

## **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA PARA UN SECADERO HÍBRIDO DE MADERA EN RÍO CUARTO**

D. A. Palumbo\*, J. R. Barral\*, I. Lestarpé\*, M. A. Lara#

\* Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Río Cuarto  
Ruta Nac. 36 Km 601 – (5800) Río Cuarto – Córdoba  
Teléfono y fax: 0358-46766252 - E-mail: dpalumbo@ing.unrc.edu.ar  
# Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR)  
Bv. 27 de Febrero 210 bis - (2000) Rosario - Sta. Fé

### **RESUMEN**

En este trabajo, se realiza un primer análisis económico de un secadero de madera del tipo semi-invernadero integrado, al que se le agrega un quemador a gas a fin de suministrar energía adicional a la solar para completar el secado de madera en un tiempo económicamente aceptable, para la ciudad de Río Cuarto. Para tal fin se desarrolla un modelo simplificado del proceso de secado, teniendo en cuenta las pérdidas de energía por conducción a través de las paredes y por radiación, realizando la simulación usando datos climáticos de Río Cuarto.

Los resultados indican la posibilidad de una operación económicamente exitosa de este tipo de secadero, no sin antes realizar un estudio económico más detallado y evaluar algunas modificaciones que pudieran mejorar su funcionamiento.

### **INTRODUCCIÓN**

La creciente demanda de madera en el mercado está ocasionando dificultades en la provisión de madera de buena calidad, sobre todo en lo concerniente a su contenido de humedad.

El secado de la madera es el primero y quizás más importante paso en su proceso de industrialización. Además, el secado industrial de madera es un proceso con alto consumo de energía convencional, mientras que, por otro lado, el secado al aire requiere mucho tiempo (está condicionado a las condiciones atmosféricas) y produce altas pérdidas por deterioro.

Una alternativa a los métodos anteriores es un secadero del tipo semi-invernadero integrado (Lara, 1992) que usa energía solar como aporte principal de energía, al cual se le adiciona la posibilidad de usar energía convencional (gas natural, aprovechando su bajo costo) como aporte de energía secundaria, ayudando al proceso de secado principalmente en la disminución del tiempo requerido para obtener la humedad final requerida en la madera. De hecho este tipo de secadero presenta, sobre el secadero industrial, la ventaja del ahorro de energía convencional y una disminución notable del tiempo de secado y calidad del producto final con respecto al secado al aire, además de reducir la dependencia con el clima. Por otra parte, el modelo semi-invernadero potencia las ventajas del modelo invernadero sobre la base de un mayor aislamiento térmico, permitiendo alcanzar una eficiencia mayor. Además, por su construcción más sólida, se aumenta notablemente su resistencia mecánica al medio y disminuye los gastos de mantenimiento (Alvarez y Fernández, 1989).

El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad económica de instalar un secadero con las características mencionadas en la ciudad de Río Cuarto, Córdoba. Para ello se analizan su costo de construcción y de operación, adoptándose para este propósito un secadero con capacidad para 30 m<sup>3</sup> de madera aserrada (6000 pie<sup>2</sup> de listones).

### **DESCRIPCIÓN DEL SECADERO EN ESTUDIO**

El análisis se realiza considerando un secadero con estructura de soporte en madera dura, con contrapiso de hormigón pobre, elevado con respecto al nivel del terreno, con canales laterales de drenaje para el agua de lluvia. En los laterales estarán ubicados las puertas de carga y descarga de la madera.

La pared sur se cubre con madera machimbrada de descarte y pintada, llevando poliestireno expandido como aislante por estar esta pared expuesta a vientos más intensos y fríos.

La parte superior y norte llevan una cubierta exterior de polietileno transparente de larga duración (LDT) de 100 micrones de espesor. La cubierta interna (captor solar) y las cubiertas laterales (no incluidas las puertas), de polietileno negro de alta densidad, evitan que el sol incida en forma directa sobre la madera, afectando su calidad. Por debajo de estas cubiertas se instala una capa de polietileno para evitar que el agua condensada moje la pila de madera.

Las paredes norte y sur llevan ventiletes que controlan la entrada y salida de aire.

