



EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UN SECADERO DE ESPECIES AROMÁTICAS LOCALIZADO EN LA PROVINCIA DE SALTA.

F. Altobelli¹, G. Durán², M. Condori³, C. Martínez, G. Díaz Russo

Instituto de Investigación en Energías no Convencionales (INENCO)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional de Salta (UNSa)

Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.

Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se presentan los resultados obtenidos de una evaluación energética realizada a un secadero de especies aromáticas localizado en la provincia de Salta de intercambio de calor del secadero. A partir de los resultados alcanzados se definen una serie de recomendaciones para lograr un aprovechamiento óptimo del dispositivo y ahorro en el consumo de combustible: aprovechar parte de la temperatura de los gases de combustión, incorporar aislación en los hornos quemadores, mejorar la gestión en la apertura y cierre de las ventanillas de ingreso y salida de aire, incorporar automatización para el manejo de los ventiladores forzadores de flujo, también se sugiere la adición de un sistema de precalentamiento del aire seco que ingresa al secadero.

Palabras clave: evaluación energética, secadero de productos agrícolas, Salta.

INTRODUCCIÓN

La crisis actual de agotamiento de combustibles provenientes de fuentes convencionales pone de manifiesto la necesidad de buscar alternativas de aprovisionamiento y de optimizar el uso energético actual. Generalmente las aplicaciones industriales son caracterizadas como de consumo intensivo de energía, representando un campo de gran interés para la identificación de aspectos susceptibles de ser mejorados con fines de alcanzar un ahorro en el empleo de combustibles.

Dentro de los procesos de secado de productos agrícolas, se cuenta actualmente con vastos antecedentes. Se destacan las experiencias de incorporación de energía solar térmica al sistema con buenos resultados para la región noroeste de Argentina. En esta zona, en la mayoría de los casos, el combustible empleado por los productores agrícolas está constituido por leña. Esta situación posee fuertes connotaciones de presión sobre los recursos forestales del área y año a año se dificulta y encarece el acceso a esta fuente de energía.

Los resultados aquí presentados corresponden al monitoreo del comportamiento térmico de un tipo particular de horno de secado de especies aromáticas. Ubicado al sur del Valle de Lerma, en la provincia de Salta, es principalmente utilizado en la deshidratación de orégano y pimiento para pimentón, entre otros productos. Las características estructurales del mismo, así como su sistema de intercambio de calor y la fuente de energía empleada, dificultan la generalización de los resultados y conclusiones obtenidas. Sin embargo, en la región, de intensa actividad tabacalera, se destacan las estufas de curado de tabaco como los secaderos agroindustriales de mayor difusión, existiendo publicaciones sobre el monitoreo de las mismas (Altobelli, et al 2010, 2011). Puede establecerse una similitud entre el secadero objeto de este trabajo y las antiguas estufas de tabaco, construidas en adobe y con quemadores de leña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Secadero

La presente auditoría fue llevada a cabo en un secadero de especies aromáticas ubicado en la localidad de Guachipas de la provincia de Salta. Dicho secadero, construido en mampostería, fue inicialmente diseñado para efectuar el proceso de deshidratación de productos agrícolas de manera continua, contando para ello con un sistema de cintas transportadora. Con veinte metros de largo, se encuentra dividido en dos cámaras en sentido transversal. Cada cámara posee 2m de ancho.

¹ Becaria CONICET

² Becario CONICET

³ Director INENCO



Figura 1 – Vista del secadero desde la zona de descarga de los productos deshidratados.

La fuente de calor está compuesta por quemadores de leña (uno para cada cámara), los cuales se hallan ubicados en la parte posterior del secadero. Conectados a cada quemador pueden verse una serie de caños (3 tres) cuyo diámetro es del orden de 0.3m, que conducen los gases provenientes de la combustión, recorriendo por la parte superior, el largo de las cámaras. Estos caños retornan y se dirigen hacia el exterior en proximidades del mencionado quemador. Dichos caños presentan aletas, para mejorar el proceso de intercambio de calor.



Figura 2 - Quemador del secadero (izquierda), caños de conducción de gases de combustión (derecha).

Como mecanismo para forzar el flujo de aire, y por consiguiente los procesos de transferencia de calor entre los caños y el producto, cuenta con 8 (ocho) ventiladores axiales. Ubicados debajo de los intercambiadores, estos ventiladores dirigen el flujo de aire hacia la cinta cargada con el producto a secar. Cada uno posee una potencia de 1.5 HP y son accionados de manera individual. Por otro lado, en proximidades a la puerta de descarga, posee un ventilador adicional de 20 HP que remueve el flujo en dirección contraria a la de avance de la cinta.



Figura 3 - Ventiladores de 1,5HP (izquierda), ventilador axial de 20 HP (derecha).

El ingreso de aire es controlado con ventanillas ubicadas en la parte superior de la cámara. De acuerdo a conversaciones con los técnicos operarios de la planta, pudo determinarse que estas ventanillas se mantienen primeramente abiertas y a medida que avanza el secado van siendo cerradas.

Si bien el diseño original implicaba un secado de tipo continuo, en la actualidad se encuentra funcionando como tipo batch (en pulsos). La cinta se carga con producto fresco, y luego de un período de 48-72 horas se obtienen aproximadamente 2 Tn de producto seco. Las temperaturas alcanzadas durante el secado rondan los 50-55°C.

