerar como una mezcla de dos gases ideales.

El aire puede contener una cantidad máxima de vapor de agua que depende exclusivamente de su temperatura, para cierta presión total o altura sobre el nivel del mar (ASNM), a mayor temperatura, el aire puede aceptar un mayor contenido de humedad (vapor de agua).

Por lo tanto, si se desea utilizar un aire húmedo para el proceso de secado (extracción de humedad de un cuerpo o material), necesariamente este debe tener una alta temperatura, sin que dañe el producto a secar, de este modo está en condiciones de captar bastante humedad.

**Aire húmedo saturado**: Es aquel aire húmedo que se encuentra con el contenido máximo de humedad (de vapor de agua), para la temperatura que posee.

Así mismo el vapor de agua se encontrará como “vapor saturado”.

Por lo tanto, éste aire no tiene la capacidad de aceptar más humedad, y no podrá secar.

El vapor en esas condiciones ejerce su mayor presión parcial, ya que está presente con su mayor contenido de humedad en el aire.

➤ **Aire húmedo no saturado:** Es aquel aire húmedo que aún se encuentra en condiciones de captar más humedad (vapor de agua). Es decir, posee una humedad inferior a la máxima que puede aceptar para la temperatura que posee el aire.

➤ **Humedad específica del aire húmedo (W):** Masa de vapor de agua presente en la mezcla por cada kilogramo de aire seco.

$$W = m_v / m_a = 0,622 p_v / (p_B - p_v) \quad [\text{kg vapor agua} / \text{kg aire seco}]$$

Dónde:  $m_v$  = kg de vapor de agua en el aire húmedo

$m_a$  = kg de aire seco

$p_v$  = presión parcial del vapor de agua.

$p_B$  = presión total de la mezcla.

➤ **Humedad relativa del aire húmedo ( $\phi$ ):** “Fracción de la presión parcial real que ejerce el vapor de agua, respecto a la presión parcial máxima que puede ejercer a cierta temperatura.”

NOTA: La máxima presión parcial puede ejercer el vapor de agua, a una temperatura determinada, es aquella cuando el vapor de agua es saturado ( $p_{vs}$ ). Es decir, cuando logra saturar al aire húmedo.

En forma práctica se acostumbra a expresar la humedad relativa en porcentaje (%).

Físicamente representa cuán cerca o cuán lejos del estado de saturación se encuentra el aire húmedo.

Entre más baja sea la humedad específica del aire (aire más seco), podrá extraer mayor cantidad de humedad de un sólido húmedo, en virtud que posee un alto potencial de captación de humedad.

➤ **Temperatura de bulbo seco del aire (tbs)**: Temperatura de bulbo seco o temperatura seca es la medida con un termómetro convencional o termocupla cuyo bulbo se encuentra seco.

Mediante el diagrama psicrométrico o software especial EES. Es posible a partir de tres valores de entrada conocer el resto de las propiedades de las mezclas de aire seco y aire húmedo, uno de los tres valores debe ser la presión de la mezcla, (presión total o ASNM).

➤ **Temperatura de bulbo húmedo del aire (tbh)**: Es la temperatura de aire húmedo medida con un termómetro o termocupla, cuyo bulbo se envuelve en una tela o gasa mojada y es expuesta a la corriente de aire húmedo, la temperatura comenzará a bajar hasta alcanzar una temperatura estable.

“En todo aire no saturado, su temperatura de bulbo húmedo, es siempre inferior a la de bulbo seco”.

➤ **Temperatura del punto de rocío o punto de rocío (TPR)**: Es la temperatura a la cual el vapor de agua presente en el aire húmedo, alcanza el estado de saturación (al límite de empezar a condensar), cuando el aire es enfriado a presión constante.

“En este proceso la presión parcial del vapor de agua permanece constante”.

➤ **Entalpía del aire húmedo (h)**: Es costumbre expresar la entalpía del aire húmedo referida a la energía contenida en cada kg de aire seco, que posee el aire húmedo. Es así que se puede expresar en kcal / kg aire seco o en kJ / kg aire seco, dependiendo del sistema de unidades que se utilice.

“La entalpía del aire húmedo es igual a la entalpía que aporta el aire seco, más la entalpía que aporta el vapor de agua presente en cada kg de aire seco”.

➤ **Volumen específico del aire húmedo (v)**: El volumen específico del aire húmedo se define como el volumen que ocupa la mezcla aire seco y vapor de agua por unidad de masa de aire seco.

Se expresa en  $\text{m}^3$  aire húmedo /kg aire seco.

➤ 3.3 Carta sicrométrica.

Las propiedades termodinámicas de la mezcla aire seco y vapor de agua que constituyen el aire atmosférico se pueden presentar adecuadamente en forma de gráfico, recibiendo el nombre de carta sicrométrica. La carta sicrométrica se construye para una presión atmosférica determinada, que normalmente es la (101,325 kPa), existiendo curvas de corrección para otras presiones.

Ver figura 3.1.

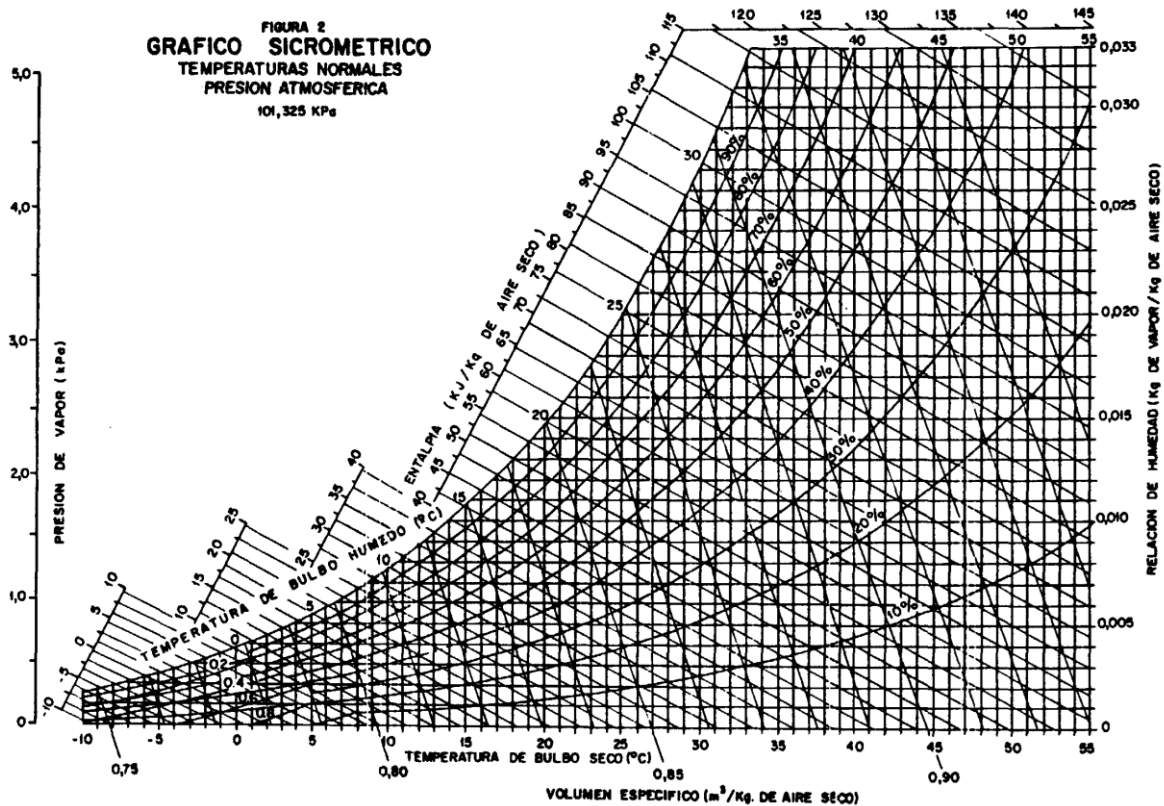


Figura 3.1 Carta sicrométrica

### 3.4 Procesos Sicrométricos.

Los procesos más importantes que se usan en secadores son los siguientes:

- **Calentamiento sensible:** Se trata de una operación muy sencilla que consiste en calentar el aire hasta alcanzar la temperatura que se desee, sin modificar el contenido de humedad, es decir, sin quitar ni añadir agua. Ver figura 3.2

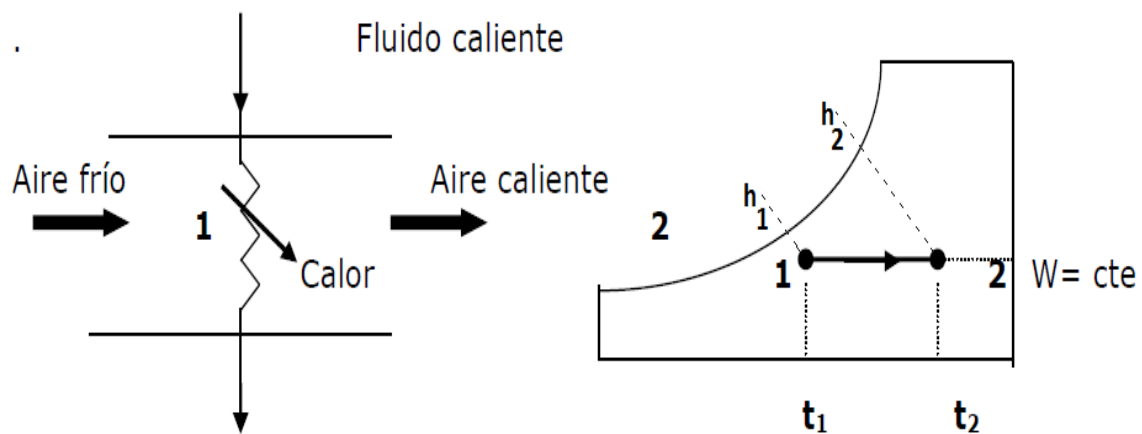


Figura 3.2 Diagrama proceso Calentamiento sensible

Ecuaciones:

El calor entregado al aire es:  $Q = m_a \cdot \Delta h$  [kW]

Dónde:  $m_a$  = kg aire seco/s

$\Delta h$  = Variación de entalpía que experimenta el aire húmedo  $\left[\frac{kJ}{kg \text{ a.s.}}\right]$

**Humectación adiabática con agua líquida:** Agua líquida lanzada al aire en forma pulverizada. Parte de esta agua se evapora y pasa a formar parte e incrementar la humedad específica del aire. Pero éste a su vez se enfría ya que debe aportar calor sensible para evaporar el agua líquida. Proceso que ocurre a bulbo húmedo constante (teóricamente).

Un equipo que realiza este proceso recibe el nombre de lavador de aire.

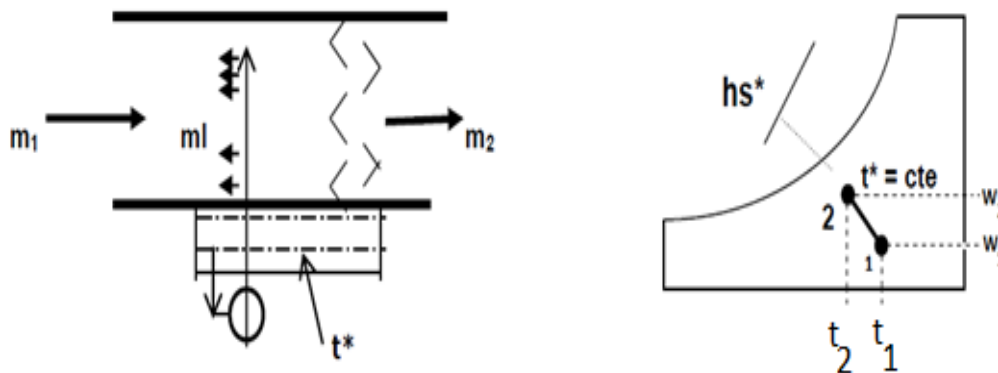


Figura 3.3 Diagrama proceso humectación adiabática con agua líquida.

Ecuaciones:

$$m_1 = m_2 \quad (\text{Balance de masa del aire seco})$$

$$m_l = m_a (W_2 - W_1) \quad \text{kg agua / s}$$

$$h_2 = h_1 + (W_2 - W_1) h_f^* \quad (\text{kJ /kg a.s}) \Leftrightarrow$$

$$h_{s^*.1} = h_{s^*.2} = h_{s^*} = \text{cte.} \quad \Leftrightarrow \quad t^* = \text{cte.}$$

$$h_2 = t_2 + w_2 \cdot h_{v 2}$$



NOTA: Este mismo proceso experimenta el aire húmedo cuando se hace pasar a través de productos húmedos (secado de sólidos húmedos).

