

DESARROLLO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE SECADO SOLAR DE MADERAS POR CONVECCIÓN NATURAL

GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES (G.I.D.E.R.)

* A. Aeberhard - A. Ventín - M. Aeberhard - P. Martina - G. Figueredo - V. Cocca - G. Tortosa.

** M. Reuss - S. Benkert

* Dpto. de Termodinámica - Facultad de Ingeniería - UNNE - Av. Las Heras 727 - C.P. 3500 - Resistencia - Chaco

T.E.FAX (0722) 25064 - 36298 - 20076 - 28106 - E-mail : termo@unnein.edu.ar

** Bayerische Landesanstalt für Landtechnik - Technische Universität München

RESUMEN

Se describe la metodología teórica y experimental utilizada en el diseño de un secadero solar de maderas por convección natural compuesto de túnel colector, cámara de secado y chimenea. Conjuntamente con el modelo práctico o prototipo experimental construido, se ha utilizado un modelo teórico de simulación con el objeto de desarrollar métodos de regulación y optimización del sistema de secado solar de maderas. La validación del modelo teórico se ha realizado mediante el programa de simulación TRNSYS en base a los datos meteorológicos, a los parámetros característicos de la madera y a los resultados de los ensayos experimentales de secado.

ANTECEDENTES

La madera, por provenir de organismos vegetales vivos, posee naturalmente un elevado porcentaje de humedad, cuya presencia provoca alteraciones físicas y mecánicas que en determinadas circunstancias pueden llegar a desvalorizarla económicamente.

La madera se expande o se contrae si su contenido de humedad se incrementa o decrece. Después de un cierto tiempo, alcanzará un contenido de humedad de equilibrio, H_e , cuyo valor depende de la temperatura y humedad de la madera y su medio ambiente. Si la madera es usada en la industria (mueblería, envases, carpintería, carrocería, construcción, etc.), con un contenido de humedad mayor que H_e tarde o temprano se secará experimentando una contracción que puede ocasionar rajaduras, deformaciones y otras anomalías. Además la madera húmeda es más propensa a pudrirse que la madera seca.

Por las razones señaladas es conveniente, antes de usarla, reducir el contenido de humedad de la madera hasta H_e . Es decir, hasta niveles de equilibrio higroscópico próximos a los de su utilización.

Este proceso se denomina secado y confiere a la madera una mejor estabilidad en sus dimensiones y propiedades mecánicas como así también mayor resistencia al ataque de insectos y a la descomposición. También mejora su maquinado (aserrado, torneado, cepillado, pulido, etc.) y reduce los costos de transporte.

El secado puede efectuarse simplemente por estacionamiento de la madera en contacto con el medio ambiente (" Secado al aire " o " Secado Natural ") pero en climas húmedos tales como el litoral NE de la Argentina, toma meses secar piezas aserradas, sobre todo de tamaño relativamente grande.

El tiempo de secado natural depende principalmente de las condiciones climáticas y demanda grandes espacios para el estacionamiento de la madera que quedan paralizados por todo el tiempo que insume el secado, lo cual incide negativamente en los costos. Por otra parte la madera puede llegar a pudrirse durante su estacionamiento. Por tales motivos, la industria de la madera requiere y procura encontrar métodos de secado económicos y rápidos.

Comercialmente están disponibles en el mercado instalaciones de secado rápido (" Secado Artificial " o " Secado en Estufa "), que usualmente emplean calentamiento eléctrico o de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Tales secaderos requieren un estricto control de la humedad para evitar que el secado sea demasiado rápido y provoque rajaduras y deformaciones en el material a secar. Si bien el secado artificial permite elevar notablemente la calidad de la madera y reducir la duración del proceso, puede resultar muy costoso especialmente para ciertos productores de pequeño y mediano tamaño, debido a su elevado consumo energético y al valor de su equipamiento.