Mediciones realizadas

Con el objeto de evaluar el desempeño energético de la estufa se realizaron dos monitoreos: el primero de ellos consistió en el registro de valores de temperatura en el interior de la cámara de secado (hallándose el secadero con carga de producto y en funcionamiento), el segundo monitoreo comprendió la evaluación también de temperaturas en la cámara de intercambio de calor ubicada en la parte alta del secadero.

Monitoreo cámara de secado

Se tomaron mediciones de temperatura en distintos puntos en sentido longitudinal, estando el secadero en funcionamiento. Al mismo tiempo fue evaluado el flujo entregado por los ventiladores desde la zona central de la cinta cargada con el producto a deshidratar. Este monitoreo fue completado entre el 04/10/2010 y el 09/10/2010.

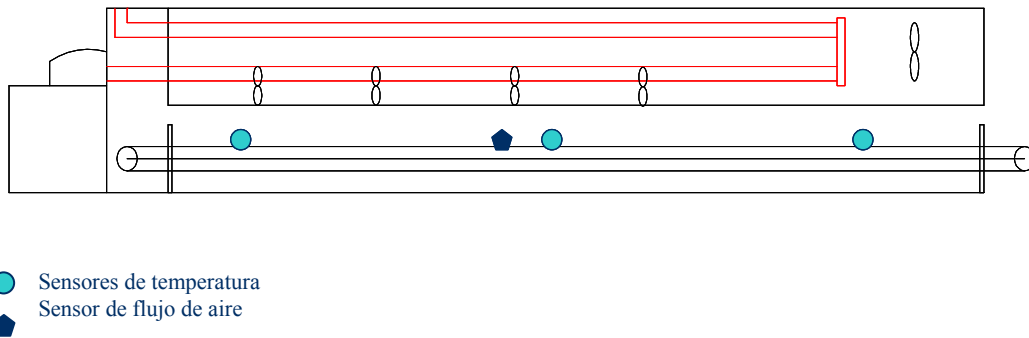


Figura 4 – Ubicación de los sensores empleados en el primer monitoreo con carga de producto.

Los sensores empleados en la medición comprendieron, para el caso de las temperaturas, termocuplas de tipo K; mientras que para el caso de humedad se armaron pares psicrométricos con el mismo tipo de termocuplas. El registro térmico fue llevado a cabo por un período de 8 días, incluyendo varios ciclos de secado (3 cargas completas de producto). Por su parte, el flujo de aire fue medido mediante el empleo de un anemómetro de hilo caliente, para este caso la medida fue de tipo puntual, una vez finalizado el secado y habiendo transcurrido un tiempo prudencial para la disminución de la temperatura del horno al punto de posibilitar las tareas en su interior.

La humedad fue evaluada mediante el cálculo de los contenidos de humedad actual W , humedad en la saturación W_s y la proporción entre ambas μ . De esta forma puede ser definido el potencial del aire dentro de la cámara de secado para admitir humedad (secar el producto) y el aprovechamiento que se realiza del mencionado potencial.

Monitoreo cámara de intercambio de calor.

Además de monitorear el comportamiento de la cámara de secado, se procedió a realizar el monitoreo de la sección superior del secadero. La misma comprende el quemador de leña, los tubos de circulación de los gases de combustión, y la cámara de intercambio de calor. Para ello fueron colocadas termocuplas tipo K (convenientemente calibradas) en las caras interna y externa de la loza de techo (en tres puntos en sentido longitudinal), junto a otras dos termocuplas para el registro de la temperatura del aire de combustión y de la chimenea de expulsión de los mismos al exterior. Una tercer termocupla adicional se incorpora para medir la temperatura del aire dentro de la cámara de intercambio de calor. La Figura 5 muestra un esquema donde se detalla la ubicación de los sensores utilizados.

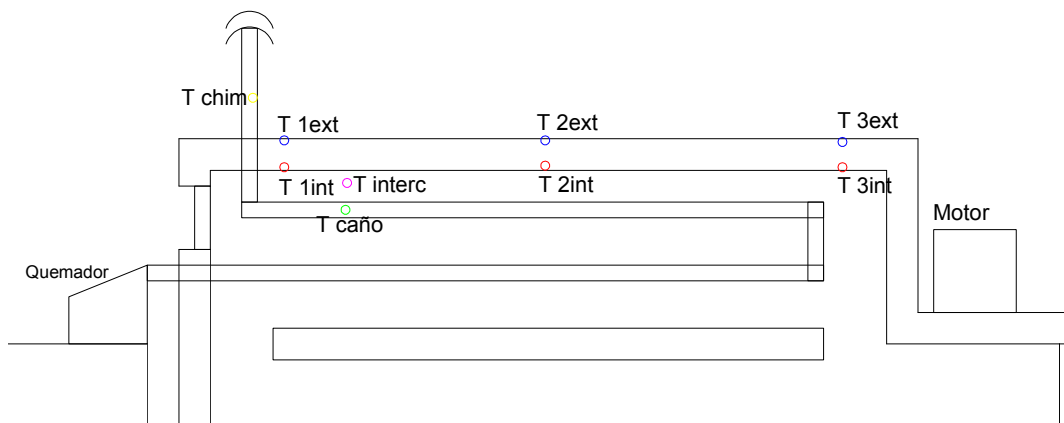


Figura 5 - Esquema de ubicación de los sensores utilizados.