El sólido se seca debido al aporte de calor del aire, que evapora su humedad, pero el aire se enfría y se humecta a  $t^* = \text{cte.}$  (en forma teórica).

➤ **Mezcla de dos corrientes de aire húmedo:** Al mezclar dos corrientes de aire húmedo con estados psicrométricos diferentes, entonces el aire resultante tendrá un estado intermedio.

Lo que se traduce en una temperatura, humedad específica y humedad relativa “intermedia”. Este estado intermedio estará más próximo al estado que aporte mayor masa. Ver figura 3.4

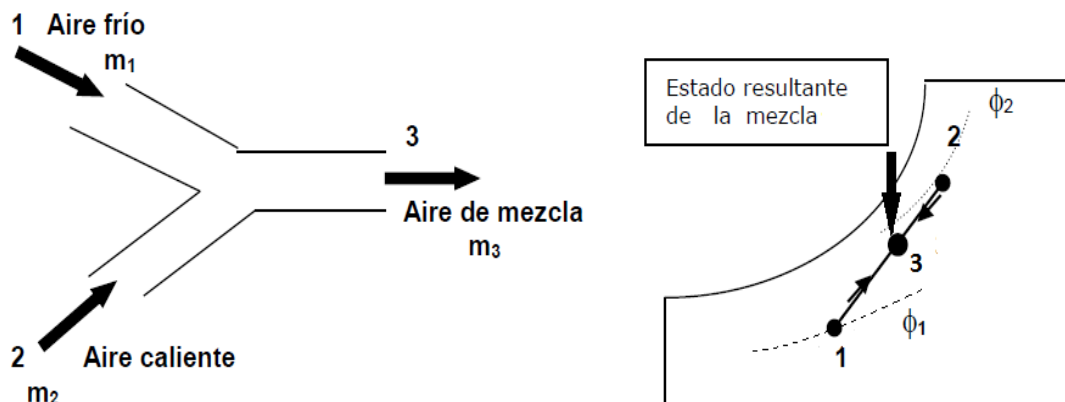


Figura 3.4 Diagrama proceso de mezcla de dos corrientes de aire húmedo.

Ecuaciones:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 W_1 + m_2 W_2 = m_3 W_3 \Leftrightarrow W_3 = W_1 + (m_2 / m_3) (W_2 - W_1)$$

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 \Leftrightarrow h_3 = h_1 + (m_2 / m_3) (h_2 - h_1)$$

En los procesos de secado, se utiliza preferentemente para bajar la humedad del aire que ha absorbido humedad de los productos y de donde se desea recircular el aire húmedo de salida. Esto se consigue mezclando el aire saliente del secador, con el aire frío y menos húmedo exterior (ambiental).

## **CAPÍTULO IV PROCESO DE FABRICACIÓN Y SECADO DE CAÑOS.**

### **4.1 Descripción del proceso de fabricación y secado de caños de cartón.**

#### **4.1.1 Proceso de fabricación**

El objetivo del proceso es producir caños con las características requeridas. Para lograr dicho objetivo se necesita analizar propiedades físicas y mecánicas. Los caños deben ser uniformes en cuanto a propiedades, especialmente en cuanto al contenido de humedad, la cual debe ser lo más cercana posible a su valor de equilibrio el cual es cercano al 7%.

Para cumplir con todas las especificaciones, la elaboración del caño pasa por diferentes etapas tales como:

- Desenrollado de papel para caños.
- Batea de pegamento.
- Conformación de caños.
- Corte del caño madre en sierra cortadora.
  
- **Desenrollado de papel para caños**

Es la primera etapa en el proceso de conformación del caño. En ésta, se alinean las rodela de las diferentes capas de papel (cartón) que conforman el caño. Cuentan con un sistema que permite el guiado del papel hasta la zona de aplicación de pegamento (cola). Las rodela de papel deben desenrollarse manteniendo una tensión determinada en el papel, para ello, el sistema cuenta con unos pesos sostenidos por una banda que aseguran que se mantenga una tensión determinada durante todo el desenrollado de la rodela correspondiente.

El desenrollado del papel se produce por la acción de tracción que ejerce la máquina de fabricación; las rodelaas giran libremente sobre un eje individual compacto, soportado en intersticios individuales ubicados en cada posición de rodela.

La máquina tiene una capacidad de hasta 30 rodelaas, lo que implica la conformación de un caño de un máximo de 30 capas de papel. En Bío-bío, la conformación habitual considera de 20 capas.

Cuando se termina una rodela, se empalma manualmente la cinta con la rodela siguiente en la zona de empalme indicada en la figura 4.1



Figura 4.1 Rodelaas de cartón desenrollándose en el proceso.

➤ **Batea de pegamento**

En este elemento, ingresan las diferentes cintas de papel que conformarán el caño para que queden impregnadas de pegamento (cola). Las capas intermedias son sumergidas en la suspensión de adhesivo, y sólo las capas extremas, la interior y la exterior, reciben pegamento sólo por el lado que tiene contacto con las demás capas que conforman el caño.

Este elemento cuenta con una manguera de reposición de material, la cual está conectada a un estanque que contiene el pegamento “en bruto” ubicado en el subterráneo de la máquina.

La reposición de producto (pegamento) se hace de acuerdo al consumo que se va verificando en el proceso de fabricación de los caños. El operador debe vigilar que se mantenga un determinado nivel en la batea, además de asegurar las condiciones de viscosidad y poder adhesivo correspondiente. (Ver figura 4.2).



Figura 4.2 Batea de pegamento

A). Guías de entrada. Son una serie de barras redondas de acero que poseen limitadores para orientar la entrada de las cintas de cartón direccionada y con tensión uniforme (no reviradas).

B). Guías bajo adhesivo. Son una serie de barras redondas de metal que tienen la función de introducir las cintas de cartón en el adhesivo. Van montadas en la barra **K** la que se desplaza verticalmente mediante el volante **E** para hundir las cintas en el adhesivo. Además, tienen limitadores de desplazamiento para mantener las cintas en posición tal que salgan orientadas hacia los raspadores **C**, manteniendo el desfase entre cintas y la uniformidad de la tensión de cada una de ellas.

C). Guías de entrada al mandril. Son guías cilíndricas de acero con limitadores de desplazamiento para orientar las cintas de cartón de manera que entren al mandril sin superponerse en los bordes.

D). Volante de control de hundimiento. La función de este volante es el desplazamiento vertical de la barra porta guías **K** para que las cintas pasen por el interior de la tina con adhesivo.

E). Seguro. Es una palanca que traba el volante **E** de manera de fijar la posición de las guías bajo adhesivo.

F). Impregnadora de cinta interior. Es una tina pequeña en la que va semi hundido un rodillo en el que topa tangencialmente la parte superior de la cinta para transferir adhesivo solo en ese lado. Este equipo actualmente no cumple la función de impregnar. Solo es una zona de paso de guía de la cinta interior.

G). Guía de cinta exterior. Es una barra metálica que tiene como función cambiar de dirección de la cinta interior para que ingrese a la formación del caño.

H). Control de ángulo de la correa de goma. Está compuesto de un usillo accionado por un volante manual, con el cual se cambia el ángulo del porta rodillos de accionamiento respecto al mandril.

I). Volante de tensión. Son dos volantes uno a cada extremo del porta rodillos de accionamiento, mediante los cuales se hacen girar los usillos que desplazan los rodillos en forma independientes para controlar la tensión de la correa de goma.

J). Botonera de control de velocidad. Consta de cuatro botones: detener partir bajar y aumentar velocidad.

K). Engranaje y eje de accionamiento.

➤ **Raspadores**

Después de impregnarse de pegamento, las capas de papel pasan un raspador cuya función es eliminar el exceso de adhesivo, para posteriormente alinearse en un determinado ángulo y ser dirigidos a la zona de conformación del caño propiamente tal.

➤ **Conformación de caños.**

Después que pasan las cintas, por la batea de pegamento, éstas entran superpuestas entre el mandril y la banda de goma, donde se van uniendo para conformar el caño espiralado mediante la acción de rotación que ejerce dicha banda de goma sobre el caño en formación y el mandril de formación. Esta correa de goma sinfín se encuentra conectada a dos cilindros, los cuales se encuentran en rotación; estos elementos son los que proporcionan el accionamiento de la sección completa en la formación. Este movimiento es controlado por un sistema oleohidráulico. (Ver figura 4.3).



Figura 4.3. formación del caño de cartón.

En la formación del caño hay distintos aspectos a considerar, siendo algunos los siguientes:

- Aplicación de la tensión necesaria de la correa de goma (siendo este factor muy determinante en la condición final del caño).
- Llenado de aceite depósito primera hoja, para ayudar el deslizamiento en el mandril.
- Ajuste de las hojas de cartón para una formación uniforme.
- Controlar el exceso de pegamento antes de entrar a la formación.
- Controlar la velocidad de formación necesaria para una calidad necesaria de los caños.
- Realizar una demarcación en el caño de formación cuando éste se encuentra fuera de la norma de fabricación (Pegaduras de hojas, corte de hojas, formación con capas menores por corte de hojas).



➤ **Corte del caño madre en sierra cortadora.**

La máquina formadora de caños genera un tubo sinfín; por esto, es necesario cortar el tubo a una medida que permita el posterior secado del caño en el horno secador correspondiente, el que luego será cortado de acuerdo a los requerimientos del proceso: programación de la producción en la Bobinadora. Para este propósito, existe la sierra cortadora. Este elemento corta las caños a la medida correspondiente (caño madre de 473 cm). Esta longitud puede ser modificada, pero es la medida estándar que se trabaja en Papeles Bío-Bío y que corresponde 8 cm por sobre el ancho máximo utilizable en la bobinadora dando al operador una holgura en el corte de caño (un despunte de aproximadamente 8 cm).

La sierra cortadora de caños posee un elemento circular con dientes diamantados para el corte, donde es accionada por un motor eléctrico.

Para obtener el caño madre a la medida necesaria esta sección posee un cono metálico (aluminio) montado en el eje del riel para su desplazamiento axial, donde, al tocar en movimiento el caño madre, este elemento metálico acciona la sierra cortadora y mediante un sistema neumático la sierra penetra el caño y lo libera al concluir el corte. Este elemento cuenta con un dispositivo adicional, un aspirador de polvo que, como su nombre lo indica, aspira el polvo que se genera en el proceso de corte del caño, evitando un exceso de aserrín en el horno secador. (Ver figura 4.4).



Figura 4.4 Sierra cortadora de caños.

#### 4.1.2 Secado de caños en horno secador.

➤ Secador de caños

En este proceso, se secan los caños madres luego de ser fabricados, para posteriormente ser formateados, de acuerdo a los requerimientos del proceso (programación de producción). (Ver figura 4.5)



Figura 4.5 Horno secador a plena carga de caños (vista interior).

Los aspectos más importantes a controlar en este proceso son:

➤ **Temperatura de secado:** Este valor va depender de la temperatura con la que llega el agua caliente al intercambiador de calor (radiador o convector), y es fija durante todo el proceso de secado (régimen permanente).

➤ **Flujo de aire en el interior del secador:** Para regular la ventilación del secador, dentro del sistema de renovación de aire, existe un dámper accionado manualmente junto con un termo-ventilador, que permite la entrada de una cantidad determinada de aire y temperatura al secador, además existe un dámper que permite la evacuación de aire húmedo. El sistema debe controlar un determinado flujo de aire de reposición. La idea es que exista un equilibrio, lo que implica que entre tanto aire como se requiera para atrapar la humedad (agua) que sale de los caños durante el secado (humidificación y secado).

En este proceso de secado existen componentes importantes dentro del secador que dan origen al secado de caños, siendo los siguientes. (Ver figura 4.6)

- Intercambiador de calor, por cuyo interior circula agua caliente.
- Ventiladores internos, dos de capacidad nominal 17.000 [m<sup>3</sup>/h]
- Dámper de entrada y salida del aire.
- Termo ventilador, de potencia eléctrica, 15 [kW].

