

# **REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HORNO DE SECADO DE MADERA, CON CAPACIDAD DE 45 METROS CÚBICOS, PERTENECIENTE A LA FÁBRICA PROMARA CIA. LTDA.**

**CARLOS NELSON AGUILAR NARVÁEZ**

**Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí-Ecuador; -  
Director: Dr. Reynaldo Delgado;-Codirector: Ing. Francisco Terneus;-  
-Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica;- -Carrera de  
Ingeniería Mecánica;- contacto: [aguilarncn@gmail.com](mailto:aguilarncn@gmail.com)**

---

## **RESUMEN**

El rediseño e implementación del horno de secado de madera, perteneciente a la fábrica PROMARA CIA. LTDA., comienza con el diseño del proceso de secado, el cual permite obtener valores de caudal de aire seco y tiempos de secado, para luego ingresar al rediseño del sistema de distribución de aire y, adicionalmente utilizar esta información para el rediseño del sistema de humidificación, que permite el cumplimiento del programa de secado establecido por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989). Una vez finalizado el diseño se realiza la selección y adquisición de los instrumentos de medida de temperatura y humedad relativa del aire, el proyecto continúa con la implementación de cada sistema y culmina con el análisis y pruebas de funcionamiento de la cámara de secado. Como objetivo general se planteó: identificar todos los problemas que tenía el horno de secado de tabloncillo y solucionarlos, dichas soluciones lograron que se reduzcan las pérdidas por mala calidad, esto quiere decir que se logró una reducción considerable en las pérdidas de piezas de madera que ocasionan el rechazo del cliente, al producto.

Palabras claves:

Horno de secado, proceso de secado, ventilación, humidificación, secado de madera.

## **ABSTRACT**

This article shows the development of the project design and construction of a kiln dryer, with a capacity of 150 cubic feet, that belongs to PROMARA's factory. This project began with the design of the drying process, which is the most important on the project's plan because with this value, the humidity and air distribution systems were design. Once the designs were finished the procedure was to select and buy the instruments to measure temperature and humidity inside the dryer chamber. The project continued with the implementation of each system following the engineering construction process (inspection and test). To summarize the whole project, it can be said that the general objective was to identify all the problems that the kiln dryer had had and looked out any solution to improve the conditions and get a product with minimum failures.

Key Words:

Kiln dryer, Wood drying, ventilation, humidification, drying process

## **INTRODUCCIÓN**

El secado artificial en la industria maderera es indispensable, debido a que el contenido de humedad dentro de una pieza de madera es fundamental para la medida de su calidad y su duración.

Un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), realizado por (Aguilar D. , 2011, pág. 40), revela que una de las fortalezas de la empresa es la calidad de los productos ofrecidos y una debilidad es el uso de herramientas y maquinaria antigua en procesos productivos.

El presente proyecto tiene como fin el rediseño e implementación del horno de secado de madera de 45 metros cúbicos, perteneciente a la fábrica

PROMARA Cía. Ltda., esto logrará reducir los costos de la no calidad, en aproximadamente el 17%, a partir de una reducción del 30% en el número de piezas rechazadas, por fallas en el secado artificial, utilizando un 80% de medios físicos (mecánicos) y un 20% de medios electrónicos para su funcionamiento. La especie de madera a ser secada es el "chanul" y el corte, con dimensiones promedio de 2,5 x 0,20 x 0,03 metros, es el llamado tabloncillo. Esta madera es considerada dura y su proceso de secado debe ser lento.

## **DESARROLLO**

El proyecto empezó con una investigación de las normas que se deben utilizar para el diseño del horno. Entre las más importantes se pudo encontrar:

NTE INEN 1:2013.- estableció el estándar para las unidades que se utilizaron en los cálculos.

NTE INEN 2:2013.- estableció los símbolos y magnitudes físicas que se utilizaron en el proyecto.

NFPA 13.- estableció las prioridades para la selección de los rociadores pertenecientes al sistema de humidificación.

NPFA 31.- estableció las recomendaciones para la instalación del quemador de diésel (Becket Burner).

NTE INEN 1160:84.- estableció el procedimiento para medir el contenido de humedad en la madera

NTE INEN 1161:84.- estableció el procedimiento para el acondicionamiento de ensayos tecnológicos.

NTE INEN 1158:84.- estableció los parámetros para la selección y colección de muestras

NTE INEN 1164:84.- estableció los parámetros para la determinación de la contracción después del secado.