Este segundo monitoreo se realizó mediante el empleo de un datalogger Cole-Parmer mod. 18200-75 con 8 canales diferenciales analógicos de 20 bits de resolución y 4 canales digitales, con almacenamiento de datos mediante una tarjeta Compact Flash de 512 M. Este adquisidor de datos se programó para toma de temperaturas mediante termocuplas de tipo K, con una frecuencia de adquisición de datos de 10 minutos.

Además, se utilizaron dos datalogger Novus mod. Log Box AA IP 65, cada uno con dos canales diferenciales analógicos de 20 bits de resolución, programados para realizar medidas de temperaturas mediante termocuplas tipo K, con una frecuencia de adquisición de 10 minutos.

Para cuantificar las pérdidas de calor por las paredes y techo del secador, se decidió evaluar el comportamiento del secador en vacío durante dos instancias de quemado. En la primera experiencia se solicitó al operario de la planta encender una pequeña carga de leña, que fue completamente quemada a lo largo del día de análisis. La segunda experiencia se realizó al cabo de una semana, consistiendo en el quemado de otra pequeña carga de leña. En ambos casos fueron registradas la totalidad de variables previamente mencionadas.

RESULTADOS

Monitoreo cámara de secado

Los resultados obtenidos mediante el monitoreo térmico de la cámara de secado se muestran en la *Figura 6*:

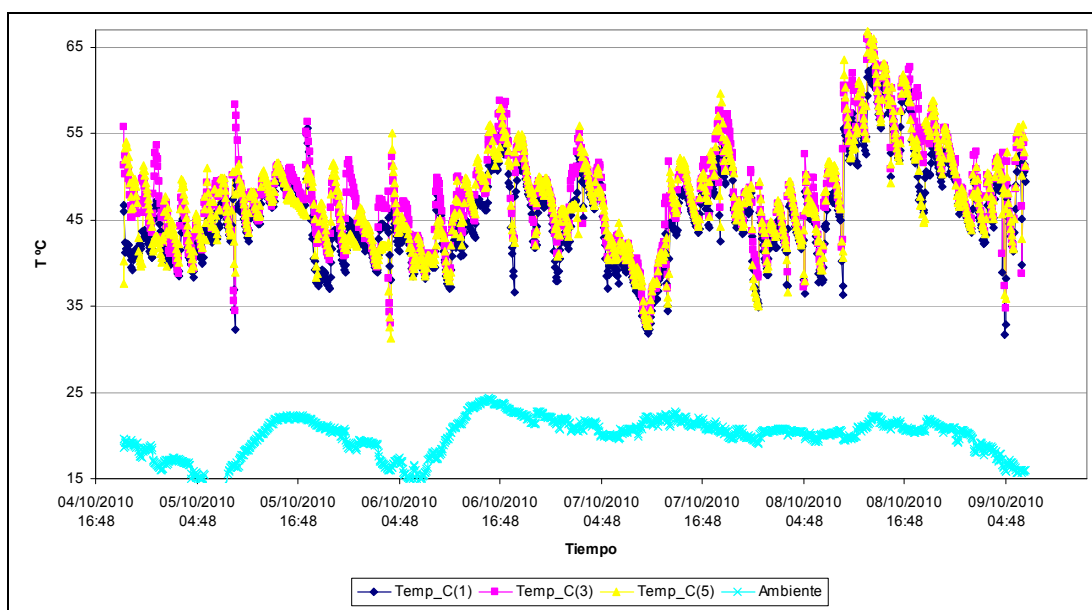


Figura 6 - Mediciones térmicas de la cámara de secado.

Según puede verse en un análisis del gráfico previo, las temperaturas en el secadero se mantuvieron en un promedio del orden de los 45°C, superando solamente en la etapa final los 55°C. Es conveniente destacar que las mencionadas temperaturas fueron medidas a nivel del producto, momento en el que se constató el elevado espesor de la carga de producto fresco.

El flujo medido en el interior de la cámara de secado fue de 5,8 m/s en promedio (medido en dirección contraria a la de avance de la cinta). Sin embargo, según pudo comprobarse in situ, en momentos del monitoreo, se desarrolló la hipótesis de un sobre dimensionamiento del sistema de forzado de aire, o tal vez una gestión no adecuada de los mismos. El encendido y apagado de estos responde a decisiones del operario a cargo, basadas en su experiencia y disposición. Esta situación es la causal, en base a conversaciones con los empleados del secadero, de variaciones y en algunos casos deterioros de la calidad final del producto obtenido.