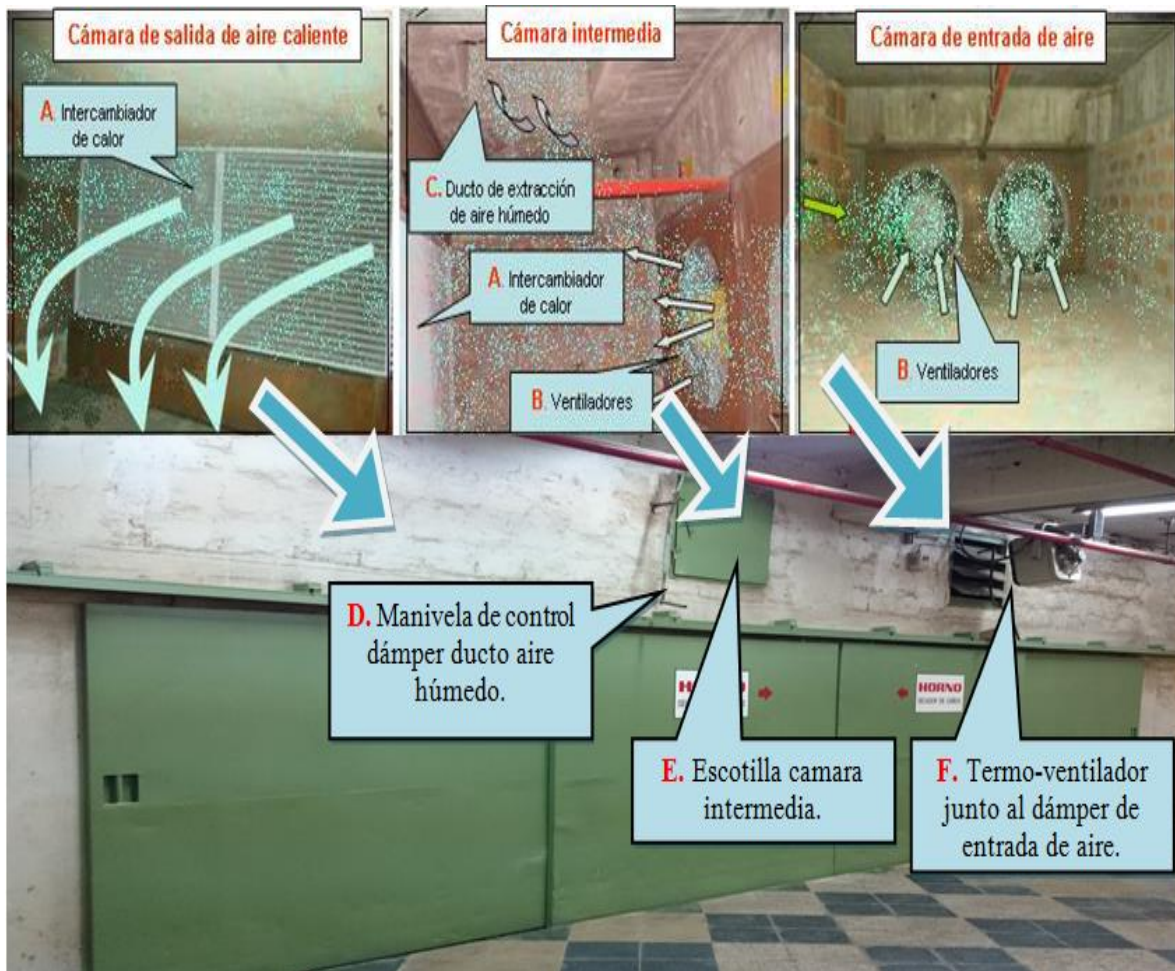


Figura 4.6 Secador de caños y sus componentes.

El flujo del aire dentro del horno secador circula en un solo sentido desde la entrada del aire por el dámper junto al termo-ventilador, cual se mezcla con el aire que sale del secador, luego este aire es impulsado por los ventiladores hacia el intercambiador de calor. Posteriormente este aire circula por dentro de los caños colocados unos sobre otros (Ver figura 4.5). Al absorber la humedad de los caños el flujo del aire sale (con mayor humedad relativa y específica), para luego volver a circular en el proceso, el aire húmedo es retirado por un dámper dispuesto en la cámara intermedia dentro del secador. (Ver figura 4.7). La masa de aire que entra por el termo-ventilador se expulsa a través de la cámara intermedia.

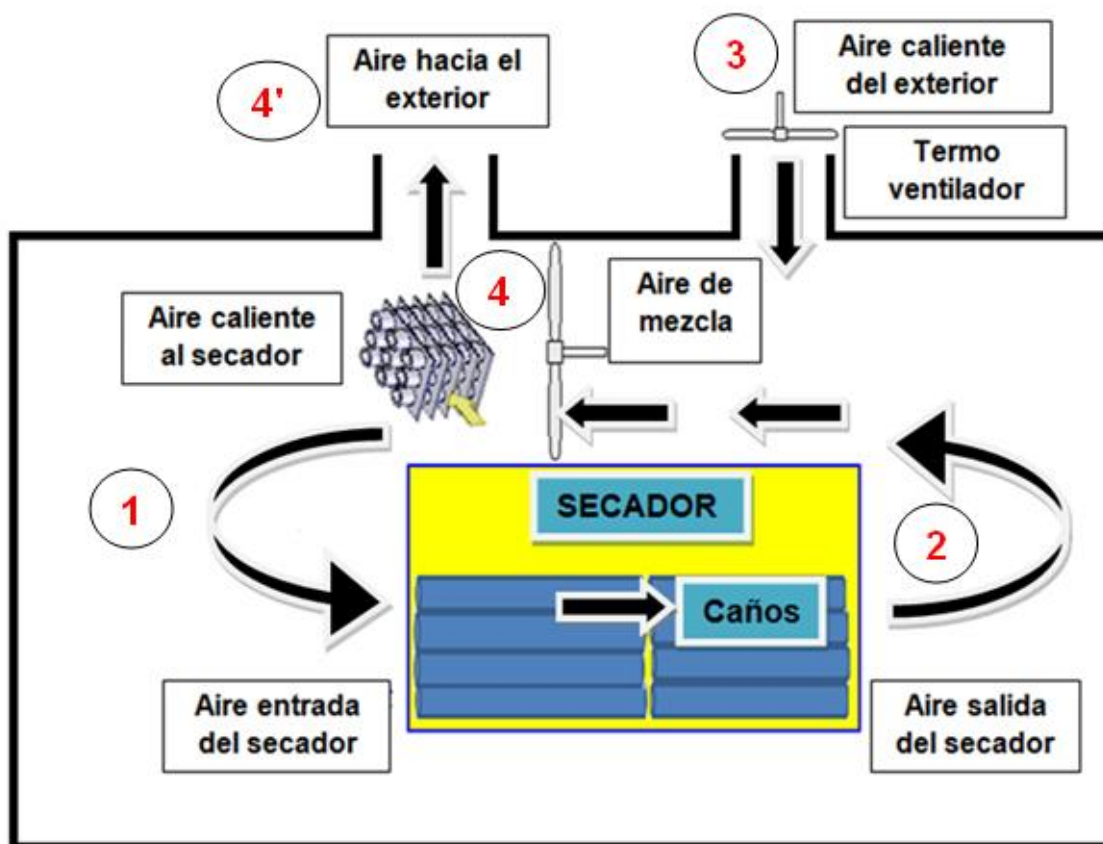


Figura 4.7 Dirección del aire en el secador.

Balance de masas de aire seco:

$$m_1 = m_2$$

$$m_4 = m_2 + m_3$$

$$m_3 = m_4'$$

➤ **Intercambiador de calor (A):** Está compuesto por dos paneles, (Ver figura 4.8). Formado por celdas en cuyo interior circula agua caliente con un flujo de  $0,67 \text{ m}^3/\text{h}$ ; proveniente del calentador de agua a  $55 \text{ °C}$  de MP-1, por el que se hace circular un flujo de aire para elevar la temperatura en el secado de caños. Esta agua sale posteriormente a una temperatura de  $45\text{°C}$ .



Figura 4.8 Radiador o convector por donde circula el aire.

➤ **Ventiladores (B)**: Son dos ventiladores accionados por motores trifásicos, que tienen la función de hacer pasar el aire por el intercambiador, para luego hacerlo circular por el interior de los caños para extraerles parte de la humedad.

Cada ventilador posee un caudal de 17000 [m<sup>3</sup>/h] y giran a 1450 revoluciones por minuto. (Ver figura 4.9).



Figura 4.9 Ventiladores encargados de impulsar el aire.

➤ **Ducto de aire húmedo (C)**: Es un ducto que sale de la cámara intermedia hacia el exterior, por el que se extrae una parte del aire húmedo y que es equivalente al aire caliente que introdujo el termo ventilador. En la parte superior posee una celosía para el control del flujo, de manera que no se pierda demasiado calor al extraer aire húmedo. (Ver figura 4.10).



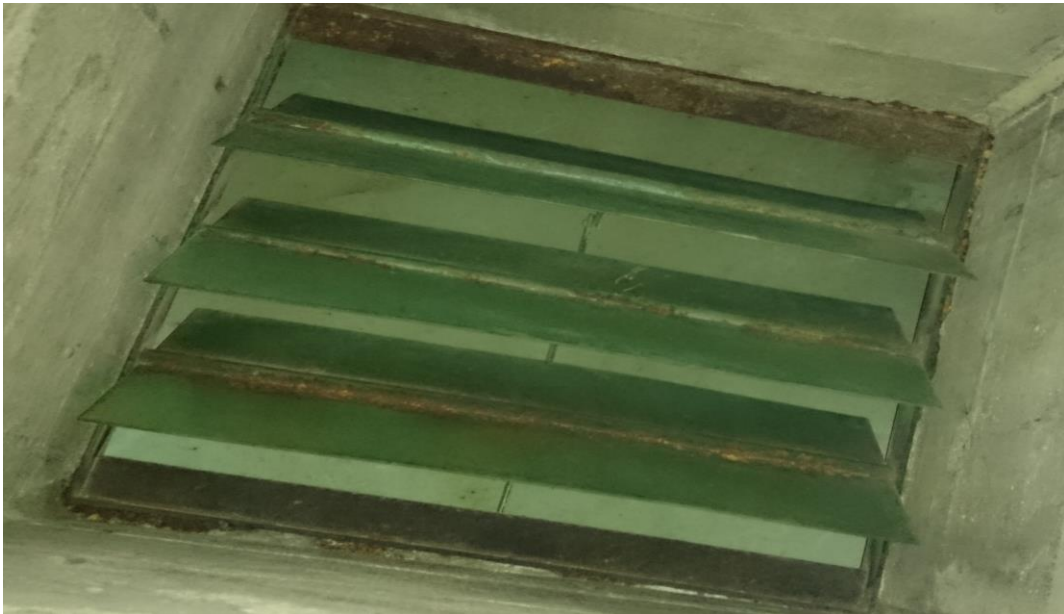


Figura 4.10 Dámper de salida del aire húmedo.

- **Accionador del dámper de aire húmedo (D):** Es una manilla mediante la cual se acciona el dámper de control de caudal de salida aire húmedo del interior del secador. (Ver figura 4.11).
  
- **Escotilla de inspección (E):** Es una pequeña puerta que permite inspeccionar el interior de la cámara intermedia. (Ver figura 4.11).



Figura 4.11 Accionador d&acirc;mpar y escotilla de inspecci&acirc;n.

➤ **D&acirc;mpar de entrada aire, junto al termo ventilador (F):** Es una celos&iacute;a que se acciona manualmente desde el exterior para controlar la entrada del aire caliente desde el exterior, mediante un termo ventilador, de manera de reponer el aire (aire h&uacute;medo) que sale del secador mediante el ducto (d&acirc;mpar de salida del aire h&uacute;medo), para que la masa de aire extra&iacute;do sea igual a la masa aire caliente que introduce el termo-ventilador.

Este termo-ventilador tiene un consumo el&eacute;ctrico de 15 [kW]. (Ver figura 4.12).



Figura 4.12 Termo-ventilador junto al dámper de entrada aire.

## **CAPÍTULO V**

### **DETERMINACIÓN DEL CICLO SICROMÉTRICO DEL SECADO.**

#### 5.1 Etapas del secado.

Durante el proceso de secado de los caños de cartón se distinguen las siguientes etapas fundamentales:

- Etapa de calentamiento.
- Etapa de régimen permanente del secado.

##### 5.1.1 Etapa de calentamiento.

En este proceso de inicio del secado las condiciones de operación cambian a través del tiempo, hasta llegar a régimen.

Toda la energía entregada en el horno secador es absorbida por todos los elementos que lo conforman.

