

TITULO

Diseño de un caldero pirotubular para el secado de madera usando aserrín como combustible

AUTOR

Alex Donoso Contreras¹, Ing. Manuel Helguero²

Ingeniero Mecánico 1975²

² Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Profesor de ESPOL desde 1976.

RESUMEN

La imperiosa necesidad de aprovechar al máximo los recursos con los que se dispone y de buscar la utilización de sus residuos como fuentes aprovechables de energía es uno de los principales motivos que se busca cubrir en el presente proyecto. En el se plantea el diseño térmico de un sistema de calefacción de agua usando viruta de madera o aserrín como solución a dos problemas presentados en una fábrica de muebles de lujo como son el requerimiento energético del sistema de secado de la madera y la eliminación de la molestia causada por la acumulación de los residuos obtenidos del proceso de manufactura y forma dado a la materia prima que es la viruta de madera o el aserrín.

La parte esencial del proyecto comienza con el análisis de la viruta de la madera como combustible y la ventaja de los gases que se desprenden de su combustión, los que junto a los requerimientos térmicos y características de la carga en la instalación se constituyen en las herramientas esenciales para el diseño. Este se lo orienta como un caldero pirotubular o de tubos de humo que dispondrá de un mecanismo interno alimentación del combustible proveniente de una tolva de almacenaje que dosificará el mismo en el transportador hacia el calentador de agua.

INTRODUCCION

En nuestro país existen diversos artesanos en la manufactura de muebles y diferentes artículos decorativos de madera, habiendo los que preparan la materia prima ya sea secándola mediante alternativas naturales o adquiriéndola ya preparada.

De similar forma existen instalaciones más industrializadas dotadas de una infraestructura completa donde se dispone del sistema de secado como también de la mecanización necesaria para la transformación de la madera. El problema se presenta en una fábrica de muebles de lujo que usa dos tipos primordiales de madera como materia prima el cedro rojo y el roble . Inicialmente esta empresa tenía una demanda local, con una instalación que adquiría la mayor parte de la madera ya seca. Con el aumento de la demanda ya no solo local surgieron nuevas expectativas para los dueños de la fábrica en cuanto a la producción y a la materia prima.

Entre estas se tenía:

- Ampliar las actuales instalaciones de la fábrica
- Deshacerse de los residuos obtenidos de la manufactura de muebles

Con la ampliación de la infraestructura, se dotó a la instalación de un completo sistema de secado, la cuál permitía adquirir la madera en estado húmedo y adecuarla en la misma instalación, evitando de esta forma adquirir madera seca que por sus propiedades pueda humedecerse nuevamente.

La recuperación del calor de los productos de desperdicio o gases resultantes de diferentes procesos industriales, es con frecuencia una necesidad, sobre todo si es considerado desde el punto de vista económico, ambiental y de espacio. En este caso los residuos en las diferentes formas a la que se reduce constituyen un porcentaje alto de la madera original y desde el punto de vista energético un buen combustible. Hay que considerar además de las ventajas que significa para la fábrica el aprovechamiento de sus recursos, con el diseño del sistema de calefacción se cubren dos principales asuntos de interés, teniendo la visión de extender su uso hacia sistemas de secado con similares características, además de poder ser usada en la industria de pulpa y papel, así como madera contrachapada, en aserraderos y en algunos astilleros, donde se obtienen grandes cantidades de combustible de costo prácticamente nulo y donde la inversión inicial sería la de diseño y construcción.

CONTENIDO

ESTRUCTURA Y PROPIEDADES TERMICAS DE LA MADERA

La madera, como todos los materiales orgánicos, presenta una estructura extremadamente compleja y heterogénea, variable y con características en el ámbito microscópico muy diferentes de un punto a otro. Por ser producto de organismos vivientes, la madera no puede ser considerada un elemento unívocamente determinado o con propiedades siempre bien definidas y constantes. Los tejidos celulares que la componen son de diferente naturaleza, consistencia y calidad, pero sobretodo variable dependiendo de la especie a la que pertenezca.

La cantidad de humedad que debe tener un pedazo de madera para ser usado en el mercado artesanal, esta condicionado por el uso al cuál está destinado, en la tabla II se indica la humedad recomendada para diversos trabajos a realizar en madera³, teniendo una humedad de aproximadamente el 20% como el límite mínimo para poder realizar trabajos con un buen acabado superficial..

En aplicaciones bajo este rango de humedad el secado artificial adquiere un mayor valor pues como esta indicado en la tabla la humedad final que tendrá la madera puede llegar de 5 a 6 %.