NTE INEN 1159.- estableció los parámetros para medición y cubicaje de madera aserrada.

NTE INEN 2402:2010.- estableció recomendaciones para la presentación del informe final.

UNE 50135 – ISO 5966.- estableció recomendaciones para la presentación de informes técnicos.

RTE INEN.037:09- estableció parámetros para la presentación de planos.

Después de revisar, minuciosamente, las normas que se van a seguir para el diseño del horno de secado de madera con corte de tabloncillo, se debe: hacer un recuento técnico del estado actual de las instalaciones del horno; y después, diseñar y/o rediseñar los sistemas necesarios para su correcto funcionamiento.

### **Diseño del proceso de secado**

El proceso de secado tuvo como fin el cálculo de la tasa de evaporación de agua en una pieza de madera de chanul, con dimensiones de 2,5 metros de largo, 20 centímetros de ancho y 3 centímetros de espesor, a partir del programa de secado expuesto por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989).

Debido a que, el proceso de secado consta tres fases diferentes, el cálculo de la tasa de evaporación debió ser calculado para cada una de estas. Para

comenzar el análisis se supone los tiempos de secado para cada una de las fases, en este caso: para la fase uno se supuso un tiempo de 384 horas, para la fase dos: 552 horas y para la fase de calentamiento intermedio: 168 horas. Estos valores supuestos, luego se comparan con los valores obtenidos analíticamente.

Para la Fase I, es decir la extracción del agua libre, de 100% CH a 30% CH, se tiene que la máxima cantidad de agua contenida en una pieza de madera es de 5,443 kgH<sub>2</sub>O. Mientras que para la Fase II, del secado, en este caso, la extracción del agua de saturación (30% CH a 10% CH), se tiene que la máxima cantidad de agua contenida en una pieza de madera es 2,078 kgH<sub>2</sub>O.

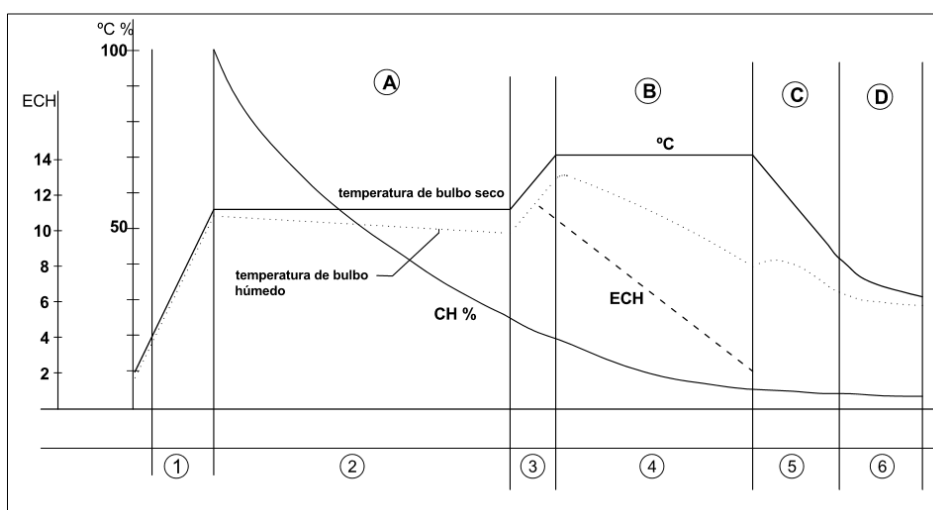
Si estos valores, de masa de agua libre y masa de agua de saturación, por pieza de madera, se calculan para toda la carga de secado, se obtiene que para agua libre se debe extraer 13 063,20 kgH<sub>2</sub>O y para agua de saturación se debe extraer 4 987,20 kgH<sub>2</sub>O, lo que, con los tiempos establecidos anteriormente se obtiene que la velocidad de evaporación debe ser: para la Fase I, mlibre = 13 063,20 kgH<sub>2</sub>O/384hr: entonces (mlibre = 33,94 kgH<sub>2</sub>O/hr): En cambio, la fase II, se divide en calentamiento intermedio y Fase II de secado, debido a esto, los valores difieren de la siguiente manera:

El secado intermedio debe hacerse para valores con velocidades distintas, esto quiere decir que se debe calcular la cantidad de agua a extraer en el calentamiento intermedio. Debido a cálculos realizados por (Aguilar C. , 2014) se obtuvo que la madera pierde aproximadamente 0,52 kgH<sub>2</sub>O por pieza de madera en cada 5% de humedad. Por lo tanto si se quiere obtener la cantidad de agua que perderá la madera si pasa de 30%CH a 15%CH, se multiplica 0,52 kgH<sub>2</sub>O por 3 que es la diferencia de 30 a 15 en aumentos de 5 unidades. Con esto se obtiene que, la extracción de agua en el calentamiento intermedio será de 1,56 kgH<sub>2</sub>O por pieza de tabloncillo en 168 horas. Con estos datos se

calculó una tasa de evaporación de 22,28 kgH<sub>2</sub>O/hr para toda la carga del horno (2 400 tablancillos).

Para finalizar, la Fase II del secado se calculó, que la cantidad de agua a extraer por tablancillo es de 0,52 kgH<sub>2</sub>O, debido a que se debe llegar de 15%CH a 10%CH y, esta debe extraerse en 552 horas; por lo tanto la velocidad de evaporación para toda la carga del horno (2 400 tablancillos), en la Fase II del secado, es de 2,26 kgH<sub>2</sub>O/hr.

Estos valores son los iniciales y junto con las condiciones expuestas por el programa de secado sirven para calcular los datos necesarios en el diseño del proceso de secado (Ver Figura 1). Cabe mencionar que el tiempo total de secado supuesto es de 1 104 horas, es decir, 46 días.



**Figura 1: programa de secado**

Mediante el programa elaborado en la plataforma de Matlab R2009a se calculó, de manera analítica, los valores de la tasa de evaporación del agua para cada pieza de madera, la temperatura superficial de la pieza de madera y el tiempo teórico de secado, a una velocidad de barrido a través de la pila de madera de 2 m/s. Ver **Tabla 1**.

**Tabla 1: proceso de secado**

CH (%)	TBS (°C)	TBH (°C)	HR (%)	Ts (°C)	Tasa de Evaporación (kg/hr)	Tiempo de secado (días)
100-40	40	37	80	39,936	0,0012	153
39-30	40	35	70	39,933	0,0012	36
29-25	45	37	60	44,903	0,0018	12
24-20	50	40	50	49,650	0,0065	3
19-15	55	42	40	54,889	0,0021	10
15-10	55	37	30	54,884	0,0022	10

**Modificado de:** (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989, págs. 4-35 y 4-36)

Para el cálculo de la cantidad de aire necesaria, para cumplir con el programa de secado se partió de principios termodinámicos (Cengel & Boles, 2008). Conociendo la velocidad de barrido, se calculó el valor de caudal para un área de 0,24x0,01 [m]. Este valor obtenido del caudal se multiplica por 9, que es la cantidad de espacios que tiene en sentido longitudinal la pila de madera y luego por 79, que es la cantidad de espacios que contiene la pila de madera en su altura, y finalmente se multiplica por tres pilas de madera obteniendo así, un valor de caudal de 10,24 m<sup>3</sup>/s. Con el valor máximo de caudal expuesto en la **Tabla 2**, se comienza el diseño del sistema de ductos.

### **Rediseño, implementación y puesta en marcha de sistemas anexos.**

Para empezar con el proyecto, se necesitaba saber la cantidad de agua que se debía evaporar en cada pieza de madera, por lo tanto se empezó obteniendo el contenido máximo de humedad en una pieza de chanul mediante la ecuación  $CH_{max} = (0,30 + (1,5-DA) / (1,5*DA)) * 100\%$ , donde Da es la densidad anhidra cuyo valor fue tabulado por (Aguilar C. , 2014). Resolviendo numéricamente, esta ecuación, se obtiene que el contenido máximo de humedad en una pieza de madera de chanul será de 82,38%.