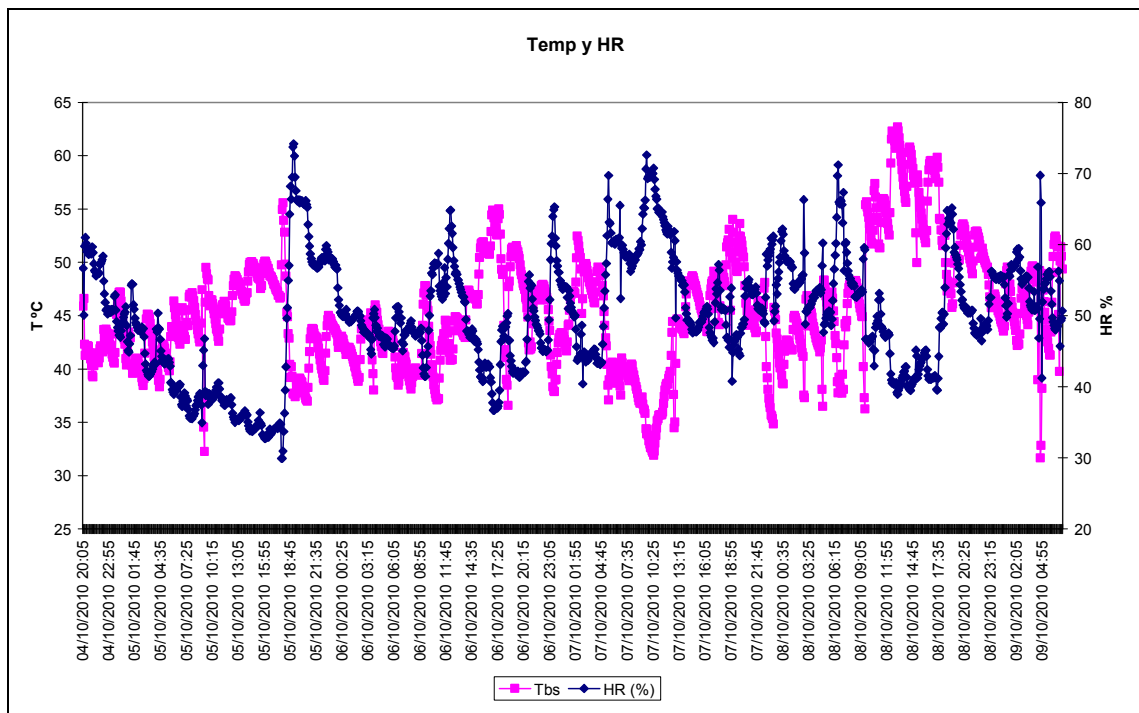


Figura 7 - Mediciones térmicas y de humedad relativa.

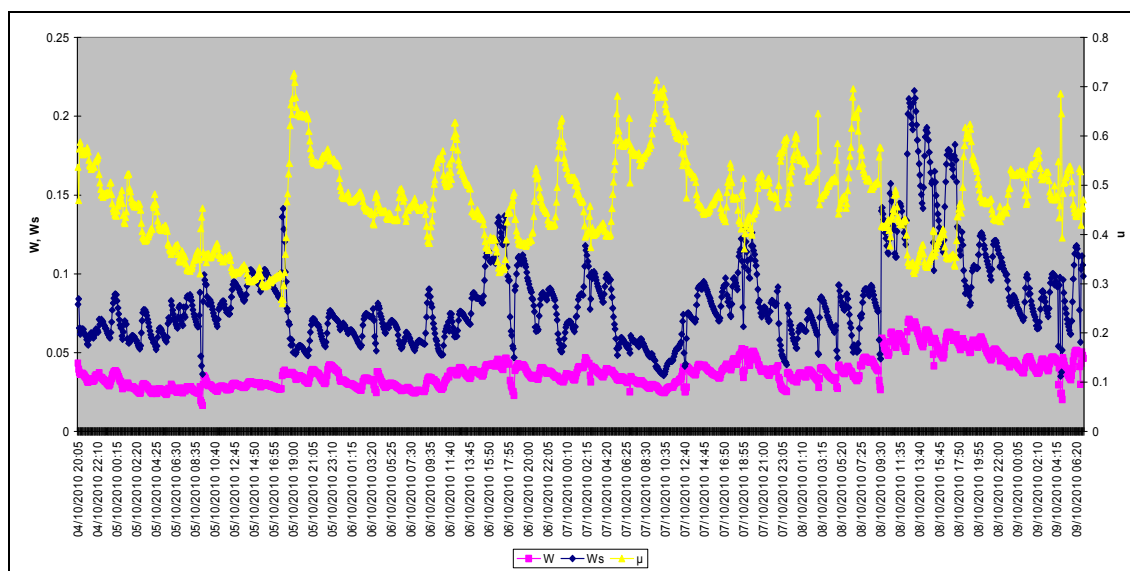


Figura 8 - Contenido de humedad actual medida y su equivalente en la saturación (a la temperatura monitoreada).

Por parte, la variación temporal del contenido de humedad en el secadero, y su equivalente en la saturación a la misma temperatura, demuestran que en ningún punto se llega a saturar el aire en el interior de la cámara de secado. Esta situación deja un margen de potencial susceptible de ser aprovechado para continuar el proceso de deshidratación del producto. También pone de manifiesto la necesidad de contar con diferentes técnicas de manejo y gestión del secadero, tales como aperturas de ventanillas para la salida e ingreso del aire fresco, de manera de alcanzar un aprovechamiento óptimo del mismo.