El consumo de energía en este proceso de calentamiento está dado en función de los siguientes factores:

- Calentamiento de paredes.
- Calentamiento del piso.
- Calentamiento de las partes y piezas del horno.
- Calentamiento del aire interior.
- Calentamiento de la carga de caños.
- Pérdidas de energía a través de las paredes y fugas de temperatura por junta de puertas corredizas.

Para esta etapa de secado se realizó una toma de datos obtenidos en terreno en distintos puntos dentro del horno secador de caños. Para éste efecto se utilizó un equipo para de medir la temperatura y humedad relativa del aire. (thermal environment monitor), sus rangos de operación son de -5 a 100°C. y de 0 a 100% de humedad relativa. (Ver figura 5.1).



Figura 5.1 Equipo para medir la humedad relativa y temperatura.

Tabla 5.1 Datos promedios de medición, en el inicio del proceso.

Lugar de medición del aire	Temperatura (° C)	Humedad relativa del aire (%)
Entrada a los caños.	29,9	49
Salida de los caños.	23,7	79
Entrada de aire.	44	15
Cámara intermedia.	28,9	54

### 5.1.2 Etapa de secado en régimen permanente.

Una vez alcanzada la temperatura estable del secado de caños se da comienzo a esta etapa de régimen permanente.

En esta etapa también como la anterior se realizaron mediciones en distintos puntos del horno secador siendo el promedio de ellos expresados en la siguiente tabla 5.2.

Tabla 5.2 Datos promedios de medición, en régimen permanente.

<b>Lugar de medición del aire</b>	<b>Temperatura (° C)</b>	<b>Humedad relativa del aire (%).</b>
Entrada a los caños	35,5	41
Salida de los caños	34,3	45
Entrada de aire exterior termo-ventilador	44	15
Cámara intermedia. (mezcla)	34,9	42

Como este régimen es permanente se realizarán los cálculos con estos datos, siendo representativos durante el ciclo de secado en horno secador de caños. Además, para realizar los cálculos se debe tener en cuenta datos importantes del caño los cuales se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 5.3 Características promedio del caño.

<b>Características del caño</b>	
Diámetro externo	102,7 mm
Diámetro interno	76,5 mm
Espesor	13,1 mm
Largo	4,73 m
Peso húmedo	14 kg
Humedad inicial y al termino	13% y 6,5% (base húmeda)

Tabla 5.4 Largo y peso total del caño en cada carga.

<b>Carga del secador</b>		
N° de caños por ciclo de secado	478	4,73 m
	125	1,8 m
Peso húmedo	6692 kg	4,73 m
	625 kg	1,8 m
Carga total	7317 kg	

Además, es necesario considerar otros datos de importancia, expresados en la siguiente tabla 5.5.

Tabla 5.5 Condiciones influyentes en el cálculo.

Flujo volumétrico de aire ventiladores:	35000 [m <sup>3</sup> /h]
	9,722 [m <sup>3</sup> /s]
Flujo volumétrico de aire termo-ventilador:	2500 [m <sup>3</sup> /h]
	0,694 [m <sup>3</sup> /s]
Humedad final del caño:	7% + - 1% (6 a 8%)
Tiempo de secado:	35 - 37 horas.

## 5.2 Evaluación del proceso de secado.

Para cuantificar las características de cada proceso que experimenta el aire en el interior del secador, como también, la cantidad de agua que se le extrae a los caños, tiempo de secado y variables influyentes en dicho proceso, se realizarán los cálculos respectivos y apoyándose en el software EES.

De acuerdo a las condiciones sicrométricas, señaladas en la tabla 5.2, se determinarán todas las propiedades de cada estado y se graficarán los procesos en la carta sicrométrica y se realizará un esquema de las variables en diagrama Windows de dicho software.

### Estado N°1

Entrada de aire caliente a los caños.

$$T_1 = 35,5 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\phi_1 = 41 \quad [\%]$$

### Del software EES.

$$h_1 = 74,02 \quad [\text{kJ/kg a.s}]$$

$$w_1 = 0,01491 \quad [\text{kg v/kg a.s}]$$

$$v_1 = 0,8955 \quad [\text{m}^3/\text{kg a.s}]$$

### Estado N°2

Salida del aire de los caños.

$$T_2 = 34,3 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\phi_2 = 45,1 \quad [\%]$$



Del software EES.

$$\begin{aligned} h_2 &= 73,92 & [\text{kJ/kg a.s}] \\ w_2 &= 0,01536 & [\text{kg v/kg a.s}] \\ v_2 &= 0,8927 & [\text{m}^3/\text{kg a.s}] \end{aligned}$$

**Estado N°3**

Entrada aire caliente del termo ventilador

$$\begin{aligned} T_3 &= 44 & [^\circ\text{C}] \\ \phi_3 &= 15 & [\%] \end{aligned}$$

Del software EES.

$$\begin{aligned} h_3 &= 66,26 & [\text{kJ/kg a.s}] \\ w_3 &= 0,008506 & [\text{kg v/kg a.s}] \\ v_3 &= 0,9109 & [\text{m}^3/\text{kg a.s}] \end{aligned}$$

$m_1$  = Masa aire seco entrada a los caños.

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{\dot{V}_1}{v_1} \\ m_1 &= \frac{9,722 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{0,8955 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg. a. s}} \right]} = \frac{10,856 \text{ kg a. s.}}{\text{s}} \end{aligned}$$

**Proceso de mezcla (2-3)**

En este proceso se mezcla la masa de aire saliente de los caños con la masa de aire que entra del termo ventilador por el dámper de entrada, dando origen a la masa de aire 4.

**Determinación del estado 4**

$$m_1 = m_2 = 10,856 \text{ [kg a.s / s]}$$

$$m_2 + m_3 = m_4$$

$$w_4 = w_1 = 0,01491 \text{ [kg vapor/ kg aire seco]}$$

$$w_2 = 0,01536$$

$$w_3 = 0,008506$$

$$m_2 \cdot w_2 + m_3 \cdot w_3 = m_4 \cdot w_4 \quad (\text{Balance de humedad})$$

$$m_2 \cdot h_2 + m_3 \cdot h_3 = m_4 \cdot h_4 \quad (\text{Balance de energía})$$

Reemplazando valores se tiene:

$$10,856 \cdot 0,01536 + m_3 \cdot 0,008506 = (10,856 + m_3) \cdot 0,01491$$

$$10,856 \cdot 73,92 + m_3 \cdot 66,26 = (10,856 + m_3) \cdot h_4$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los siguientes resultados:

$$m_3 = 0,7590 \text{ [kg a.s/s]}$$

$$h_4 = 73,42 \text{ [kJ/kg a.s]}$$

Con:

$$w_4 = w_1 = 0,01491$$

$$h_4 = 73,42 \text{ [kJ/kg a.s]}$$

Del EES. se obtienen:

$$\begin{aligned} T_4 &= 34,93 & [^{\circ}\text{C}] \\ \phi_4 &= 42,32 & [\%] \\ v_4 &= 0,8939 & [\text{m}^3/\text{kg a.s}] \end{aligned}$$

### **Proceso calentamiento sensible**

$$\begin{aligned} Q_4 &= m_1 (h_1 - h_4) & [\text{kW}] \\ Q_{4-1} &= m_1 (h_1 - h_4) & [\text{kW}] \\ Q_{4-1} &= 10,856 \cdot (74,02 - 73,42) \\ Q_{4-1} &= 6,44 & [\text{kW}] \end{aligned}$$

### **Proceso de secado (1-2).**

Masa de agua extraída a los caños (velocidad de secado).

$$ml = m_1 (w_2 - w_1) \cdot 3600 \left[ \frac{\text{kg agua}}{\text{h}} \right]$$

$$ml = 10,856 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot \left( 0,01536 \left[ \frac{\text{kg v}}{\text{kg a.s}} \right] - 0,01491 \left[ \frac{\text{kg v}}{\text{kg a.s}} \right] \right) \cdot 3600$$

$$ml = 17,5932 \left[ \frac{\text{kg agua}}{\text{h}} \right]$$

Tiempo de secado de los caños.

Masa de agua a extraer a los caños.

Tiempo = masa agua extraer / ml

Agua inicial de los caños en el proceso.

Masa producto húmedo = 7317 kg

Humedad inicial = 13 % (0,13)

Agua inicial = 7317 · 0,13 = 951,2 kg a.

Agua final de los caños.

Humedad final = 6,5 % (0,065)

Masa producto seco = 7317 - 951,2 = 6365,8 kg

$$\text{Humedad final}(0,065) = \frac{\text{agua final}}{\text{masa prod. seco}(6365,8) + \text{agua final}}$$

Agua final = 442,5 kg a.

Agua extraída = 951,2 - 442,5 = 508,7 kg

Tiempo de secado = 508,7 [kg] / 17,51 [kg/h] = 29,06 [h]

Calor aportado por el agua en el intercambiador de calor:

$$Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \cdot C_{p \text{ agua}} \cdot \Delta T_{\text{agua}} [kW]$$

$$m_{\text{agua}} = 670 \left[ \frac{kg}{h} \right] = 0,1861 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

$T_{\text{entrada agua}} = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{\text{salida agua}} = 42,3 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{agua}} = 0,1861 \cdot 4,187 \cdot (52,5 - 42,3) = 7,95 [kW]$$

A continuación, se expone en figura 5.2 Diagrama Windows, confeccionado en el software EES, cual contiene un esquema de la instalación de secado, con los datos de entrada, obtenidos de las mediciones realizadas en terreno y las variables o propiedades que se determinan.

El software correspondiente se adjunta en anexo A

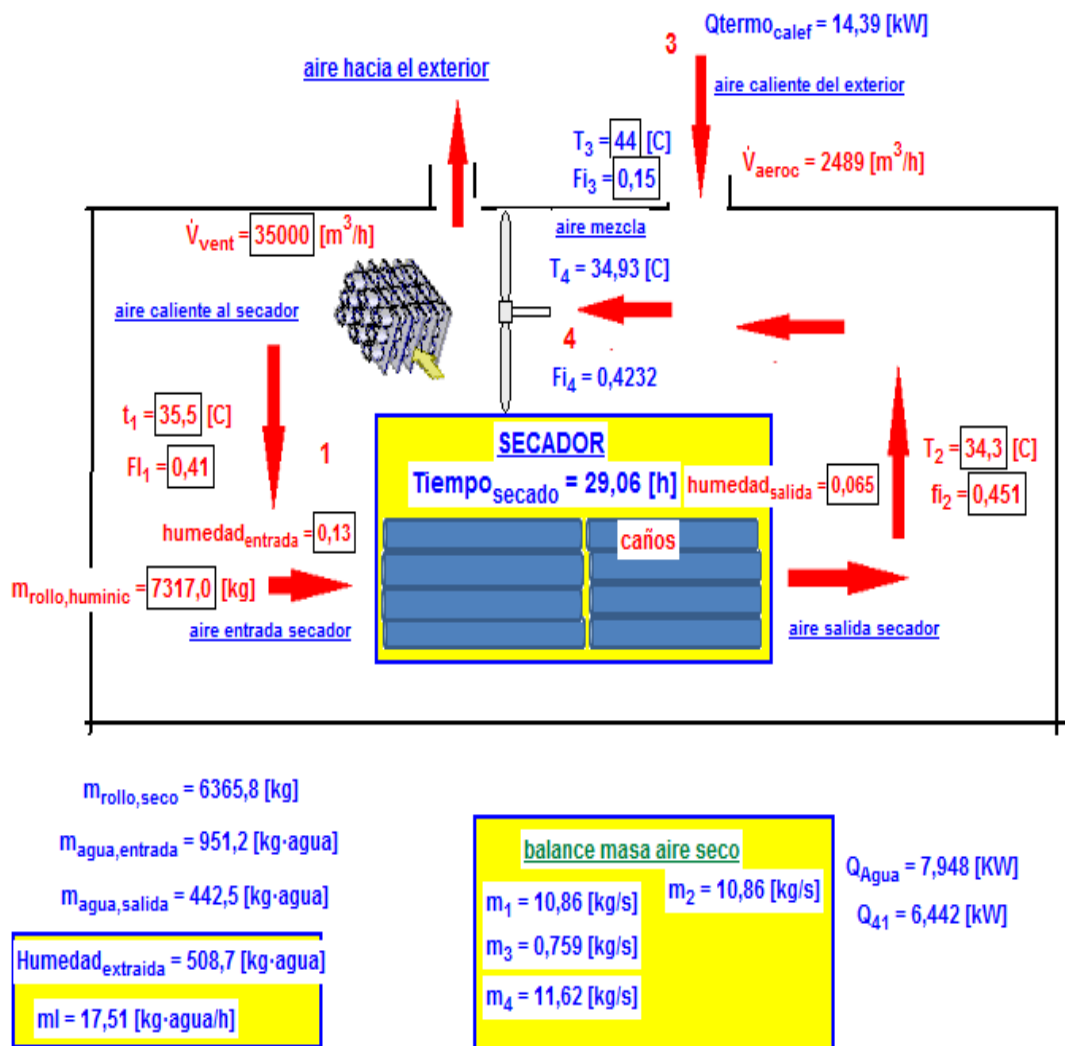


Figura 5.2 Diagrama Windows del proceso de secado.