La inclusión de una válvula esclusa en el interior facilita una gran versatilidad en el proceso de secado al permitir regular el caudal de aire. En el diseño propuesto, diez ventiladores están soportados sobre estructuras de madera, en el sector sur del secadero. El quemador de gas, junto a boquillas de salida del aire caliente, se ubican cerca de la pared norte del secadero, evitando de esta manera la incidencia directa del aire calentado sobre la pila de madera (Figura 1).

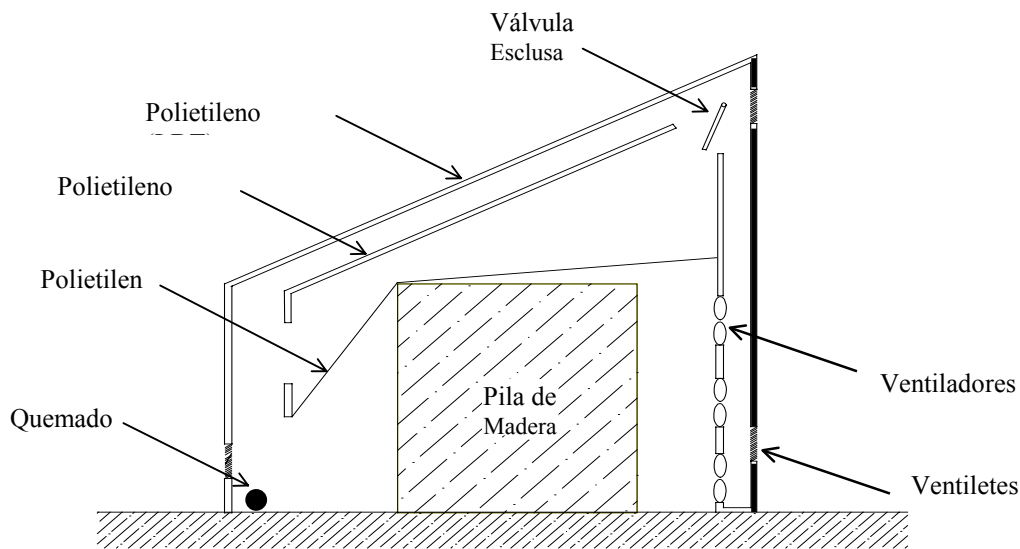


Figura 1. Vista Lateral del Secadero

### SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SECADERO

Para estimar el costo de operación, se recurrió a la simulación del proceso de secado, mediante el uso del programa TRNSYS 14.2 (Wisconsin, 1996), al cual se incorporaron datos climáticos correspondientes a la ciudad de Río Cuarto y un modelo simplificado del proceso de secado, que a continuación se describe.

En el modelo del secadero se analizan y determinan básicamente las pérdidas de calor a través de las paredes del mismo y la ganancia de energía por radiación, para luego determinar la cantidad de energía que deberá aportar el quemador de gas.

La simplificación más importante fue no considerar la masa del secadero ("no mass"), de tal manera que las pérdidas y ganancias son instantáneas, lo mismo que el aporte de energía del quemador, para mantener una temperatura de 40 °C, constante en el interior del mismo. Tampoco fue tomada en cuenta la renovación de aire, lo que disminuye las pérdidas de calor consideradas en el modelo.

El secado fue dividido en dos etapas, variando la velocidad del aire a través de la pila. En el primer período, eliminación de humedad no ligada, se adoptó una velocidad de 1.7 m/s, lo cual implica que funcionen los 10 ventiladores en forma continua. En la segunda etapa se mantienen en funcionamiento alternativo 4 ventiladores, dando como resultado una velocidad del aire de 0.68 m/s a través de la pila de madera.

Bajo este esquema, los coeficientes de transferencia de calor por convección en las paredes internas del secadero, calculados usando la correlación de Colburn (Perry, 1991), permanecen constantes en cada etapa.

Para calcular los coeficientes de transferencia de calor por convección en las paredes exteriores se tuvo en cuenta la influencia del viento, utilizando la expresión desarrollada por J. W. Mitchell (Duffie y Beckman, 1991) y asumiendo un valor mínimo (convección natural) para dichos coeficientes cuando la velocidad del aire es baja o cero.