En cuanto al poder calorífico de las maderas no varía significativamente y puede fijarse como promedio aproximado en 4500 kcal/kg, teniéndose en las maderas resinosas o muy compactas valores que pueden llegar a 5000 kcal/kg. Para hacer una estimación de la potencia calorífica de la madera tal como se recibe, puede obtenerse a través de una ecuación que determina el calor de combustión como función de sus componentes.

La composición aproximada de la madera es 49 % de carbono, 6% de hidrógeno , 44% de oxígeno, 1% de cenizas con un bajo contenido de nitrógeno, esta composición corresponde aproximadamente a $C_6H_{10}O_4$. Y a un poder calorífico alto del roble es 7467.4 Btu / lbm.

$$Potencia\ Calorífica = 14600C + 62000\left(H - \frac{O}{8}\right) + 4050S$$

La combustión de la madera se efectúa en una serie de tres etapas consecutivas :

1. Secado preliminar
2. Destilación y combustión de sus materiales volátiles (más del 80% de sus componentes combustibles).
3. Combustión del carbón fijo residual.

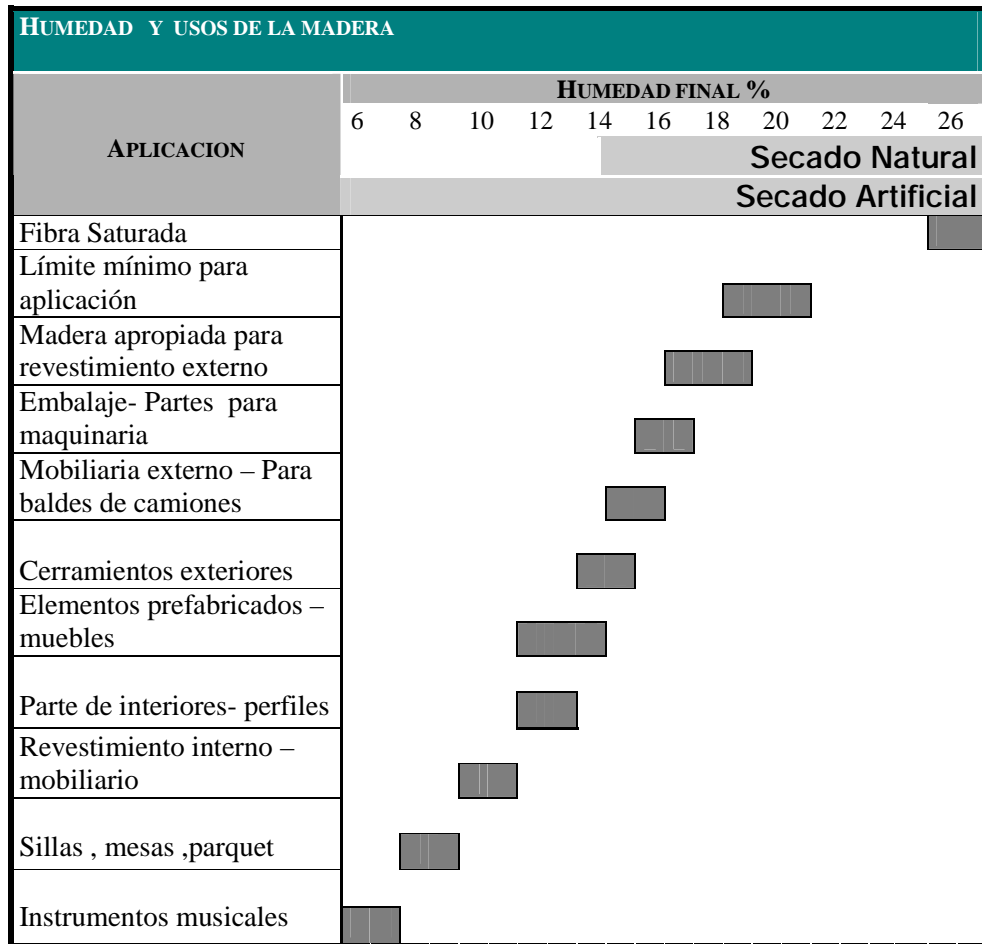


Tabla I. Humedad final media de la madera de acuerdo al tipo de uso

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL CALDERO

El problema básico al diseñar un caldero, consiste en disponer la superficie total de absorción de calor de una manera tal que se extraiga el calor máximo del combustible y de los productos de la combustión. De igual forma se tiene el problema económico de obtener la máxima eficiencia al costo mínimo posible, aquí se considera cada componente y cada proceso, de manera que toda la unidad forme parte de un diseño equilibrado.