**Tabla 2: velocidad y caudal con respecto al CH de madera.**

Contenido de Humedad Madera (%)	Velocidad del aire a través de la pila de madera (m/s)	Caudal de aire a través de la pila (CFM)
<b>Verde – 40</b>	2	21 695
<b>39 – 30</b>	2	21 695
<b>29 – 25</b>	2	21 695
<b>24 -20</b>	2	21 695
<b>19 – 15</b>	2	21 695
<b>14 – 10</b>	2	21 695

**Fuente:** PROMARA CIA. LTDA.

Con este valor de 82,38% se calculó la cantidad de agua máxima que puede contener una pieza de madera de chanul con dimensiones de 2,5 X 0,2 X 0,03 m., partiendo de la ecuación de la humedad absoluta en la madera  $CH = ma/mo * 100$ ; donde  $ma$ : es la cantidad de agua contenida en la pieza de madera; y  $mo$ : es el peso de la madera en estado anhidro.

El peso de la madera en estado anhidro para una pieza de chanul fue calculada por (Aguilar C. , 2014) y su valor es de 10,391 kg, por lo tanto, si se tiene un contenido de humedad máxima:  $CH = 82,38\%$ , se tendrá que la máxima cantidad de agua contenida en una pieza de madera de chanul será de 8,56 kg. Si se requiere llegar a un mínimo del 10% de humedad, la cantidad de agua que se permitirá en la pieza de madera será de 1,04 kg. Siendo estos los precedentes si se restan estos dos valores de masa de agua se obtendrá que: la cantidad que debe retirarse son 7,52 kg de agua, por cada pieza de madera. Lo que implica que: para 2 400 tabloncillo se debe retirar aproximadamente 18 toneladas de agua.

Una vez calculada la cantidad de agua que se debe extraer, a partir de procedimientos termodinámicos (Cengel & Boles, 2008), se puede obtener la



cantidad de energía necesaria para evaporar el agua desde un contenido de humedad máximo, en este caso 82,38%, y un contenido de humedad deseado (10%). El procedimiento comienza obteniendo la entalpía de evaporación del agua a 40°C, cuyo valor de temperatura es el primero en el programa de secado expuesto por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989). Este valor se denota como  $h_{fg}$  y es igual a dos mil quinientos kilo joule por cada kilogramo de agua. Entonces si  $h_{fg} = 2\,500 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$  y la cantidad de agua es 18048  $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}$  se obtiene que la máxima cantidad de energía utilizada en el horno es de cuarenta y cinco millones ciento veinte mil kilo joule. Debido a que en el mercado, la adquisición de sistemas de calentamiento se realiza a partir de la potencia necesaria para su funcionamiento, este valor se calcula de la siguiente manera: se tiene que la cantidad de energía necesaria supera los 45 millones de kilo joule y el tiempo de secado, supuesto inicialmente, es 46 días y debido a que, la potencia es la relación entre energía y tiempo, se tiene entonces que la potencia total necesaria para secar la madera de 82,38% a 10% de humedad es de 11,35 kW. En algunos casos se utiliza este valor en unidades inglesas por lo que su transformación es 38 738,93 BTU/hr.

Con un flujo másico de combustible, para el diseño antiguo de: 1,18 milésimas de kilogramo por segundo se obtuvo una potencia de 40,32 kW, es decir que el producto se secará normalmente y hasta se puede reducir el consumo de combustible.

Para obtener el valor total de consumo de combustible adecuado se entra al cálculo de cargas térmicas o también conocido como análisis de transferencia de calor. En este punto se procedió al cálculo de pérdidas de calor debido a factores de construcción: pérdida a través de las paredes, cambios de aire (abertura de ventilas), calor necesario para el producto (ya calculado) y factores diversos como calentamiento solar, calentamiento o enfriamiento por equipos auxiliares, etc. Ver Tabla 3

La pérdida de calor a través de la estructura o por factores de construcción es aquella que se produce de manera natural, debido a la diferencia de

temperatura que existe entre la cámara de secado y el medio ambiente que la rodea. Estos valores se obtienen partiendo de correlaciones de transferencia de calor expuestas por (Incropera & Dewitt, 1999, pág. 356), en la sección de convección forzada sobre una placa plana. Además se utilizó también las correlaciones de convección natural para cálculo de pérdidas de calor de las puertas, ya que estas eran huecas.

Las pérdidas por cambio de aire o infiltraciones se calcularon utilizando las relaciones presentadas por (Carrier Corporation, 2009, págs. I-61).