Además, en figura 5.3 se muestra en carta sicrométrica, los procesos del aire durante el ciclo de secado.

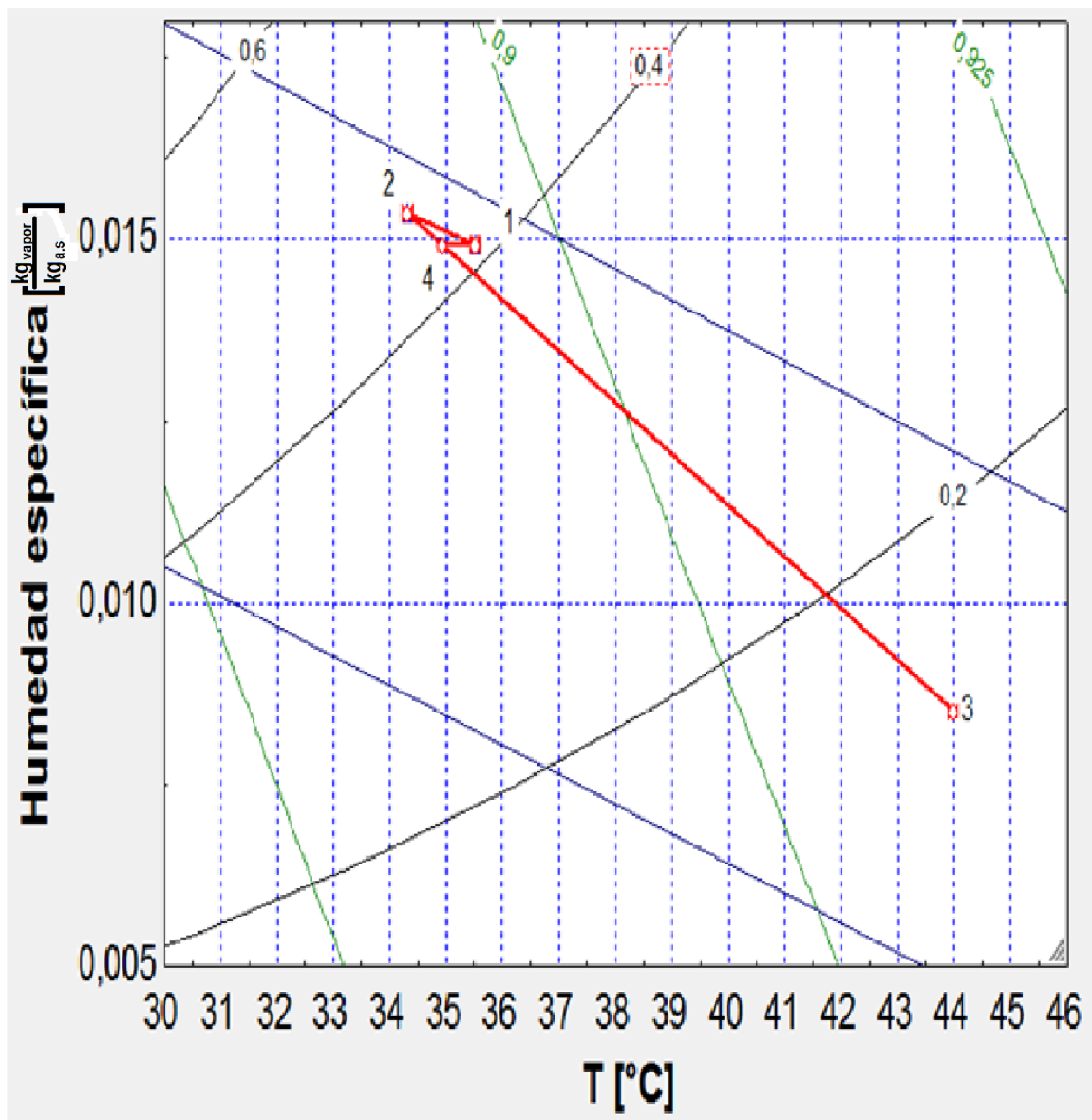


Figura 5.3 Ciclo sicrométrico de secado, en condiciones actuales.

En la siguiente tabla (5.6), se muestra la tabla de arreglo extraída del software EES. Donde muestra las variables utilizadas en el proceso de secado.

Tabla (5.6) de arreglos estados del ciclo sicrométrico.

	$F_i$	$t_i$ [C]	$t_{b_i}$ [C]	$w_i$ [kg v/kg a.s]	$h_i$ [kJ/kg a.s]	$v_i$ [m <sup>3</sup> /kga.s]	$m_i$ [kg/s]	$\dot{V}_i$ [m <sup>3</sup> /s]
[1]	0,41	35,5	24,56	0,01491	74,02	0,8955	10,86	9,722
[2]	0,451	34,3	24,52	0,01536	73,92	0,8927	10,86	
[3]	0,15	44	22,69	0,008506	66,26	0,9109	0,759	0,6797
[4]	0,4232	34,93	24,41	0,01491	73,42	0,8939	11,62	
[5]		35,5		0,01491				

## **CAPÍTULO VI.**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.**

#### 6.1 Análisis de los primeros resultados:

De acuerdo al modelo establecido, mediante el software EES, con las características sicrométricas propias de cada proceso y las condiciones de operación que se obtuvieron en terreno, se determinó un tiempo de secado de aproximadamente 29 horas. En la práctica y como se ha mencionado anteriormente, los tiempos de secado utilizado en la empresa es de 37 horas. De lo anterior puede desprenderse que, posiblemente, el tiempo de secado utilizado actualmente puede ser menor, y el cual no ha sido verificado experimentalmente.

El programa además entrega información respecto al consumo eléctrico del termo-ventilador, cual es de 14,39 kW, y según placa característica de éste especifica 15 kW. Lo anterior permite verificar que el modelo está arrojando valores de variables compatibles con la realidad. Así mismo el calor de calefacción del aire en el intercambiador de calor corresponde a 6,44 kW y el calor que estaría entregando el agua caliente en éste corresponde a 7,95 kW. Por lo tanto, estas cifras también son razonables, ya que el aire recibe menor cantidad de calor respecto al que entrega el intercambiador de calor, lo cual se debe a pérdidas que se disipan hacia las paredes de la cámara intermedia, puertas del horno y elementos metálicos propios del secador.



## 6.2 Verificación de la humedad de los caños en un menor tiempo de secado.

En el objetivo de verificar si realizando mediciones de secado de los caños, en un tiempo aproximado de 29 horas tal como se determinó con el software, se obtenían humedades de éstos, comprendidas dentro de los rangos aceptables  $7 \pm 1$  % (6 a 8%), se extrajo un caño de la segunda fila de la cámara de secado, (el cual debiera tener una humedad ligeramente mayor que de los de la primera fila) a las 29 horas de iniciado el proceso. De este caño se extrajeron seis muestras y se realizaron las medidas de humedad correspondiente, lo cual se obtuvo un promedio de 7,5%. Por lo tanto, queda demostrado que en este tiempo ya puede concluirse el proceso de secado, obteniendo una disminución de aproximadamente de 8 horas, lo cual incide directamente en una mayor productividad de secado y un ahorro energético.

El tiempo de 37 horas utilizado actualmente es el resultado de prácticas operativas heredadas por experiencias equívocas en este proceso, ya que en ésta sección de "fábrica de caños" nunca se realizaron estudios más profundos de éste proceso de secado, manteniéndose por años esta práctica.

Además, se cambió el anterior programa EES, para poder modificar algunas variables influyentes en el proceso de secado (variables en cuadro negro son modificables), y de esta forma saber cuál de todas las variables entregadas por el software es la determinante de las horas de secado de caños. (Ver figura 6.1).

Se aumentó el caudal de aire del termo-ventilador (a  $3100 \text{ m}^3/\text{h}$ ), esto en la práctica se obtiene abriendo totalmente el damper correspondiente, por ende la temperatura del aire de entrada debiera disminuir, se estima en  $41^\circ\text{C}$  Y 17% de humedad relativa.

El tiempo de secado disminuyó, alcanzando un valor de 22,35 horas.

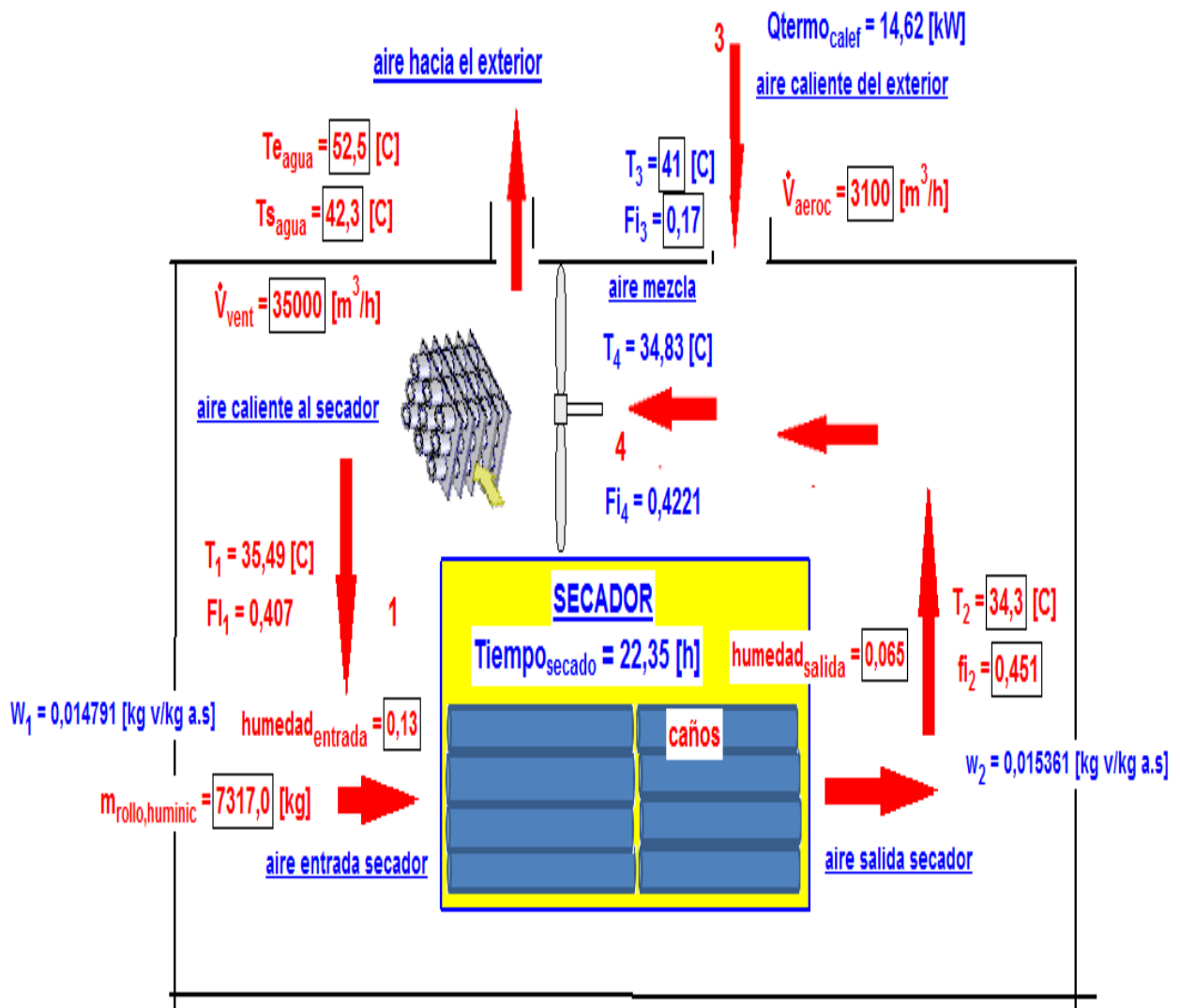


Figura 6.1 Proceso con variables modificables.