La expresión para el coeficiente externo de transferencia de calor por convección ( $h_e$ ) está dada por:

$$h_e = \text{Max} \left[ 8,6 \frac{V^{0,6}}{L^{0,4}}, 5 \right] \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Siendo  $V$  la velocidad del aire en m/s y  $L$  la longitud característica, en m, calculada como la raíz cúbica del volumen del secadero.

La velocidad del viento y la temperatura exterior son aportadas a partir de los datos climáticos anteriormente mencionados.

También se tuvieron en cuenta las pérdidas por radiación, especialmente importantes en la parte superior y pared norte del secadero.

Para el cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor se consideraron además de los mencionados, los coeficientes de conductividad de los materiales componentes de las paredes.

Para el piso, se asumió una pérdida del 10% del total.

Se considera un tiempo de secado de 20 días, determinándose las pérdidas totales de calor para este período por integración horaria y, por consiguiente, el consumo de gas necesario para mantener la temperatura del secadero.

Teniendo en cuenta que las pérdidas de calor están influenciadas por las condiciones climáticas, con lo cual el consumo de gas es mayor en invierno que en verano, se hizo una simulación para el año completo y se tomó un consumo promedio a fin de poder determinar los costos de operación promedio.

En los gráficos de las Figuras 2 y 3 se muestran las simulaciones para los períodos que van del 1° al 20 de enero (Figura 2) y el que corresponde del 8 al 27 de agosto (Figura 3).