Para el diseño es necesario tener claro, el conocimiento de las partes constitutivas del caldero, sobre las que se realizará los diferentes cálculos.

- Sistema de alimentación de combustible
- Hogar o cámara de combustión
- Cámara de convección
- Suministro de aire
- Sistema de recolección de cenizas
- Ductos de salida de productos de la combustión

Donde cada una de estas partes son dimensionadas siguiendo un ordenamiento lógico para el diseño del caldero, que se identifica a continuación:

1. Establecer la capacidad de la caldera a diseñar⁵
2. Calcular la cantidad de calor requerido para calentar el agua
3. Asumir una eficiencia de la caldera
4. Determinar la cantidad de combustible a usar
5. Calcular la masa de humos
6. Calcular el área de la parrilla
7. Determinar el volumen del hogar
8. Dimensionar la cámara de combustión
9. Calcular la temperatura de los gases a la salida del fogón
10. Calcular el número de tubos en la zona de convección
11. Calcular el calor transmitido por radiación
12. Calcular el calor transmitido por convección
13. Realizar un balance de calor en la caldera y determinar el calor real suministrado al agua
14. Comparar la eficiencia real con la asumida
15. En caso de una tolerancia entre las dos eficiencias mayor al 3% asumir una nueva eficiencia y repetir los cálculos.

El volumen y la forma del hogar están en función directa con la forma y tamaño de la llama, que dependen a su vez del tipo de combustible y del dispositivo para quemarlo. No solamente es indispensable un volumen suficiente para quemar el combustible que se usa en particular, sino que es preciso que haya una mezcla íntima entre el aire⁵ y los combustibles a una temperatura suficientemente alta, para lograr la combustión de todos los materiales. Una vez realizada ésta, es preciso evacuar los humos producidos

El dimensionamiento de la cámara de combustión fue hecho en función de :

- Según Bragg la profundidad de la cámara de combustión debe ser como mínimo tres veces la longitud de la llama.
- El volumen debe calcularse sobre la base de la producción de energía por hora y volumen de llama, este es el coeficiente de liberación de calor.

- La longitud de la llama es importante y esta depende de la velocidad de combustión, mientras mayor es la velocidad menor será la longitud de la llama .
- La velocidad de la combustión depende a su vez del tamaño del combustible, y de la rapidez de la reacción. A menor tamaño del combustible mayor será la velocidad de combustión.
- Es recomendable que el techo de la cámara de combustión sea circular.
- Las paredes deben ser suficientemente accesibles para su limpieza, a fin de asegurarse los resultados que se desean.
- Las paredes deben soportar las temperaturas de operación y el posible contacto con la llama.

Las dimensiones de la cámara de combustión deben fijarse con la condición de que los humos tengan una velocidad tal, que permita la combustión completa del combustible al salir de la misma, en la figura 1 se ven curvas típicas prácticas para el dimensionamiento de cámaras de combustión para este tipo de combustible. Para determinar el tiempo de combustión del aserrín τ_0 , se lo simula como el proceso de combustión de una partícula suspendido en una corriente de aire⁴, la misma que tiene componentes volátiles consistentes de gases de hidrocarburos que son liberados en forma exotérmica a diferencia de las reacciones endotérmicas involucradas en la vaporización de un combustible líquido.

En cuanto a la cámara de convección el principal problema en el diseño de una caldera, consiste en obtener la relación correcta entre la caída de temperatura de los gases, la superficie de calefacción y la pérdida de tiro que proporcione la transmisión de calor más económica. El inicio del diseño de la cámara de convección obedece tanto a la temperatura de salida de los gases de combustión como a la temperatura de salida del agua. Es necesario un balance entre la energía de los gases de combustión y la transmitida al agua para elevar su temperatura, el área de intercambio de calor en la práctica, es el área exterior lateral de los tubos dentro de la cámara, dado que estos son el medio de conducción desde el calo-portador hasta el fluido a ser calentado.

Para conseguir altos coeficientes de calor, se busca crear una turbulencia en el fluido, a través de deflectores⁷ que hacen que el líquido fluya a ángulos rectos con el eje de los tubos. Esto causa una considerable turbulencia aún cuando por la coraza circule una cantidad pequeña de líquido. La distancia centro a centro entre los deflectores usualmente no es mayor que una distancia igual al diámetro interior de la coraza, o menor que una distancia igual a un quinto del diámetro interior de la coraza. Los deflectores se encuentran sujetos por un pasador

atornillado en el cabezal de tubo o espejo y un cierto número de tubos que forma hombreras entre deflectores adyacentes.