Una alternativa obvia, es el uso de la energía solar como fuente de calentamiento. Por esta razón el Dpto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, conjuntamente con el Instituto de Tecnología Agraria de la Universidad Técnica de Munich (Alemania), en el marco del Convenio de Cooperación Científica y Tecnológica Argentino-Alemán, diseñaron y construyeron un prototipo experimental de secadero solar de maderas que se encuentra instalado en la ciudad de Resistencia, Provincia del Chaco, República Argentina. Su diseño procura ofrecer a la tecnología de la madera una instalación de secado construida con materiales de bajo costo, de fácil adquisición y de producción nacional, de simple manejo, de fabricación y montaje modular y de uso multipropósito, con capacidad también para el secado de otros productos agrícolas como algodón, tabaco, hortalizas, etc. El prototipo diseñado requiere solamente energía solar ya que el movimiento del aire de secado se produce por convección natural mediante una chimenea.

Existen muchos tipos de secaderos solares. En los ensayos realizados con los mismos, sus autores han informado haber obtenido madera seca de mejor calidad que la secada al aire y en tiempos muchos más cortos. Los escasos análisis económicos

que han sido informados, indican que para instalaciones de mediano tamaño, el costo de operación en un secadero solar es ligeramente inferior al de un secadero convencional ya que el menor costo del combustible compensa en parte el mayor costo del capital. Para grandes instalaciones, la relativa lentitud operativa de los secaderos solares, significa una desventaja económica con respecto a los secaderos convencionales.

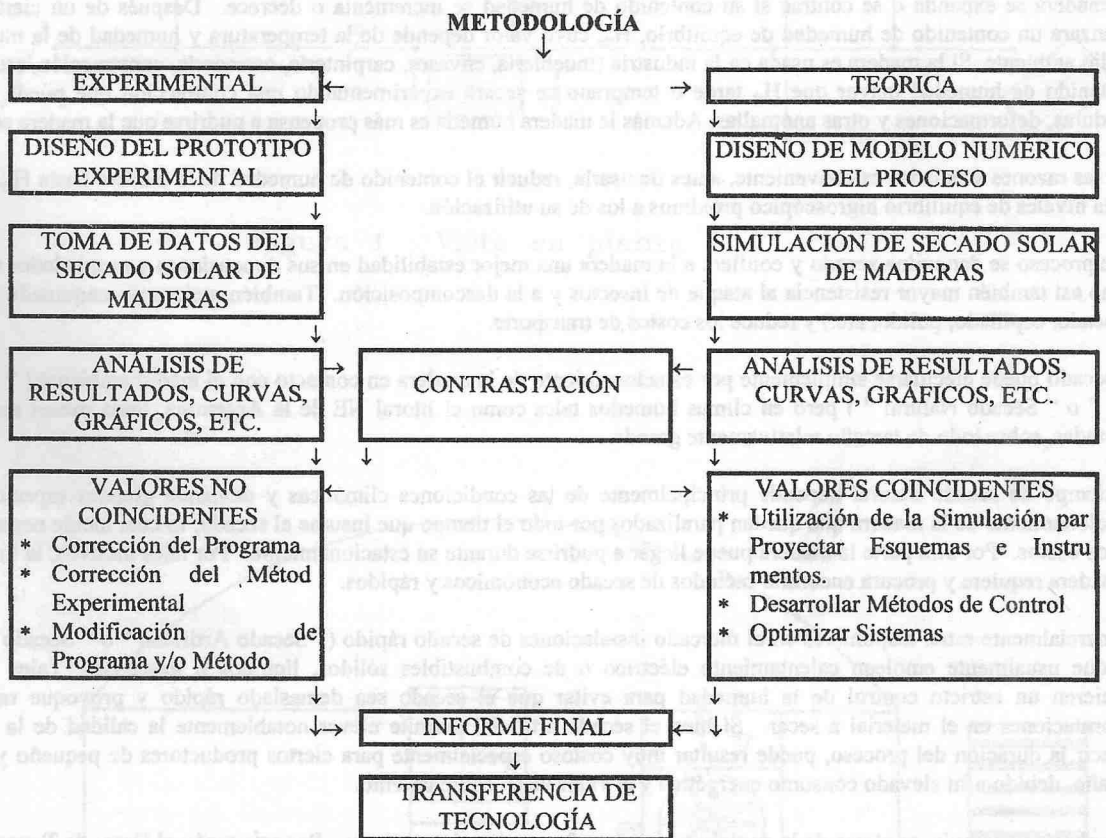
MATERIALES Y MÉTODOS

En el proyecto de investigación y desarrollo de un secadero solar de maderas por convección natural construido e instalado en Resistencia, Chaco, se adoptó el Método de Modelización Teórica y Experimental debido principalmente a las múltiples variables que interactúan en el sistema, como así también, a los costos de construcción del prototipo y a la fuerte influencia de los cambios atmosféricos. La modelización resulta ventajosa pues las experiencias complicadas y dificultosas pueden ser parcialmente reemplazadas por simulaciones relativamente simples y rápidas.