En el objetivo de analizar la influencia de otras variables de operación, en la disminución del tiempo de secado. Se elaboraron tablas paramétricas, haciendo variar algunas propiedades que se estimaron relevantes, utilizando el software modelado inicialmente.

En primer lugar, se analizó la influencia del caudal que impulsan los ventiladores en tabla 6.1 y queda representado en el gráfico, caudal ventiladores v/s tiempo de secado.

En tabla 6.1 se aprecia que al aumentar el volumen de los ventiladores de 30000 [m<sup>3</sup>/h] a 50000 [m<sup>3</sup>/h]. No influye mayormente en el tiempo de secado de los caños, siendo ésta variable no considerada para una eventual mejora.

Tabla 6.1 Influencia del caudal de los ventiladores en el tiempo de secado.

1.21	1 V <sub>vent</sub> [m <sup>3</sup> /h]	2 Tiempo <sub>secado</sub> [h]	3 T <sub>1</sub> [C]	4 Fl <sub>1</sub>	5 Q <sub>41</sub> [kW]	6 Q <sub>termo</sub> <sub>caleg</sub> [kW]
Run 1	30000	23,58	35,68	0,4008	7,55	14,04
Run 2	31000	23,52	35,64	0,4023	7,55	14,04
Run 3	32000	23,45	35,6	0,4037	7,55	14,04
Run 4	33000	23,39	35,56	0,4049	7,55	14,04
Run 5	34000	23,33	35,52	0,4062	7,55	14,04
Run 6	35000	23,28	35,49	0,4073	7,55	14,04
Run 7	36000	23,23	35,46	0,4084	7,55	14,04
Run 8	37000	23,18	35,43	0,4095	7,55	14,04
Run 9	38000	23,14	35,4	0,4105	7,55	14,04
Run 10	39000	23,09	35,37	0,4114	7,55	14,04
Run 11	40000	23,05	35,34	0,4123	7,55	14,04
Run 12	41000	23,01	35,32	0,4132	7,55	14,04
Run 13	42000	22,98	35,3	0,414	7,55	14,04
Run 14	43000	22,94	35,27	0,4148	7,55	14,04
Run 15	44000	22,91	35,25	0,4156	7,55	14,04
Run 16	45000	22,88	35,23	0,4163	7,55	14,04
Run 17	46000	22,85	35,21	0,417	7,55	14,04
Run 18	47000	22,82	35,19	0,4177	7,55	14,04
Run 19	48000	22,79	35,17	0,4183	7,55	14,04
Run 20	49000	22,76	35,16	0,419	7,55	14,04
Run 21	50000	22,73	35,14	0,4196	7,55	14,04

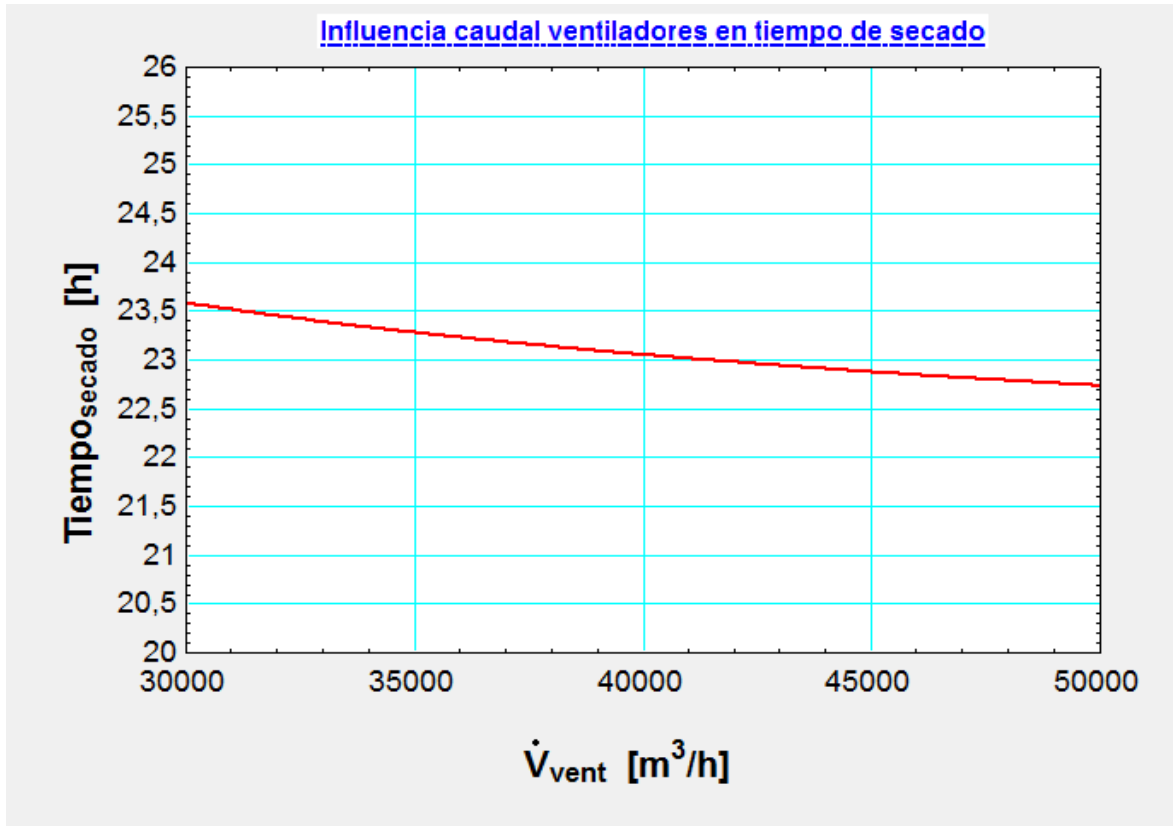


Figura 6.2 Gráfico caudal ventiladores v/s tiempo de secado.

Se puede observar que el aumento de caudal en los ventiladores no provocaría cambios influyentes en el tiempo de secado, por lo tanto, se desestima esta probable mejora.

En segundo lugar, se analizó la influencia de la temperatura del termo ventilador, en el tiempo de secado y otras variables, (Ver tabla 6.2).

En esta tabla paramétrica se aprecia que al ir aumentando la temperatura del termo ventilador comenzando en 39 [°C], el tiempo de secado de caños también aumenta. Bajo la condición antes mencionada, se puede determinar que la temperatura no debe exceder los 39 [°C] para una disminución de las horas de secado.

Tabla 6.2 Influencia de temperatura del termo ventilador en el tiempo de secado.

1..26	1	2	3	4	5	6
	$T_3$ [C]	$Fi_3$	Tiempo <sub>secado</sub> [h]	$Q_{termo_{caleg}}$ [kW]	$T_4$ [C]	$Fi_4$
Run 1	39	0,17	20,67	10,22	34,67	0,4243
Run 2	39,1	0,17	20,78	10,41	34,67	0,4242
Run 3	39,2	0,17	20,9	10,6	34,68	0,4241
Run 4	39,3	0,17	21,01	10,79	34,69	0,4241
Run 5	39,4	0,17	21,13	10,97	34,7	0,424
Run 6	39,5	0,17	21,25	11,16	34,7	0,4239
Run 7	39,6	0,17	21,37	11,35	34,71	0,4238
Run 8	39,7	0,17	21,49	11,54	34,72	0,4237
Run 9	39,8	0,17	21,62	11,73	34,73	0,4236
Run 10	39,9	0,17	21,74	11,92	34,73	0,4236
Run 11	40	0,17	21,87	12,11	34,74	0,4235
Run 12	40,1	0,17	22	12,3	34,75	0,4234
Run 13	40,2	0,17	22,14	12,49	34,76	0,4233
Run 14	40,3	0,17	22,27	12,69	34,76	0,4232
Run 15	40,4	0,17	22,41	12,88	34,77	0,4232
Run 16	40,5	0,17	22,55	13,07	34,78	0,4231
Run 17	40,6	0,17	22,69	13,26	34,79	0,423
Run 18	40,7	0,17	22,83	13,46	34,79	0,4229
Run 19	40,8	0,17	22,98	13,65	34,8	0,4229
Run 20	40,9	0,17	23,13	13,84	34,81	0,4228
Run 21	41	0,17	23,28	14,04	34,82	0,4227

Se realizó en base a la influencia de la temperatura del aire que impulsa el termo-ventilador.

En tabla paramétrica 6.2, se aprecia que a menor temperatura del termo-ventilador el tiempo de secado disminuye y que se describe más claramente en el siguiente gráfico de temperatura del termo-ventilador v/s tiempo de secado.

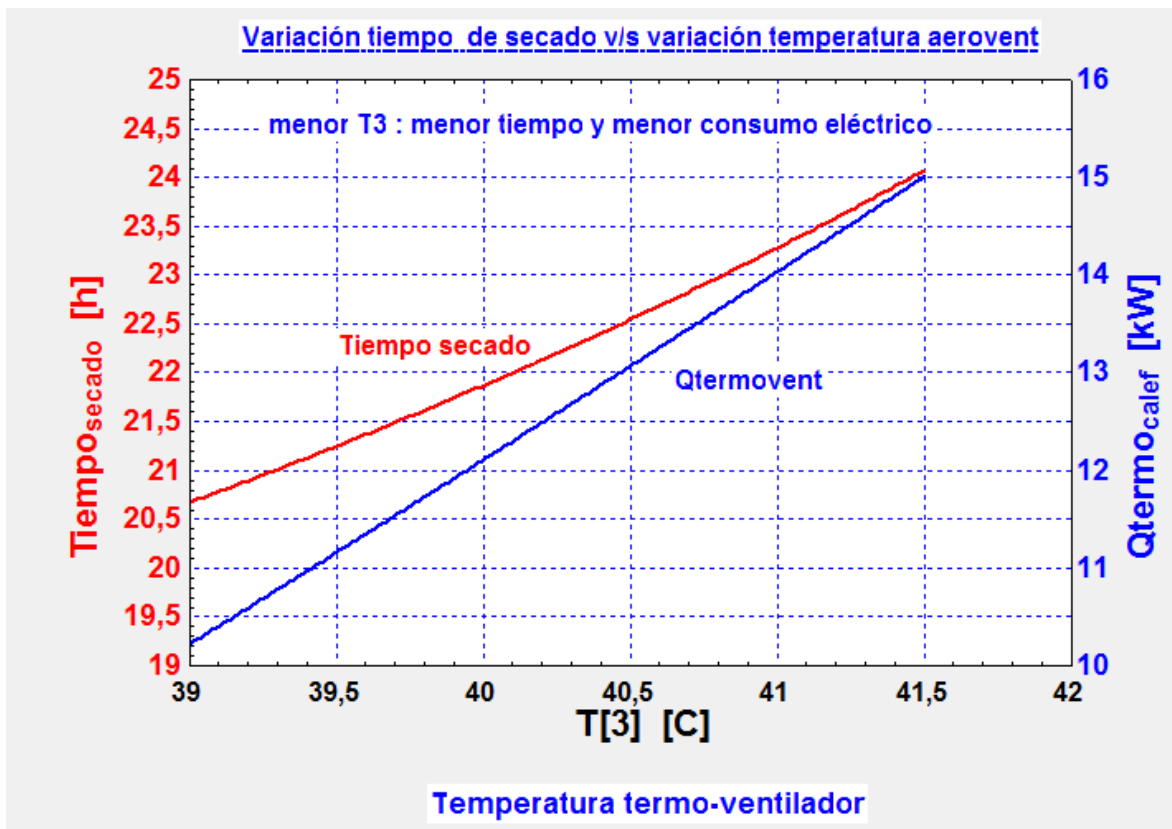


Figura 6.3 Gráfico temperatura termo-ventilador v/s tiempo de secado.

Además, se verifica la gran influencia que ejerce una pequeña variación de esta temperatura constituyendo una variable altamente sensible.

La única forma de variar esta temperatura sería disminuyendo la potencia eléctrica del termo-ventilador. Lamentablemente este equipo posee dos niveles de potencia y actualmente se encuentra trabajando en el de menor valor. Por ende, no se puede disminuir esta temperatura en la práctica, lo que sería deseable.

Otra solución sería cambiar el termo-ventilador por otra de menor potencia eléctrica, pero con un caudal de aire igual o ligeramente mayor.

En el mercado, no se encontró un termo-ventilador con las características señaladas.