Monitoreo de la cámara de intercambio

El monitoreo correspondiente a la cámara de intercambio del secadero bajo análisis, fue realizado entre el 7 y 30 de junio del presente año. Se aclara que en la Figura 9, se hace referencia a la temperatura de los “Gases de escape”, sin embargo, esta variable fue evaluada en la cara externa de la tubería que conduce los gases de combustión hacia el exterior.

Las mediciones obtenidas demuestran la existencia de un potencial térmico importante susceptible de ser reaprovechado, representado por las elevadas temperaturas en las cañerías de salida de los gases de combustión. Con valores del orden de 100°C (Figura 9), puede definirse la posibilidad de reutilización de ese calor para ser ingresado nuevamente a la cámara de secado, bajo la forma de aire seco precalentado. La Figura 10 muestra el detalle de las mediciones de temperatura para un día de quemado de leña. En un primer momento los valores registrados en el aire de intercambio son superiores a aquellos tomados en la chimenea de salida de los gases de combustión, sin embargo, a medida que la combustión evoluciona se produce una inversión en las temperaturas.

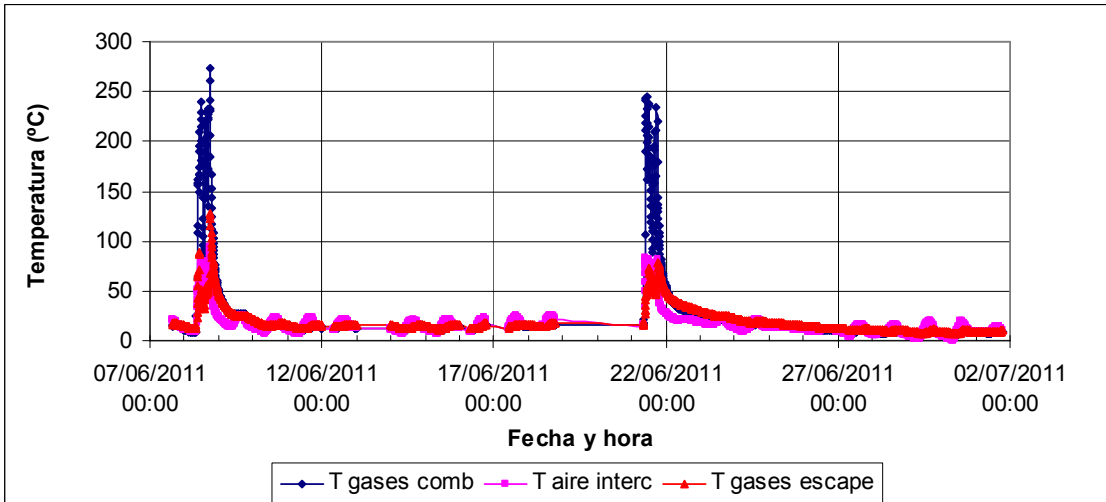


Figura 9 - Temperatura de flujo de aire en el interior del intercambiador, gases de combustión y temperatura de escape de gases en chimenea.

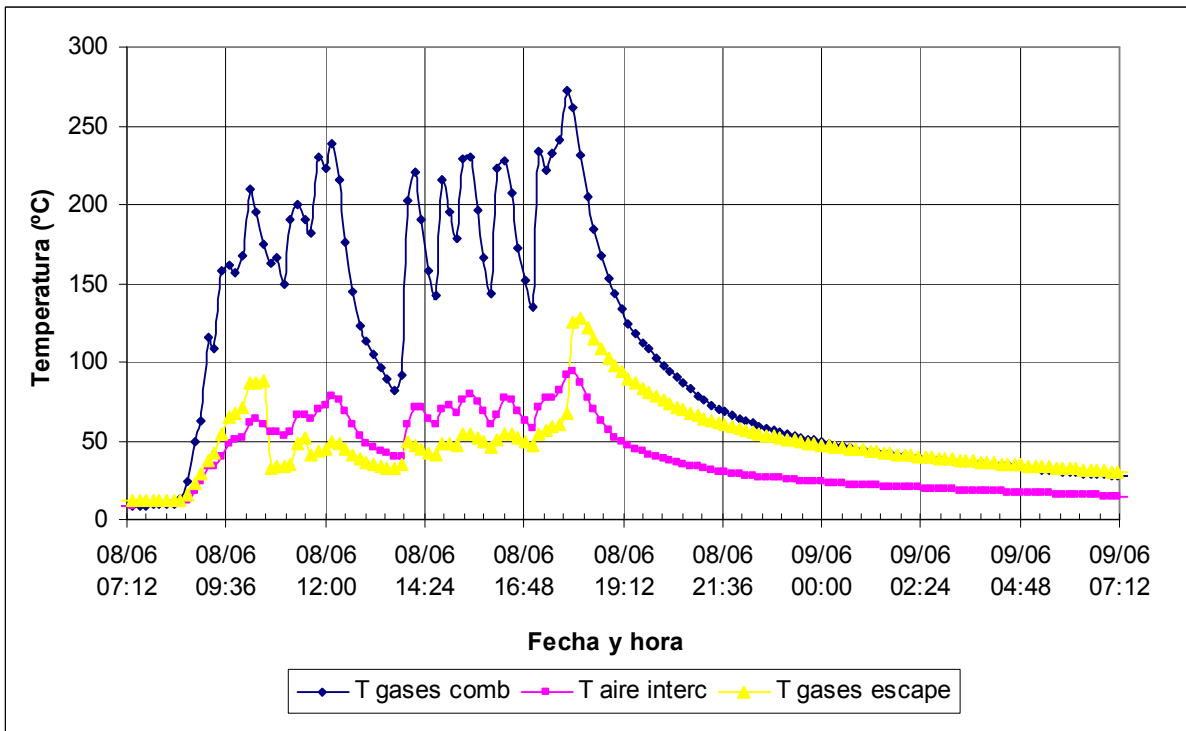


Figura 10 - Temperatura de flujo de aire en la cámara de intercambio de calor, y de gases de combustión.