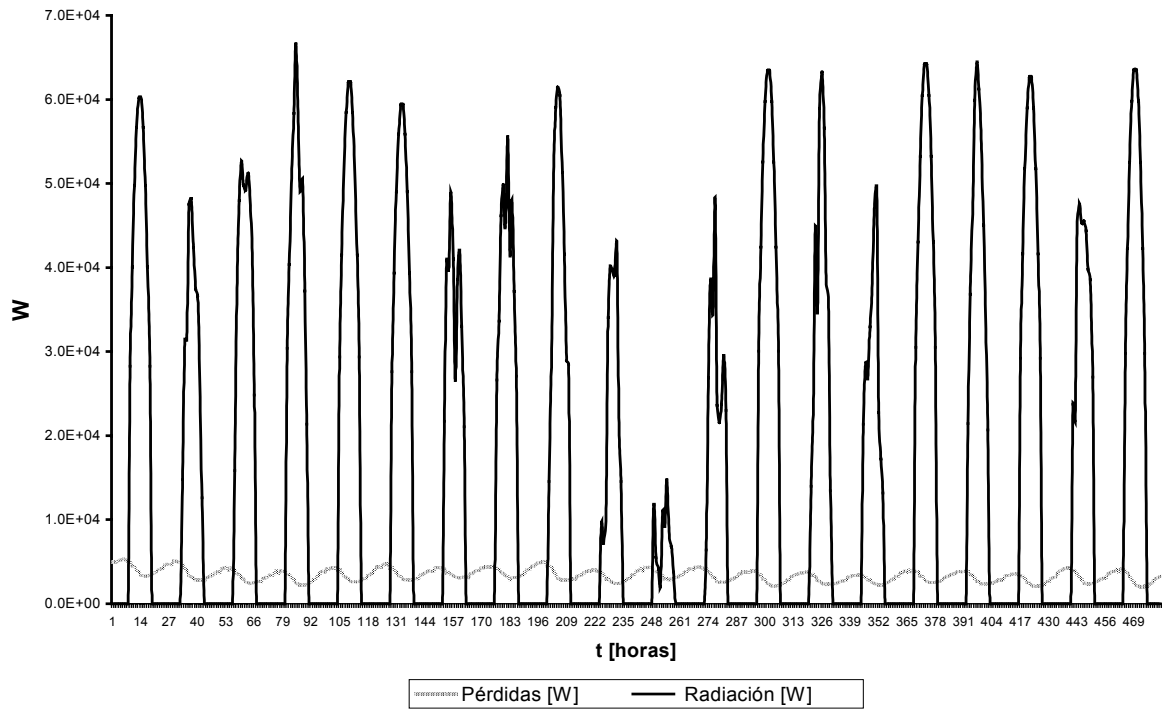


Figura 2. Simulación para el período 01/01 al 20/01

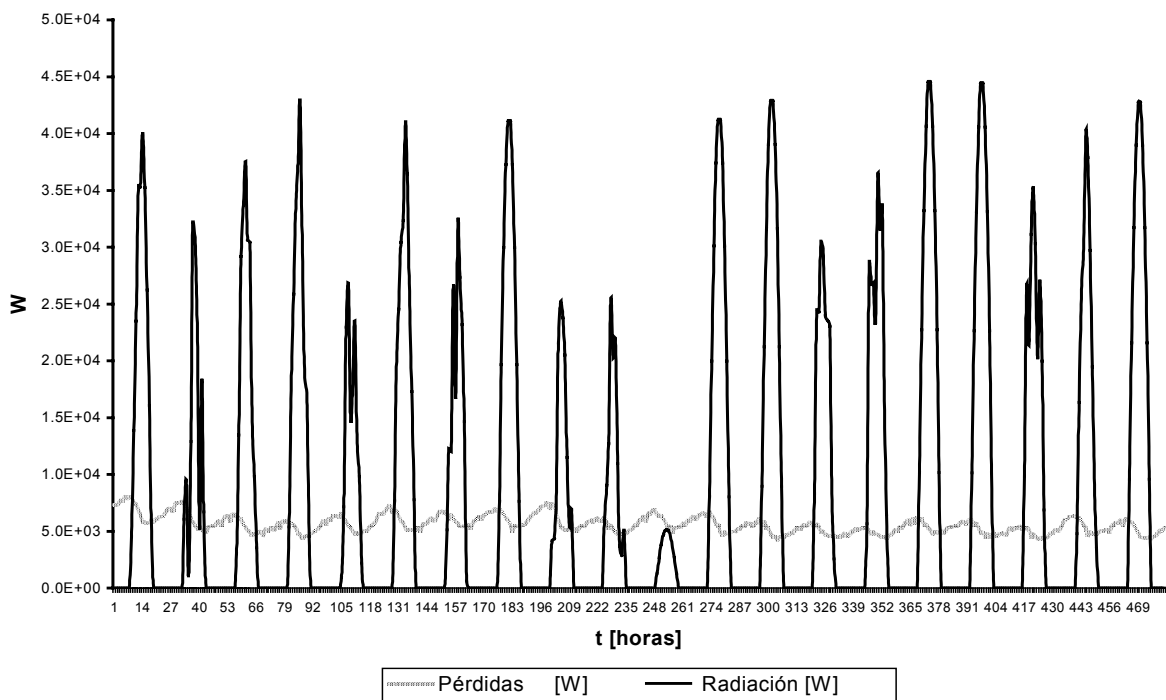


Figura 3. Simulación para el período 08/08 al 27/08

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el modelo simplificado planteado y asumiendo que durante el 40% del tiempo total de secado funcionan la totalidad de los ventiladores y solo cuatro en el período restante, se calculó el costo de operación (en promedio \$ 300.- por carga) y, tomando una utilidad bruta de \$ 0,15 por pie cuadrado de madera, resulta una ganancia bruta de \$ 600.- por carga. Este resultado positivo obliga a plantear un modelo más real del secadero e inclusive, aprovechando las virtudes del programa TRNSYS, variar parámetros tratando de encontrar la menor inversión (actualmente alrededor de \$ 10.000.-) con el

menor costo de operación. Sobre este último podría pensarse en la operación del secadero sólo con calentamiento solar en verano y la opción híbrida para los meses más fríos del invierno.

## **REFERENCIAS**

- Alvarez Noves, H. y Fernández, J. I., “Desarrollo de un Modelo INIA para el Secado de la Madera Aserrada”, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, 1989.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A., Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition, Mc Graw-Hill, Inc., New York, 1991.
- Lara, M. A., “Secado Solar de Madera Aserrada”, Actas de la 15ta. Reunión de ASADES, Tomo II, Catamarca, 1992.
- Perry, R. H., Chilton, C. H., Biblioteca del Ingeniero Químico, Quinta Edición, Mc Graw-Hill, 1991.
- TRNSYS, “A Transient Simulation Program” Versión 14.2, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 1996.