Finalmente se puede analizar que al aumentar el caudal de aire de 2300 [m<sup>3</sup>/h] a 3200 [m<sup>3</sup>/h], el tiempo de secado disminuyen de 29,81 a 21,94 horas respectivamente. Considerando ésta variable como la más influyente dentro del proceso de secado de caños, y con esto siendo una variable a considerar en una eventual mejora. (Ver tabla 6.3).

Tabla 6.3 Influencia del caudal de aire del termo-ventilador.

1..22	1 V <sub>aeroc</sub> [m <sup>3</sup> /h]	2 Tiempo <sub>secado</sub> [h]	3 Q <sub>termo<sub>calef</sub></sub> [kW]	4 Q <sub>41</sub> [kW]	5 T <sub>4</sub> [C]	6 Fi <sub>4</sub>
Run 1	2300	29,81	10,76	7,55	34,7	0,4288
Run 2	2350	29,22	11	7,55	34,71	0,4283
Run 3	2400	28,65	11,23	7,55	34,72	0,4279
Run 4	2450	28,1	11,46	7,55	34,73	0,4275
Run 5	2500	27,57	11,7	7,55	34,74	0,427
Run 6	2550	27,07	11,93	7,55	34,75	0,4266
Run 7	2600	26,58	12,17	7,55	34,75	0,4261
Run 8	2650	26,11	12,4	7,55	34,76	0,4257
Run 9	2700	25,66	12,63	7,55	34,77	0,4253
Run 10	2750	25,23	12,87	7,55	34,78	0,4248
Run 11	2800	24,81	13,1	7,55	34,79	0,4244
Run 12	2850	24,41	13,33	7,55	34,79	0,424
Run 13	2900	24,02	13,57	7,55	34,8	0,4236
Run 14	2950	23,64	13,8	7,55	34,81	0,4231
Run 15	3000	23,28	14,04	7,55	34,82	0,4227
Run 16	3050	22,93	14,27	7,55	34,83	0,4223
Run 17	3100	22,59	14,5	7,55	34,83	0,4219
Run 18	3150	22,26	14,74	7,55	34,84	0,4214
Run 19	3200	21,94	14,97	7,55	34,85	0,421

La influencia del caudal que puede impulsar el termo-ventilador, en tabla paramétrica 6.3, se aprecia que a mayor caudal influye fuertemente en el tiempo de secado.

Pero este caudal no puede ser mayor a 3200 m<sup>3</sup>/h, ya que sobrepasaría la potencia eléctrica de éste calefactor.

Para verificar lo anterior se muestra más claramente en el siguiente gráfico de caudal v/s tiempo de secado.

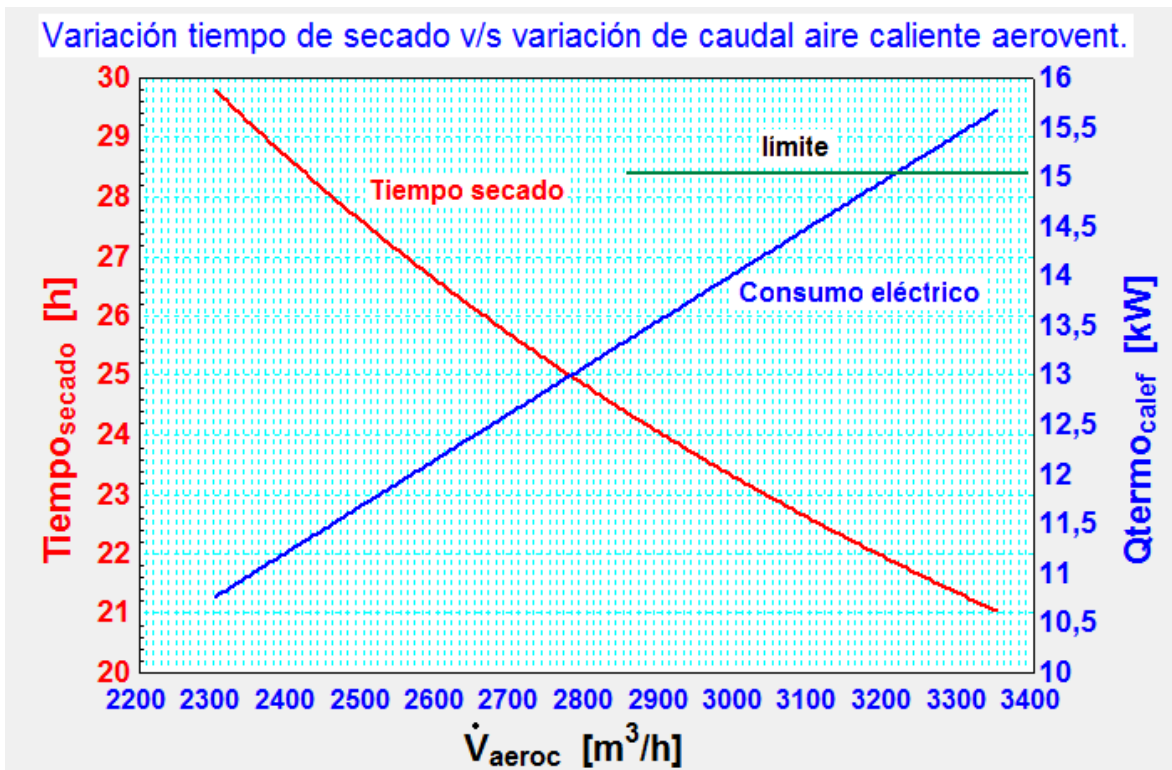


Figura 6.4 Gráfico caudal aire termo-ventilador v/s tiempo de secado.

A mayor caudal del termo-ventilador, menor tiempo de secado, pero mayor consumo eléctrico.



Se procedió a abrir totalmente los dámper de entrada y salida del aire que impulsa el termo-ventilador.

Realizando un ensayo de secado bajo esta condición, se extrajo una muestra de la primera fila a las 22 horas de secado, lo razonable era a las 25 horas, pero no se pudo por falta de personal que tomara las muestras para el laboratorio.

No obstante, realizadas las mediciones de humedad, de 6 muestras se obtuvo un producto de 8.2 % lo que está ligeramente sobrepasado del valor límite de 8% y obviamente producto de que el tiempo de 22 horas fue insuficiente.

Es razonable esperar que con 3 horas más de secado pudiera haberse obtenido los caños con una humedad, dentro los parámetros requeridos.

Se concluye que lo aportado por el software y tablas paramétricas, tiene un respaldo práctico, en la disminución del tiempo de secado.

## CAPÍTULO VII. PROPUESTA DE MEJORAS.

### 7.1 Cambio en la posición del dámper de entrada y salida del aire.

En la entrada del aire desde el termo-ventilador, el dámper tiene aletas (ver figura 7.1) que regula la entrada total del aire, promocionando una disminución del flujo de aire que ingresa al secador.

Se propone abrir completamente el dámper que permite el ingreso del aire impulsado por el termo ventilador (ver figura 7.2), para minimizar las pérdidas que se consideran por este factor. Cabe señalar que al realizar este cambio en el dámper de entrada del aire al secador, de igual manera se debe realizar dicha modificación al dámper de salida del aire húmedo, para que haya un equilibrio entre ambas masas de aire (masa de entrada es igual a la masa de salida).



Figura 7.1 Condición actual del dámper de entrada.



Figura 7.2 Dámper de entrada de aire del termo ventilador.

Para obtener además una mejor eficiencia en el secador de caños, según software EES. Al aumentar el caudal de entrada del aire en el secador, disminuye las horas de secado, en vista de esto, se modificó la entrada de aire del termo ventilador y el dámper de salida del aire húmedo y se obtuvieron los siguientes datos de muestra a las 22 horas de secado.

Tabla 7.1. Muestra de un caño madre.

Muestras	Peso húmedo	Peso seco	% humedad a las 22 horas de secado
1	64,78	60	7,38
2	63,19	58,19	7,91
3	64,01	58,76	8,20
4	64,97	59,45	8,49
5	61,1	55,88	8,54
6	64,63	59,01	8,69
Promedio	63,78	58,54	8,20

Estos datos fueron obtenidos de un caño madre normal, cada muestra indica un porcentaje de humedad (en base húmeda), la numeración indica que la muestra número 1 comienza desde el lado de entrada del aire a los caños en el secador y la muestra 6 la salida del aire del caño.



Figura 7.3 Distribución de las muestras atreves del caño.



Figura 7.4 Muestras enviadas al laboratorio.

Se puede estimar que a las 25 horas de secado los caños tendrían una humedad promedio de 7,5%, considerándose aceptable para dar término al ciclo de secado de caños, y con ello disminuye en gran parte la cantidad de horas de secado, de 37 a 25 horas, considerándo un ahorro de 12 horas.

## CAPÍTULO VIII. ESTUDIO ECONOMICO DE LAS MEJORAS

### PROPUESTAS.

#### 8.1 Factor económico de las mejoras propuestas.

En condiciones normales de secado el costo por consumo energético se puede resumir en las siguientes tablas.

Tabla 8.1 Datos necesarios para el cálculo.

Precio en pesos [kW h]	Horas de secado	N° secados mensuales
55,6	37	8

Tabla 8.2 Consumo mensual en pesos.

Consumo actual sin modificaciones [\$]			
	Consumo [kWh]	Consumo por fabricación [\$]	Consumo mensual [\$]
Termo ventilador	15	30858	246864
Ventiladores internos	10	20572	164576
Total	25	51430	411440

Después de verificar en terreno la efectividad real de las mejoras acondicionadas en el ciclo de secado de caños a las 25 horas, obteniendo una humedad aceptable para el caño, se determinará el ahorro generado por la disminución de 12 horas.

Tabla 8.3 Consumo con mejoras propuestas.

Consumo actual a las 25 horas de secado [\$]			
	Consumo [kWh]	Consumo por fabricación [\$]	Consumo mensual [\$]
Termo ventilador	15	20850	166800
Ventiladores internos	10	13900	111200
Total	25	34750	278000

Se compara en la siguiente tabla (8.4), el ahorro real en pesos del consumo energético mensual del ciclo de secado de caños.

Tabla 8.4 Ahorro total en pesos.

	Consumo mensual [\\$]
Condición normal del ciclo (37 horas)	411440
Condición con mejora (25 horas)	278000
Ahorro total en el mes	<b>133440</b>
Ahorro total en el año	<b>1601280</b>

Se determina que el ahorro mensual es de \$ 133440.- por la modificación del dámper de entrada de aire y el de salida, sin efectuar ningún tipo de inversión anexa por esta disminución de horas, considerándose este ahorro como completa ganancia para la empresa. Anualmente la empresa se estaría ahorrando en consumo energético la suma no despreciable de \$ 1.601.280.-

## CAPITULO IX. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.

### 9.1 Recomendaciones.

Se ha demostrado que es viable la reducción de horas de secado en este proceso. Se recomienda abrir totalmente ambos dámpers, tanto el de entrada y salida del aire en el secador, ya que, al realizar esta mínima modificación sin ningún costo adicional, se logra dar término al ciclo de secado de caños a las 25 horas aproximadamente, evitando con ello un proceso más extenso y con un costo monetario asociado en el área.

### 9.2 Conclusiones.

Para el secado de caños, con las mediciones realizadas en terreno de estados sicrométricos en puntos estratégicos del ciclo, y de humedad de éstos, al final de 37 horas de secado, se pudo verificar que la humedad promedio es de **6,5%**. (Base húmeda). Esto para la condición actual de operación de Papeles Bío Bío.

Mediante software EES se modeló el ciclo, arrojando un tiempo aproximado de 29 horas.

Realizando otro ensayo a las 29 horas de secado se obtuvo una muestra cuya humedad promedio fue de 7.5%, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable y por lo tanto se obtendrá un ahorro de 8 horas de secado.

Se concluye que se estaba utilizando un tiempo excesivo de secado, basado exclusivamente en una operación sin un estudio técnico más profundo.

Se determina realizar otro ensayo a las 25 horas de secado, con la modificación de la apertura total de los dámpers de entrada y salida, lo cual no se logró exactamente ya que por motivos de fuerza mayor se procede al ensayo a las 22 horas, No obstante, realizadas las mediciones de humedad de seis muestras se obtuvo un promedio de 8,2% lo que está ligeramente sobrepasado del valor límite de 8%. Con éstos resultados podemos concluir que el tiempo de 22 horas fue insuficiente y que es razonable esperar que a las 25 horas de secado se podrá obtener un promedio de humedad dentro de los parámetros requeridos y que al aumentar el caudal del aire que impulsa el termo-ventilar el tiempo de secado podría realizarse en 25 horas, con una humedad promedio de 7,5% aproximadamente, esto último gracias a los cálculos obtenidos con el software EES. Reduciendo el tiempo de secado en 12 horas, es decir en 32.4 %, se originaría un ahorro por consumo eléctrico de \$ 1.601.280.- anual, sin inversión alguna.