En lo que se refiere a la loza de la cámara de intercambio, los valores registrados son congruentes con un adecuado desarrollo de flujo en su interior, ante la homogeneidad de las temperaturas. Por otro lado, se considera la existencia de pérdidas térmicas hacia el exterior, aunque las mismas aparentan ser de baja magnitud (Figura 10, Figura 11 y Figura 12). Se aprecia gran influencia en los valores correspondientes a las caras externas de las temperaturas dadas por los ciclos día – noche, más que por la temperatura en el interior del secadero.

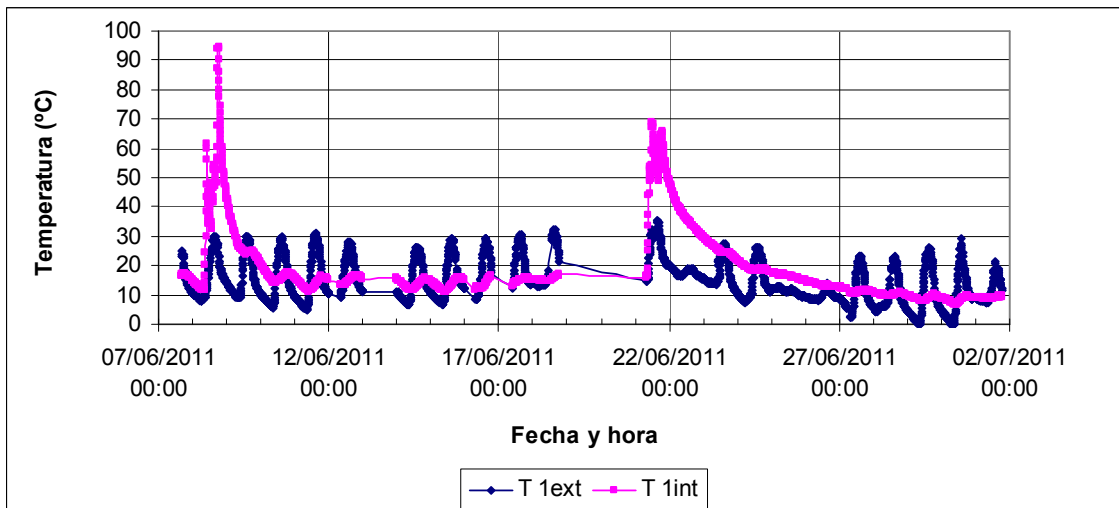


Figura 11 - Temperatura de loza, lado interno de la cámara de secado y lado externo. Posición 1

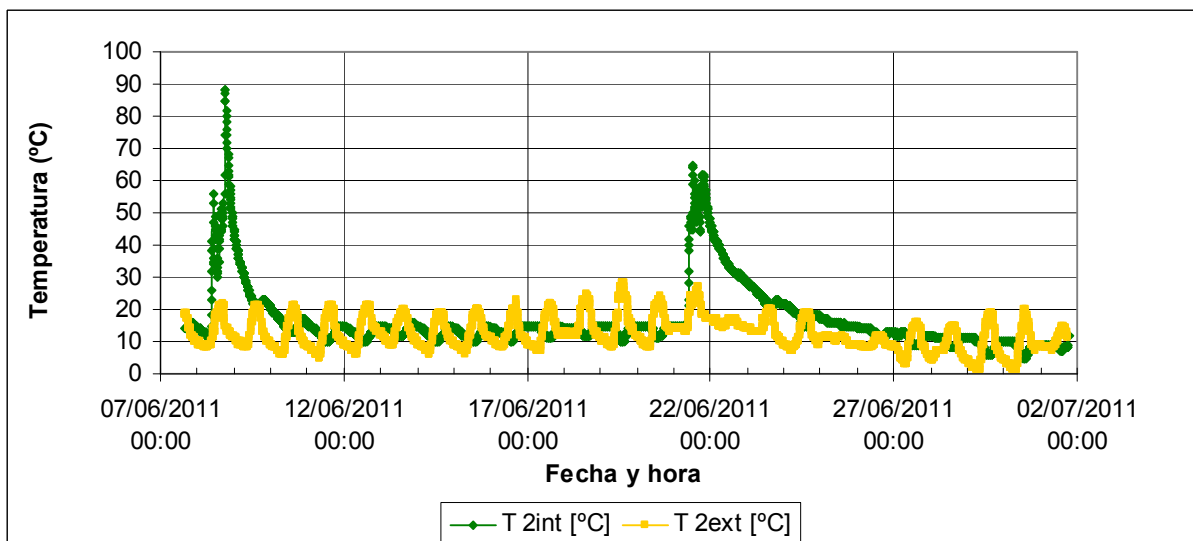


Figura 12 - Temperatura de loza, lado interno de la cámara de secado y lado externo. Posición 2