La modelización adoptada está basada en el sistema de simulación denominado Programa Computacional TRNSYS (Transient System Simulation Program), el cual ha sido especialmente adaptado a las instalaciones y aprovechamiento de la energía solar, en condiciones de régimen transitorio.

La modelización se basa en la teoría del secado y en las teorías de la mecánica de los fluidos. Los principales procesos involucrados en el secado de la madera son su contenido de humedad, el transporte de calor y humedad en el interior de la madera y la transferencia de humedad y calor desde la madera al aire circundante. Las condiciones de secado fueron calculadas por el método de elementos finitos.

A continuación, se muestra un esquema de la metodología seguida en el proyecto :



Los primeros estudios referentes a la modelización del sistema de secado solar de convección natural fueron realizados en Alemania, por la IST Energietechnik, Kandern-Wollbach en conjunto con la Technische Universität München, Bayerische Landtechnik y la Lehrstuhl C für Thermodynamik. La modelización clasifica al sistema según sus principales componentes : "Túnel Colector Solar", "Cámara de Secado", "Estiba de Madera" y "Chimenea". Los parámetros del sistema, masa y energía son interpretados mediante ecuaciones en computadora y se les otorga valores numéricos. La simulación de las condiciones del sistema se obtiene de los valores correspondientes a los parámetros de la instalación, de las características de la madera y de las variables climáticas.

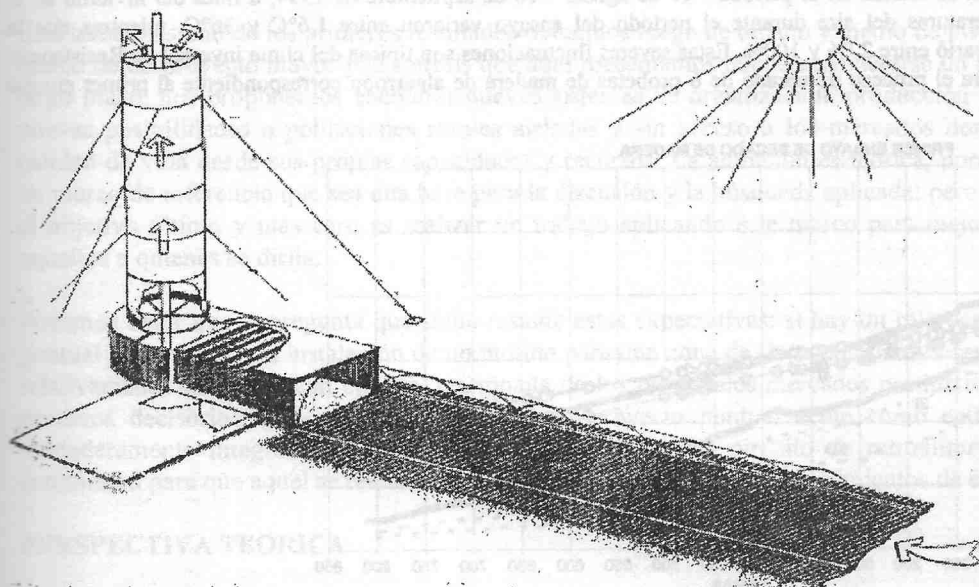
El prototipo experimental de secadero solar de madera contruido e instalado en Resistencia, Chaco, fue diseñado con la ayuda de un programa de simulación. Los cálculos se ejecutaron con datos meteorológicos medidos en el lugar. Los distintos parámetros de diseño, como la longitud del colector, la geometría de la cámara de secado, el diámetro y la altura de la chimenea, fueron modificados hasta hallar el diseño óptimo.

Esta simulación condujo a medidas óptimas del colector: 60 m de largo x 3,6 m de diámetro; cámara de secado : 3 m de ancho x 5,50 m de largo x 2 m de altura y chimenea : 2,3 m de diámetro x 12 m de altura.