**Tabla 3: pérdidas de calor diseño y rediseño**

<b>Tipo de pérdida</b>	<b>Carga térmica diseño antiguo (W)</b>	<b>Carga térmica rediseño (W)</b>
<b>A través de las paredes</b>	784,22	622,76
<b>A través de las puertas</b>	358,53	309,26
<b>A través del techo</b>	2 636,17	2 636,17
<b>A través del piso</b>	1 386,57	1 386,57
<b>Cambios de aire</b>	0,016	0,474
<b>Total</b>	5 165,506	4 955,234

**Fuente:** (Aguilar C. , 2014)

Los valores de pérdidas en a través de la estructura pasan de 0,78 kW a 0,62 kW, lo que significa que se ha logrado mejorar la eficiencia en aproximadamente un 20%. Debido a que, el valor se toma en kilovatios, para hacer una respectiva, comparación con la capacidad del quemador, se puede decir que, la pérdida de calor por cambios de aire es irrelevante. Por lo tanto para la obtención de pérdidas totales se sumó solamente las pérdidas a través del techo, del piso y de las puertas, para obtener así, un valor en kilovatios. Entonces las pérdidas para el diseño antiguo fueron de 5,17 kW y para el nuevo diseño son de 4,96 kW, mismos valores con los que se obtiene una

reducción en la potencia necesaria de 4,06%. Esto se logró combinando materiales en la construcción de las paredes.

Lo mencionado anteriormente quiere decir que: para el diseño nuevo con las pérdidas de calor más la potencia necesaria para secar el producto se obtuvo un resultado de 15,31 kW para lo cual suponiendo una eficiencia del quemador de 40% se tendrá que la potencia necesaria de operación es de 38,28 kW. Esto quiere decir que se puede reducir el uso de combustible en un 5,07%, para pasar, del uso de: 40,32 kW a 38,28 kW.

Según los datos obtenidos anteriormente, si las **pérdidas de carga totales** en el diseño antiguo habían sido de 16,52 kW y la potencia utilizada 40,32 kW, la eficiencia total del sistema llegaba al 41%, mientras que: para el rediseño con pérdidas de 16,31 kW y potencia utilizada de 38,28 kW, la eficiencia asciende a un valor de 43%.

Una vez calculadas las cargas térmicas se procedió al rediseño de sistemas anexos para el funcionamiento del horno, entre los cuales están: el sistema de ventilación, el sistema de humidificación y el sistema de des-humidificación. Además, se concluye el diseño con la selección y adquisición de instrumentos de medición.

Para el sistema de humidificación el caudal necesario para el proceso de transporte de agua es de  $1,05 \text{ m}^3/\text{s}$ , mismo que se utilizará para el rediseño. En esta parte no se necesitó hacer un cálculo adicional de las necesidades del sistema, ya que este caudal no varía porque el abastecimiento de agua a la cámara de secado depende de las condiciones ambientales al que se encuentre el aire exterior. Sin embargo, este abastecimiento significaba una pérdida de carga térmica para el sistema de calentamiento, debido a que el agua de ingreso se encontraba a temperatura ambiente. En este caso lo que se hizo fue adicionar un calentador de agua, para aumentar la temperatura del fluido, a un valor máximo de 60 Celsius, cuya valor de temperatura es el

máxima alcanzado en el horno. Además para facilitar su automatización se puso una bomba centrífuga de  $\frac{1}{4}$  HP y un tanque de almacenamiento de agua de 55 galones. Para finalizar, la tubería al interior del horno se cambió por tubería de cobre para facilitar su limpieza, evitar mantenimiento excesivo y asegurar su durabilidad.

El sistema de des-humidificación se lo realizó de la manera más práctica posible, instalando tres ventilas de 200x600 milímetros de ancho y alto, para la salida del aire húmedo. Esto asegura que la presión dentro de la cámara de secado sea constante y en este caso tendrá el valor de la presión atmosférica.

La implementación se empezó haciendo las debidas adecuaciones a la cámara de secado para la implementación de los sistemas necesarios para su funcionamiento. Una de las primeras adecuaciones que se realizó fue la limpieza de las instalaciones, continuando con esto se sacó todos los materiales pertenecientes al diseño antiguo de ductos y tubería, además se cubrió las ventilas superiores, de extracción de aire, que ya no eran necesarias. La mejora de la cámara empezó instalando las ventilas inferiores en la pared frontal del horno, para luego pasar al recubrimiento de dicha pared con paneles de fibra de vidrio de 25 milímetros de espesor y tol de acero galvanizado de 0,5 milímetros. Continuando con la adecuación se hizo un recubrimiento con madera a las columnas de metal que se encuentran dentro del horno, cabe mencionar que: antes de esto a dichas columnas se les propició un tratamiento para evitar la corrosión (granallado y pintura). Para la adecuación de puertas se instaló entre dos planchas de acero galvanizado, una plancha de fibra de vidrio para disminuir las pérdidas de calor totales.