## **CAPÍTULO X. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.**

### 10.1 Bibliografía:

- Ingeniería del ámbito térmico, autor James L. Threlkeld.  
Editorial Prentice / Hall International.
  
- Manual de fabricación de caños, Papeles Bío-Bío.
  
- Apuntes Sicrométricos, Profesor Luis Cerda Miskulini.  
Universidad del Bío-Bío.
  
- Manual en español software EES.



10.2 Anexos:

10.2.1 Características de los equipos

- termo-ventilador: serie EP-15N (ver figura 10.1)

**AEROTERMOS ELÉCTRICOS PORTÁTILES**  
**Serie EP-N**





Aerotermostos portátiles para calentar locales comerciales e industriales, o para el secado de productos.

**Características:**  
 IP24.  
 Fabricados en chapa de acero pintada.  
 Asa de desplazamiento.  
 Ventilador axial muy silencioso.  
 Conmutador que permite regular la ventilación y la calefacción de los aparatos (sólo ventilación; ventilación y resistencia a media potencia; ventilación y resistencia a máxima potencia).  
 Termostato que permite mantener la temperatura deseada del local.  
 Interruptor posterior que permite seleccionar que el termostato actúe sobre el ventilador resistencia, o sólo sobre la resistencia (el ventilador funciona permanentemente).  
 Contactor.  
 Protector térmico.  
 Botón de rearme manual (RESET).

**DIMENSIONES (mm)**



Modelo	A	B	C
EP-3N	333	395	490
EP-5N	333	395	490
EP-8N	408	495	595
EP-12N	408	586	600
EP-15N	408	586	600

**APLICACIONES**



Secado de pared en obra.



Sala de convenciones.



Taller.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Modelo	Tensión 50 Hz (V)	Potencia total (W)	Potencia calefacción (W)	Intensidad máxima (A)	Velocidad (r.p.m.)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /h)	Nivel presión sonora* (dB(A))	Aumento de temperatura (°C)	Protección contra salpicaduras de agua	Velocidad aire en descarga (m/s)	Peso (kg)
EP-3 N	230	3033	1500/3000	13	1300	350	43	26	IP24	2	7,5
EP-5 N	3N AC 400	5033	2500/5000	7,2	1300	450	43	33	IP24	2,3	7,5
EP-8 N	3N AC 400	9050	4500/9000	13	1300	800	49	33	IP24	2,4	10
EP-12 N	3N AC 400	12040	6000/12000	17,3	1370	1.100	50	32	IP24	3,3	12
EP-15 N	3N AC 400	15040	7500/15000	21,7	1370	1.100	50	40	IP24	3,3	12

\* Presión sonora a 1,5 metros, aparato en el suelo.

Figura 10.1 características termo-ventilador.

- Medidor de humedad y temperatura: Especificaciones.

**Mediciones**

Globo, de bulbo seco, bulbo húmedo, WBGT<sub>in</sub>, WBGT<sub>out</sub>, promedio ponderado WBGT (si 3 sensor juego), humedad relativa, índice de calor, humidex.

Las temperaturas dadas en grados Celsius o Fahrenheit.

**Idioma**

Inglés, francés, español, italiano, alemán.

**Precauciones**

Resistente a una lluvia ligera o niebla. Si la lluvia es frecuente, instalar barra remota de sensor y mantener instrumento protegido.

**Tamaño**

9,2 pulgadas de Alto por 7,2 pulgadas de Ancho y 3,0 pulgadas de profundidad. Dimensiones incluyen barra de sensor montado.

**Peso**

2,6 libras con la barra de sensor montado.

**Tipos de sensores**

Temperatura: 1000 ohmios RTD de platino.

Humedad: Circuito integrado con sensor de polímero capacitivo.

**Exactitud**

Temperatura: +/- 0,5°C entre 0° y 120°C

Humedad relativa: +/- 5% entre 20 a 95%(sin condensación)

**Rango de temperatura de funcionamiento**

Ensamblajes del sensor entre -5 y 100°C

Electrónica del sensor entre -5 y 60°C

**Barra sensor remoto**

Jack de 15 pastillas D-sub 2X se encuentran al costado de la unidad para conectar 1 o 2 barras de sensores adicionales por el uso de cables remotos hasta 200 pies o 61 m, el sensor de la parte superior también puede ser distanciado con un cable.

**Opciones de poder**

Batería alcalina de 9V, 7,2 NiMH recargable (cargado en la unidad) o en la pared del adaptador de CA.

Cubo de alimentación (adaptador de CA operará la unidad o recargará el paquete de baterías de NiMH).

## 10.2.2 Ecuaciones utilizadas.

CICLO SICROMETRICO PROCESO DE SECADO DE CAÑOS  
 CONDICIONES DE OPERACION ACTUAL  
 DATOS OBTENIDOS DE MEDICIONES EN TERRENO  
 SE UTILIZO TERMOHIGROMETRO Y ANEMOMETRO

$$P = 101,3$$

$$t_1=36,7$$

$$F_{I1}=0,29$$

$$tbh_1 = \text{WB} ( \text{AIRH2O} ; T=t_1 ; R = F_{I1} ; P = P )$$

$$w_1 = \omega ( \text{AIRH2O} ; T=t_1 ; R = F_{I1} ; P = P )$$

$$v_1 = v ( \text{AIRH2O} ; T=t_1 ; R = F_{I1} ; P = P )$$

$$h_1 = h ( \text{AIRH2O} ; T=t_1 ; R = F_{I1} ; P = P )$$

$$\dot{V}_{\text{vent}}=24000$$

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{V}_{\text{vent}}}{3600}$$

$$m_1 = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

$$T_2=34,7$$

$$f_{i2}=0,41$$

$$tbh_2 = \text{WB} ( \text{AIRH2O} ; T=T_2 ; R = f_{i2} ; P = P )$$

$$w_2 = \omega ( \text{AIRH2O} ; T=T_2 ; R = f_{i2} ; P = P )$$

$$v_2 = v ( \text{AIRH2O} ; T=T_2 ; R = f_{i2} ; P = P )$$

$$h_2 = h ( \text{AIRH2O} ; T=T_2 ; R = f_{i2} ; P = P )$$

$$m_2 = m_1$$

$$T_3=43,25$$

$$F_{i3}=0,1327$$

$$tbh_3 = \text{WB} ( \text{AIRH2O} ; R = F_{i3} ; T=T_3 ; P = P )$$

$$v_3 = v ( \text{AIRH2O} ; R = F_{i3} ; T=T_3 ; P = P )$$

$$h_3 = h ( \text{AIRH2O} ; R = F_{i3} ; T=T_3 ; P = P )$$

$$W_3 = \omega ( \text{AIRH2O} ; R = F_{i3} ; T=T_3 ; P = P )$$

$$m_3 = \frac{V_3}{v_3}$$

$$m_1 \cdot w_2 + m_3 \cdot W_3 = m_4 \cdot W_4$$

$$m_1 \cdot h_2 + m_3 \cdot h_3 = m_4 \cdot h_4$$

$$m_1 + m_3 = m_4$$

$$W_4 = w_1$$

$$t_{bh_4} = WB (AIRH_2O ; h = h_4 ; w = W_4 ; P = P )$$

$$v_4 = v (AIRH_2O ; h = h_4 ; w = W_4 ; P = P )$$

$$Fi_4 = RH (AIRH_2O ; h = h_4 ; w = W_4 ; P = P )$$

$$T_4 = T (AIRH_2O ; h = h_4 ; w = W_4 ; P = P )$$

$$\dot{V}_{aeroc} = 15000$$

$$\dot{V}_3 = \frac{\dot{V}_{aeroc}}{3600}$$

#### ESTADO FICTICIO- CIERRE CICLO

$$w_5 = w_1$$

$$T_5 = t_1$$

$$Q_{41} = m_1 \cdot (h_1 - h_4)$$

$$m_l = m_1 \cdot (w_2 - w_1) \cdot 3600$$

#### MASA ROLLOS HUMEDOS

$$m_{rollo,humido} = 5000$$

$$humedad_{entrada} = 0,16$$

$$m_{agua,entrada} = m_{rollo,humido} \cdot humedad_{entrada}$$

$$m_{rollo,seco} = m_{rollo,humido} - m_{agua,entrada}$$

$$humedad_{salida} = 0,065$$

$$humedad_{salida} = \frac{m_{agua,salida}}{m_{rollo,seco} + m_{agua,salida}}$$

$$Humedad_{extraida} = m_{agua,entrada} - m_{agua,salida}$$

$$\text{Tiempo}_{\text{secado}} = \frac{\text{Humedad}_{\text{extraída}}}{\text{ml}}$$

$$Q_{\text{Agua}} = m_{\text{agua}} \cdot C_{\text{pagua}} \cdot (T_{\text{eagua}} - T_{\text{sagua}})$$

$$C_{\text{pagua}} = 4,187$$

$$T_{\text{eagua}} = 52,5$$

$$T_{\text{sagua}} = 42,3$$

$$m_{\text{agua}} = 0,1861$$

#### AIRE QUE ASPIRA EL TERMOCALEFACTOR- CALCULO DE LA POTENCIA

$$T_a = 22$$

$$F_i = 0,6$$

$$h_a = h(\text{AIRH2O}; R = F_i; T = T_a; P = P)$$

$$Q_{\text{termo}_{\text{calef}}} = m_3 \cdot (h_3 - h_a)$$

### 10.2.3 Manual y características del anemómetro utilizado.

#### Selección de unidades de temperatura (°C o °F)

Primero apague el medidor. Oprima y sostenga ambos botones 6 y 7 (ver figura 10.2) hasta que el indicador se encienda y empiece a destellar enseguida suelte ambos botones para cambiar la unidad de temperatura.

Después de 5 segundos el medidor cambia automáticamente a modo normal de operación.

#### Toma de medidas

Coloque el medidor de tal manera que el flujo de aire entre a la veleta desde el lado posterior del medidor (lado opuesto al logo del panel frontal). En la parte inferior del medidor hay un montaje para trípode.

#### Modo promedio

En modo promedio puede mostrarse los promedios de 5 o 10 lecturas.

Para salir de este modo, oprima y sostenga el botón UNIDADES/MODO hasta que desaparezcan los iconos de la izquierda.

#### Retención de datos

La retención de dato congela la lectura más reciente.

Oprima y sostenga el botón ON/OFF/HOLD para activar la retención de datos, mientras que tenga oprimido el botón de ON/OFF/HOLD la lectura permanecerá en pantalla.

#### Características

Indica la velocidad del aire y la humedad relativa, punto de rocío, temperatura o efecto enfriador del viento.

Función de promedio seleccionable a intervalos de 5, 10, 13 segundos.

La carcasa protectora de extiende hasta 9 pulgadas, para mayor alcance.

Registro de datos con apagado automático.

Carcasa resistente al agua (flota).

#### ***Descripción del medidor***

1. Impulsor de veleta
2. Opresor del impulsor (atrás del medidor)
3. Sensor de humedad relativa
4. Sensor de temperatura
5. Pantalla LCD
6. Tecla ON/OFF, RETENCIÓN
7. Tecla de UNIDADES, MODO
8. Compartimiento de la batería (atrás)
9. Orificio roscado para trípode
10. Sujetador de la (cinta para el cuello) correa

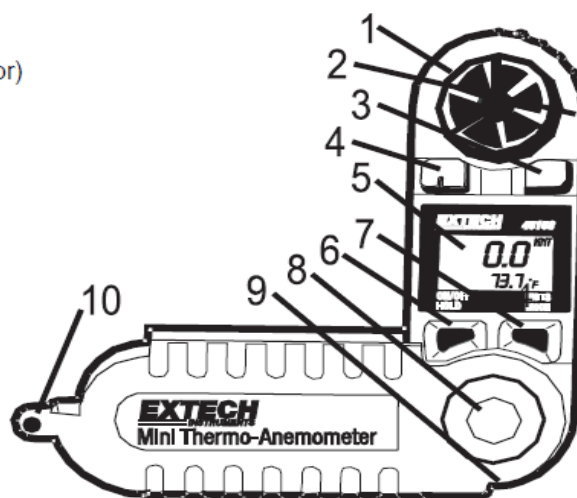


Figura 10.1 identificación de componentes del anemómetro.