Para dimensionar la separación de los haces de tubos se requiere turbulencia en el área de la coraza, para esto se busca que el $Re > 10000$ y fijar ciertos valores como el diámetro de la coraza a fin de evaluar las variables que determinen el coeficiente convectivo del agua, que estará en función del caudal de la misma. Hay que tener en consideración que una vez que se ha alcanzado la temperatura de operación de la instalación de secado, esto es, que tanto la infraestructura interior, así como el producto dentro de ella se encuentren a la temperatura apropiada para el secado, la energía que será suministrada será inferior por cuanto, ya alcanzadas las condiciones adecuadas, se debe tan solo mantenerlas, lo que implica que el gradiente de temperatura del agua en el ingreso y la salida es menor.

Para realizar el diseño del depósito de almacenamiento para el combustible⁶ se consideró las siguientes características :

- Alimentación libre de obstrucción
- Flujo de combustible constante hacia el transportador
- Evitar zonas muertas que incurran en pérdidas de tiempo del proceso continuo de alimentación
- Las dimensiones deben ser lo más reducidas por disponibilidad de espacio
- Se recomienda que el producto sea mezclado adquiriendo mayor homogeneidad para así obtener una combustión más óptima.

Según las expectativas de los requerimientos de diseño, la clase de depósito que satisface a estas, es el depósito con un sistema interior de alimentación, pues la forma compacta que puede dársele y sus características impiden la obstrucción del combustible en la descarga, así como la mezcla de todo el aserrín en su parte inferior.

CONCLUSIONES

A pesar de que la base del diseño se asienta sobre cálculos teóricos, se ha tratado de compaginar conclusiones de varios estudios experimentales, que han sido considerados en el análisis de cada una de las partes esenciales del caldero, esto permite una ventaja sobre un análisis completamente teórico que a pesar de ser una guía, muchas veces se aleja de la realidad que busca el diseñador en el momento de dimensionar sus equipos.

Se ha dotado de un volumen mayor a la cámara de combustión que permite aprovechar otro tipo de combustible residual además del aserrín, ampliando de esta forma el rango de aplicación del

caldero, dado que la necesidad de un mayor tiempo requerido para la combustión, es fácilmente manejable con este sobre dimensionamiento.

El ahorro que se consigue con el uso de combustible residual, donde la transportación y el almacenaje no se ven involucrados, pueden aceptarse como una ventaja competitiva en esta industria a partir del año y medio, tiempo en el cuál el costo del caldero se ha pagado, y el precio de sus productos pueden ser nuevamente evaluados y hasta disminuídos en forma proporcional al ahorro conseguido con el uso de este equipo.

El diseño del caldero bajo la concepción con la cuál fue realizada puede ser mejorado si se busca una automatización tanto del suministro del combustible como del control de la temperatura del calo portador, que puede direccionarse como otro proyecto que mejore el actual diseño.

Finalmente teniendo en cuenta que el entorno en el que se desarrollan muchas actividades de producción en nuestro país, están ligadas al ingenio del empresario, y con un proceso de dolarización que ha dado fuerza económica, la reducción de los costos de producción se ha tornado una necesidad, no solo por la libre competencia o globalización que ha generado el cambio monetario a un esquema internacional, sino por que el mercado interno puede verse afectado con gastos excesivos que no tienen porque ser solventados con la calidad del producto sino más bien pueden ser fácilmente manejables con tecnología del medio.

REFERENCIAS

1. A. Donoso C., “ Diseño de un caldero Piro-tubular para el secado de madera usando aserrín como combustible” (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001)
2. F. Porges, Prontuario de Calefacción Ventilación y Aire Acondicionado.(Sexta edición España.Marcombo1971.). pp50 - 58
3. . Nelson C. Brown James S. Bethel, La Industria Maderera.. (Primera edición, México ..Limusa. 1983.) pp 12, 18-30 , 70-120
4. Dudley Spalding Combustion and Mass Transfer.. (Primera edición Cox & Wyman Ltd. Gran Bretaña 1979)pp. 232 - 253
5. Rafael Mariño Producción y Transmisión Industrial del Calor.(Segunda Edición.Dossat. España . 1947) pp 62 -70.
6. Hornos Industriales. W. Trinks. Volumen I y II.(URMO. España Inc.1971)
7. Donald Kern, Procesos de Transferencia de Calor .. (Primera edición.C.E.C.S.A México.. 1965.) pp. 46-82, 186 -203