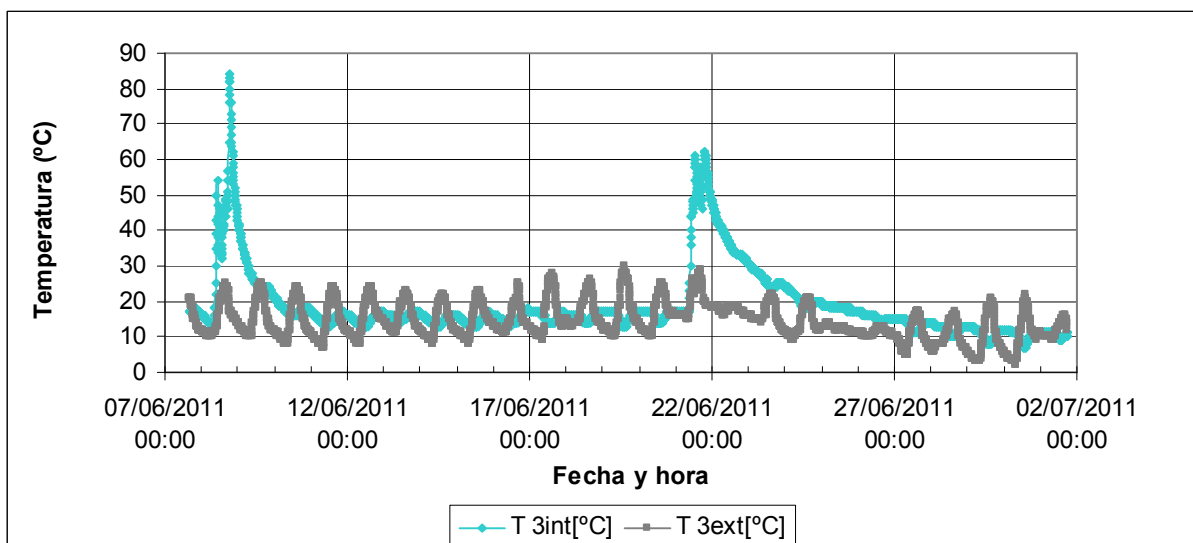


Figura 13 - Temperatura de loza, lado interno de la cámara de secado y lado externo. Posición 3.