En el secadero solar desarrollado, el aire de secado circula por convección natural provocada por una chimenea. La convección natural es producida por la diferencia de densidad del aire caliente en el interior de la chimenea respecto de la del aire frío en el medio ambiente. La acción del viento que se desplaza sobre la chimenea incrementa la corriente de aire que circula a través del túnel colector.

Con el objeto de aprovechar adicionalmente la acción del viento, la abertura del colector para ingreso del aire de secado, fue ubicada en el extremo Norte del secadero. Como el túnel colector está orientado en dirección N-S los vientos cálidos del N y del NE, aceleran el secado, mientras que los vientos más fríos del SE, no ingresan al colector.

En el siguiente gráfico se muestra esquemáticamente el secadero solar de maderas por convección natural.



En el colector, el aire circula dentro de un túnel de sección semicircular con cobertura transparente de polietileno, y es calentado mediante la energía solar que atraviesa la cubierta plástica. La radiación solar incide sobre una lámina de polietileno negro ubicada en el piso del túnel colector. El plástico negro absorbe el calor y lo transfiere, por "efecto invernadero" al aire que circula a través del túnel. En la cámara de secado, construida en mampostería, el aire caliente y seco fluye a través de la estiba de madera ubicada en su interior. Debido a la diferencia entre las presiones parciales del vapor de agua en la madera y en el aire, la humedad de la madera es transferida a este último y escapa al exterior a través de la chimenea. En condiciones atmosféricas desfavorables y en horas de la noche tiene lugar el proceso inverso y la madera absorbe humedad del aire frío. Este humedecimiento limita el contenido de humedad final alcanzable en los secaderos solares pero redundo en beneficio de la calidad de la madera obtenida en el secado. En el caso de que las condiciones del secado se vuelvan demasiado severas, las mismas pueden modificarse abriendo dos aberturas ubicadas en las paredes de la cámara de secado. La mezcla del aire del medio ambiente con el aire de secado permite así reducir la velocidad del proceso.

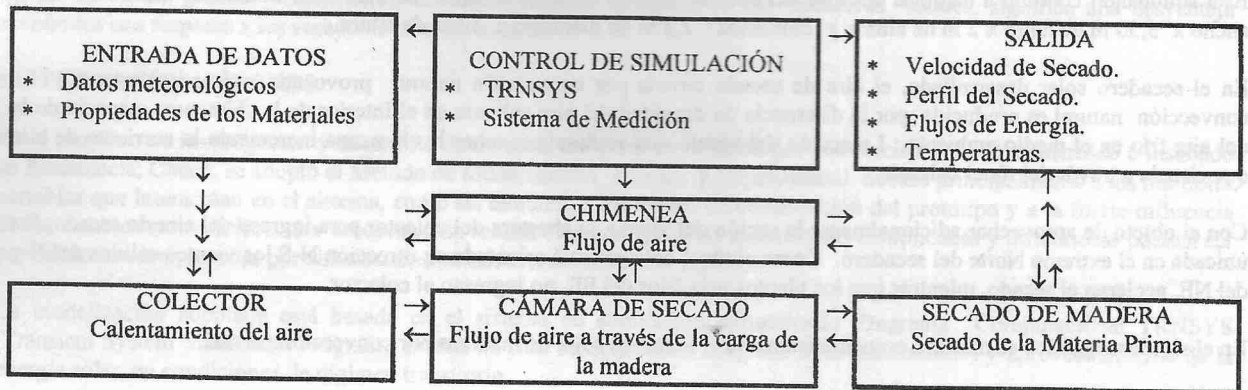
DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Desde julio de 1994 hasta octubre de 1995, se llevaron a cabo ensayos de secado en el prototipo de secadero solar de convección natural usando madera aserrada de las especies algarrobo negro y algarrobo blanco (*Prosopis Nigra* y *Prosopis Alba* respectivamente). El algarrobo es una especie abundante en el Chaco, de madera dura, muy utilizada en la construcción de muebles. Las tablas de algarrobo fueron estibadas en la cámara de secado colocando separadores para asegurar la buena ventilación de las mismas. Algunas tablas de diferentes dimensiones fueron ubicadas a modo de probetas de muestra en diversos lugares de la estiba. Las muestras fueron pesadas regularmente dos veces al día para determinar la humedad en función del peso seco que fue determinado una vez finalizado el ensayo. Conjuntamente con estas determinaciones, cada diez minutos se tomaron los valores de radiación solar horizontal, temperatura ambiente, humedad relativa del ambiente, humedad relativa del aire de secado, la velocidad del viento, las temperaturas del colector, cámara de secado y chimenea y la humedad