Después de terminar con las adecuaciones de la cámara de secado que duró tres semanas laborables, se procedió a la instalación de cada sistema empezando por el sistema de humidificación, en donde la instalación de tuberías y equipos se realizó en una semana, laborable. Continuando con esto se procedió a instalar el sistema de ventilación actividad que duró alrededor de dos semanas laborables. Una vez que se instalaron todos los sistemas,

dentro de la cámara de secado, se procedió al pre-comisionado, cuya duración fue de tres días laborables, mientras que para el comisionado el tiempo de ejecución fue seis días laborables. Para finalizar se procedió a la puesta en marcha que duró dos días laborables, mientras que, las pruebas de funcionamiento duraron 46 días, consecutivos.

Los recursos utilizados fueron: un técnico para la instalación del sistema de calentamiento de agua, un plomero para instalación de la tubería de cobre, un técnico en sistemas de ventilación, un técnico en secado de madera para realizar las pruebas de campo y, un ingeniero residente de obra.

El proyecto finalizó con éxito obteniendo aproximadamente 2 000 tablancillos cumpliendo los requerimientos del cliente y con un contenido de humedad promedio de 11,35%, mientras que se obtuvo 143 piezas de madera con rechazo total y 257 que no cumplen con la humedad especificada (máximo 12%). Es decir que se cumplió lo expuesto: obtener máximo 17% de fallas en la carga total del horno y reducir mínimo 30% de las fallas que provocan el rechazo de la pieza, por el cliente.

### **Problemas y soluciones**

Uno de los problemas más arduos que se presentaron en el desarrollo del proyecto fue el cálculo de las pérdidas de calor a través del sistema de calentamiento y el cálculo de la tasa de evaporación de agua en una pieza de chanul con dimensiones 2,5 x 0,2 x 0,03 metros.

Para las pérdidas de calor se optó por utilizar el procedimiento establecido por (Carrier Corporation, 2009), donde estable por medio de tablas el valor del coeficiente global de transferencia de calor, mismo valor que resultaba complicado obtener por correlaciones de convección tradicionales.

Para el cálculo de la tasa de evaporación se realizó una hoja de cálculo, cuyo contenido muestra el procedimiento para la obtención del valor de la tasa de evaporación por convección de una superficie saturada en agua expuesta por (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2009). En este caso, debido a que se trataba de un proceso iterativo se realizó un programa en Matlab 2009 para realizar los cálculos iterativos y se comprobó su validez con una hoja de cálculo realizada en MathCAD R14.

## **CONCLUSIONES**

El valor de la velocidad de evaporación del agua o tasa de evaporación, mediante el cálculo en Matlab, para la Fase I de secado es de 2,88 kg/hr., lo que significa que, para una cantidad de agua de 13 089,3 litros se espera que se evapore aproximadamente en 191 días. Esto quiere decir que la suposición inicial, del tiempo de secado, para la Fase I (16 días), es errónea.

Para la fase de calentamiento intermedio se obtuvo que la tasa de evaporación máxima es de 15,6 kg/hr y la mínima es de 4,32 kg/hr, si se promedia, se obtiene un valor de 9,96 kg/hr, con lo que, para evaporar la cantidad de agua de 3 751 litros, para esta etapa, se necesitan 15,56 días, es decir, la suposición inicial de 7 días es errónea.

Por último, para la Fase II del secado, la tasa de evaporación fue promediada 5,16 kg/hr, donde los 1 250 litros de agua a evaporar en esta etapa, se culminará su evaporación en aproximadamente 10 días. La suposición inicial de 23 días es errónea.

Es decir que para madera que ingrese al horno con el contenido máximo de humedad (82,32%), el proceso de secado durará aproximadamente 217 días. Sin embargo el procedimiento habitual de secado empieza por un pre-secado al aire libre, el cual elimina cierta cantidad de agua en la madera, y

esta entra al horno a aproximadamente 30% de humedad (5% de tolerancia a ambos lados), lo que significa que el proceso de secado culminará en por lo menos 35 días, dependiendo de las condiciones climáticas a las que se haya realizado el pre-secado. Esto quiere decir que la suposición de 46 días, para todo el proceso de secado, es suficiente para obtener madera con un contenido de humedad aceptable.