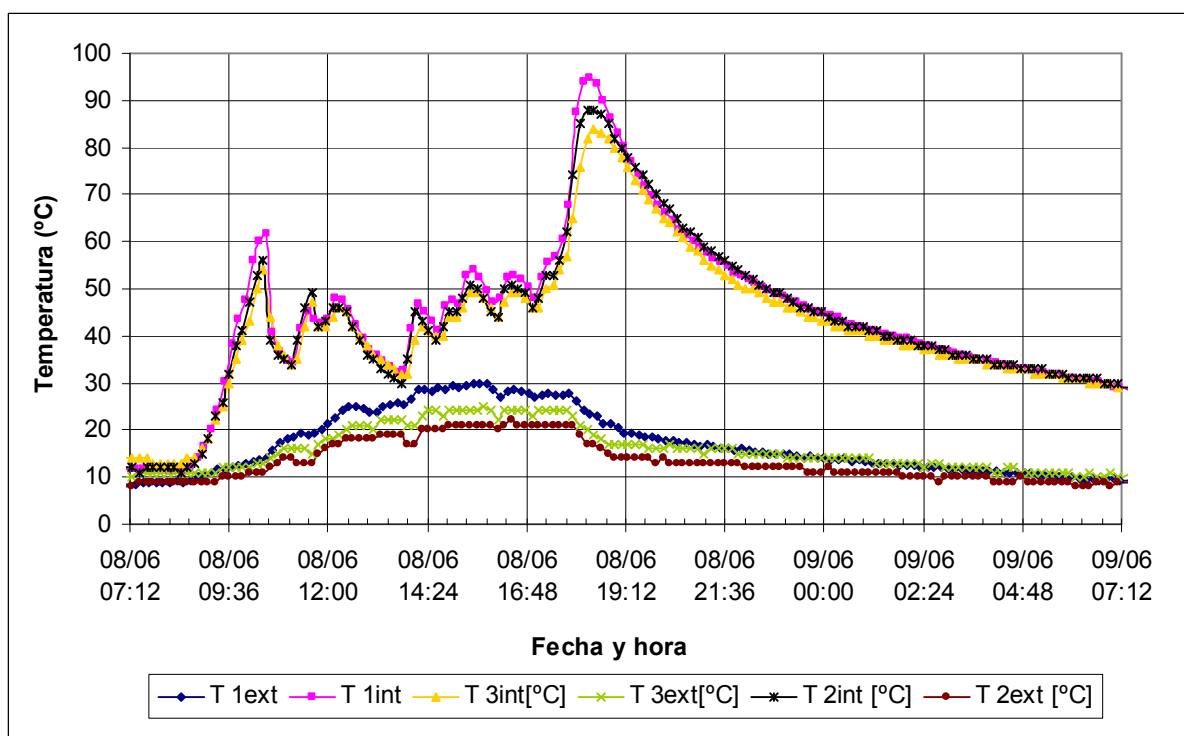


Figura 14 – Temperaturas registradas en las caras internas y externas de la loza, en tres ubicaciones longitudinales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados aquí presentados corresponden al monitoreo de un tipo particular de horno de secado de especies aromáticas. Como ya fue mencionado, la peculiaridad del mismo dificulta la generalización de las recomendaciones enunciadas para el mismo. Los monitores realizados han sido valiosos no solamente para la detección de áreas susceptibles de ser mejoradas sino también para elaborar recomendaciones y evaluar la factibilidad de realizar mejoras.

Entre las recomendaciones se encuentra:

1. En primera instancia, el monitoreo permitió detectar las altas temperaturas de los gases de combustión que son enviados al exterior. Esto destaca la posibilidad de aprovechar térmicamente los mencionados valores. Se propone entonces el aprovechamiento de los mismos mediante la construcción de un sistema de intercambio que posibilite ingresar a la cámara de secado aire seco precalentado. Se considera a esta mejora como de gran repercusión en el consumo de combustible; principalmente si se analiza el hecho de que con una elevación de 15°C del aire de ingreso, con respecto a la temperatura ambiente, se estaría alcanzando aproximadamente la mitad de la temperatura de la cámara en funcionamiento. Se analiza también que esta situación puede representar dificultades en el flujo de los gases de combustión, ante lo cual se considera necesario la incorporación de mecanismos para el forzado del mencionado flujo.
2. En lo referente al sistema de aislación incorporado en la cámara de intercambio, queda por ensayar el secadero con carga (en la próxima temporada productiva), de manera de realizar cálculos de eficiencia, con métodos que permitan cuantificar correctamente la cantidad de combustible consumido. También se recomienda aislar las paredes del horno quemador de leña, con lana mineral. De esta manera se lograría minimizar aún más las pérdidas térmicas, logrando cumplir el objetivo de deshidratación de productos agrícolas con menor consumo de combustible y consecuentemente con menores costos.
3. Durante el primer monitoreo pudo constatare el elevado espesor de la capa de producto fresco, situación desfavorable para asegurar un buen secado. La recomendación en este punto se orienta a una modificación en el sistema de carga del horno. Se propone incorporar un sistema de por lo menos tres cintas transportadoras. De esta manera se reduciría el espesor de material cargado en cada cinta, se facilitaría el flujo de aire a través del producto, acelerando el secado y mejorando su calidad final. Por otro lado, de este modo se estaría aprovechando la totalidad del espacio disponible del horno en altura.
4. Se considera como sobredimensionado al sistema de ventiladores, para este punto la recomendación se halla orientada a una mejora en los sistemas de control de prendido y apagado, y eventualmente de velocidad de motor. Accionar primeramente los ventiladores encargados de la recirculación interna para alcanzar un valor de humedad próximo a la saturación, y luego de esto accionar los ventiladores encargados de remover el aire saturado al exterior y permitir el ingreso de aire fresco. Para ello también tendría que lograrse un mejor sistema de cierre de las

aberturas que permiten tanto el ingreso como la salida de aire del horno. Esto permitiría lograr un valor óptimo de flujo, aumentando la eficiencia del sistema y reduciendo el consumo de electricidad.

5. Se recomienda incorporar un sistema de precalentamiento del aire que ingresa a la cámara de secado, este consistiría en el agregado de colectores solares en techo y/o pared norte del galpón.

Quedan aún por realizarse mediciones del consumo específico de leña (por peso o volumen), de manera de poder concluir un balance energético del secadero y realizar una evaluación financiera de los ahorros reportados por la mejora introducida. Así mismo, ante las recomendaciones surgidas se considera apropiado el análisis de posibles escenarios futuros.

REFERENCIAS

Altobelli F.; Condorí M.; Díaz Russo G. (2010). Evaluación energética de una estufa bulk-curing para secado de tabaco en Salta, Argentina". 2-13 IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, 1 -5.11.2010.

Altobelli F.; Condorí M. (2011) Estudio del desempeño energético de estufas de tabaco tipo bulk-curing. Cuarto Congreso Nacional – Tercer Congreso Iberoamericano, Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN 2011. pp. 14.09. Mar del Plata, Argentina.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición, pp. 54-59. Wiley Interscience, New York.

ABSTRACT

This paper presents the results of an energetic assessment conducted to a dryer of aromatic species located in the province of Salta. This evaluation consisted of two monitoring, the first involved the measurement of thermal and moisture variable of the drying chamber (during a drying process), while the second was concerned with the assessment of the heat exchange chamber of the dryer. From the results obtained a series of recommendations were defined, to reach an optimal use of the dryer and save fuels: use part of the temperature of the combustion gases, add insulation in the furnace burners, improve management in the opening and closing of windows for the entrance and exit of dry air, add automation to the management of flow-forcing fans, finally it is also suggested the addition of a pre-heating system for the dry air entering the dryer.

Keywords: energetic assessment, agricultural dryer and Salta.