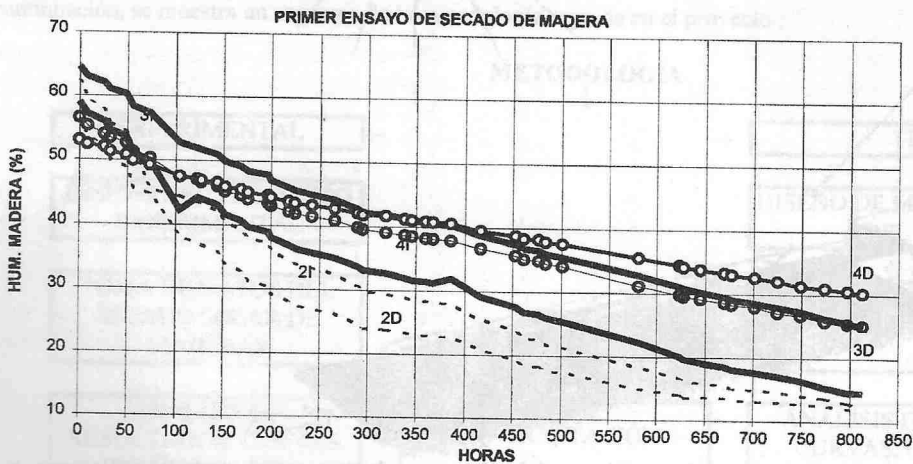
relativa del aire y su velocidad en la cámara de secado. Los valores correspondientes a las variables meteorológicas del medio ambiente sirvieron como datos de entrada para la simulación del proceso y los valores hallados se utilizaron para analizar la validación del modelo.

En el siguiente esquema se indican los pasos seguidos en la simulación:

PROCESO DE LA SIMULACIÓN



El primer ensayo de secado se realizó en el período : 17 de agosto - 18 de septiembre de 1994, a fines del invierno en el hemisferio sur. Las temperaturas del aire durante el período del ensayo variaron entre 1,6°C y 36°C, mientras que la humedad relativa del aire varió entre 27% y 100%. Estas severas fluctuaciones son típicas del clima invernal de Resistencia. El siguiente gráfico muestra el proceso de secado de 6 probetas de madera de algarrobo correspondiente al primer ensayo realizado.



El gráfico indica que de un contenido inicial de humedad comprendido entre 53 % y 65 %, las muestras se secaron hasta un contenido final de alrededor del 12 % al 30 %, en el lapso de un mes (840 hs.). Como era de esperar las muestras de menor espesor, 2I y 2E se secaron más rápidamente que las muestras 3I, 3D, 4I y 4D. Las diferencias de velocidad de secado en las probetas de igual espesor, por ejemplo 3I y 3D, se debieron probablemente a la diferente ubicación de las muestras dentro de la estiba.

CONCLUSIONES

Los ensayos efectuados demuestran que con el secadero solar de convección natural es posible alcanzar alta calidad y adecuada rapidez en el proceso de secado. Si bien éste insume un tiempo algo más prolongado que en los secaderos convencionales, es mucho más rápido que en el secado al aire o secado natural. La madera procesada no resulta dañada por causas ambientales ni por excesivas y severas condiciones de secado.

La validación del modelo también condujo a resultados satisfactorios. Las simulaciones de las temperaturas y humedades del aire dentro del secadero, como así también la ejecución del programa de simulación del proceso de secado para varias muestras de madera, coincidieron con los valores medidos, dentro del margen de exactitud previsto. Sólo sería necesario llevar a cabo ensayos adicionales para validar el modelo de simulación de la chimenea.

BIBLIOGRAFÍA

- J.A. Duffie, A. Beckmann. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- F. Kollmann. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, Springer-Verlag, Berlín, 1951.
- F. Kneule, *El secado*, Editorial URMO, Bilbao, 1966.
- L. Tortorelli, *Maderas y Bosques Argentinos*, A.C.M.E. Buenos Aires, 1956.