La temperatura superficial de la madera es cercana a la temperatura a la que se encuentra el horno, en el orden de dos unidades, esto quiere decir que la diferencia de presiones parciales de vapor no es muy alta y se evitan esfuerzos excesivos en la madera. Ver **Tabla 1**

El caudal de aire necesario se calcula por medio de la ecuación de continuidad y depende de la configuración de la madera dentro del horno, sin embargo el valor obtenido supera los 20 000 CFM, lo que está por encima del valor esperado.

Los valores para el rediseño, en este caso, el sistema de ventilación, son los adecuados para un diseño óptimo.

Mediante el rediseño se logró reducir el flujo de calor a través de las paredes en un 4,06%, lo que ocasiona, una reducción del 5,07% en el uso de combustible.

Mediante los datos presentados anteriormente se puede asegurar que la eficiencia del horno de secado de tabloncillo aumentó en 2%.

Se logró obtener, así como se esperaba, pérdidas, en el secado, menores al 17%. Es decir se obtuvo fallas en 400 piezas de 2 400, por lo tanto 16,67%.

Las pérdidas por rechazo total ascendían a una cantidad de 832 anuales y 208 por carga, después de la instalación y prueba del sistema se obtuvo que

un total de 143 piezas serán rechazadas por el cliente debido a que no cumplen las dimensiones requeridas. Esto quiere decir que se redujo las pérdidas en un 31,25%

El tiempo de secado pasó de 10 días a 46 días, esto fue debido a que los parámetros del diseño, para un secado óptimo, no permitían una reducción tan abrupta del tiempo de secado.

## **RECOMENDACIONES**

Partiendo de un análisis de producción se puede plantear una investigación para la reducción en el tiempo de secado.

Un proyecto adicional a este, puede darse al medir la variación de propiedades mecánicas de la madera, con el cambio de humedad.

Cada proyecto es totalmente independiente y debe analizarse a partir de los limitantes y no dejarse llevar específicamente por un diseño ya realizado. Tomar cada diseño de manera particular.

La abertura de las ventilas de salida de aire frío debe proporcionar el suficiente caudal, de salida, para que el aire caliente pueda entrar y ocupar su espacio.

Utilizar materiales del sistema humificación antiguo y darles cómo vida útil el 70%, de la vida útil, recomendada por el fabricante.

Para tubería de transporte se debe utilizar diámetros relativamente grandes para evitar pérdidas de presión excesivas, mientras que para tubería de servicio se utiliza el diámetro de tubería, que proporciones los valores necesarios para la operación del sistema.



La tubería de cobre está exenta de limpieza y mantenimiento.

Se recomienda dar el uso y mantenimiento adecuado a las instalaciones, para que en futuro, no se presenten los problemas, como ya sucedió en una ocasión. Revisar el manual de operación del horno.

Partiendo de los valores necesarios de producción se debe tomar la decisión de automatizar completamente el proyecto.

A pesar que se recomienda seguir el programa de secado proporcionado por la (Junta de Acuerdo de Cartagena, 1986) se debe reajustar los valores del mismo, mientras se vaya adquiriendo mayor experiencia en el secado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aguilar, C. (16 de Mayo de 2014). Tesis Ingeniería Mecánica. *Rediseño e implementación de un horno de secado de madera, con capacidad de 45 metros cúbicos, perteneciente a la fábrica PROMARA CIA. LTDA.* Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Aguilar, D. (Noviembre de 2011). Tesis Auditoria. *Diseño de un sistema de gestión y costeo por procesos monitoreado por indicadores de gestión para un aserradero "Caso Aserradero Cia. Ltda."*. Quito, Pichincha, Ecuador : Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2009). *Fundamentals*.

Carrier Corporation. (2009). *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona - España: Marcombo.

Cengel, Y., & Boles, M. (2008). *Termodinámica*. México: Programas Educativos.

Fox, & McDonald. (1995). *Introducción a la mecánica de fluidos*. México: McGraw- Hill.

Incropera, & Dewitt. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*. México: Prentice Hall.

Junta del Acuerdo de Cartagena. (1989). *Manual del grupo andino para el secado de maderas*. Lima - Perú: Carvajal S.A.