

SIMULACIÓN EN LENGUAJE SIMUSOL DEL FUNCIONAMIENTO DE ESTUFAS DE TABACO TIPO BULK CURING

Altobelli, F.; Condorí, M.; Durán, G.

Universidad Nacional de Salta
Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO)
Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina
Tel. 0387-4255325 e-mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

Recibido 16/08/14, aceptado 29/09/14

RESUMEN: Se presentan los resultados del desarrollo de un modelo de simulación térmica para estufas de tabaco Bulk Curing en lenguaje SIMUSOL. A través de la separación en tres circuitos: térmico, de masa, e intercambiador-quemador; fueron simuladas las etapas del curado de tabaco correspondientes al amarillamiento y al secado de nervadura. Estas etapas fueron elegidas al representar mesetas térmicas, siendo omitida la rampa específica de deshidratado. Como variables de salida se solicitaron las temperaturas en el interior de la cámara de secado y los flujos del quemador. El ajuste del modelo propuesto fue verificado comparando los resultados con datos obtenidos empíricamente. A continuación se evaluaron medidas de ahorro energético como inclusión de aislación térmica basal y reducción de puentes térmicos; y la incorporación de un sistema solar de precalentamiento de aire. Los ahorros simulados rondan el 20%; resta incorporar las etapas faltantes logrando simular el proceso completo.

Palabras Clave: estufas de tabaco, simulación, tabaco Virginia, SIMUSOL

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola de tabaco tipo Virginia se diferencia de otro tipo de producciones al requerir una etapa de curado en estufas de las hojas, previo a su comercialización. En esta fase se producen una serie de cambios físico-químicos en dichas hojas llevándolas a lograr las características de color, aroma y textura deseadas. Más del 80% de las estufas de tabaco en uso del Valle de Lerma corresponde al modelo Bulk Curing, siendo aprovisionadas en su mayoría por gas natural (Dib-Ashur, 2013; Rodríguez Faraldo M., 2012). La sostenibilidad en el tiempo de los importantes beneficios sociales y económicos que la actividad tabacalera representa en nuestra región, se ve amenazada frente al inexorable agotamiento y encarecimiento de los combustibles fósiles. Sumado a esto, la mayor conciencia ambiental exige el desarrollo e inserción de fuentes de energía alternativas, limpias y sustentables (Altobelli, Vicente, Díaz Russo, & Condorí, 2013).

En trabajos anteriores se reportó la existencia de pérdidas térmicas detectadas durante la medición de las estufas, dicha situación supone la posibilidad de mejorar la eficiencia energética de las mismas (Altobelli, Condorí, Díaz Russo, & Durán, 2010; Altobelli, Condorí, Durán, & Díaz Russo, 2011). Si bien pudieron mencionarse varias opciones para llevar esto a cabo (Altobelli, Vicente, Díaz Russo, & Condorí, 2013), solamente conociendo la magnitud del ahorro, es que se pueden proponer las mismas. El beneficio de los programas de simulación se halla en que permiten analizar sistemas complejos cuyo estudio no sería factible por vía analítica (Alia, Saravia, & Saravia, 2012; Watkins & García, 2011). Resulta entonces conveniente el contar con una herramienta de simulación que primeramente demuestre buen ajuste con el comportamiento del dispositivo bajo estudio, y que sirva luego para evaluar los cambios propuestos. De esta forma, la aislación basal y de suelo, cambios en las paredes, eliminación de puentes térmicos y hasta la incorporación de energía solar térmica, pueden ser analizadas.

La simulación del secado de productos agrícolas requiere disponer de información sobre el comportamiento del producto cuando pasa el aire caliente sobre el mismo, necesiándose conocer la pérdida de masa de agua, la temperatura y humedad del aire caliente y la temperatura del producto (Saravia, 2010). Una de las mayores dificultades que se plantean para el caso del tabaco Virginia, se asocia al hecho de no contar este producto con una curva característica de deshidratado. Asimismo, representa un verdadero desafío el simple hecho de que el “curado del tabaco” no es un proceso que implique solamente deshidratado de las hojas.

Se presenta el modelo y simulación realizados para una estufa de tabaco de tipo Bulk Curing. Se parte para ello de un modelo que contiene a los componentes principales de la misma: quemador, intercambiador, cámara de secado y producto. Para el caso de las hojas de tabaco Virginia, solamente se cuenta con una curva teórica de definición de etapas, la que se siguió como característica. Fue necesario también incluir un circuito de representación del termostato. Finalmente, a partir del mencionado modelo, fueron evaluados las propuestas de ahorro y los resultados a lograr de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Simulación bajo SIMUSOL

Para la simulación de la estufa, se empleó el software de simulación de circuitos térmicos SIMUSOL. Dicho software de uso libre, fue desarrollado por los investigadores del INENCO L. Saravia, D. Alía y D. Saravia (Alía, Saravia, & Saravia, 2012). Disponible bajo plataformas Linux, emplea la analogía entre los circuitos eléctricos y los térmicos, permitiendo simular estos últimos de manera rápida (Saravia & Saravia, 2000; Durán G. , 2013). El software Dia, también de uso libre, es utilizado en la entrada gráfica de SIMUSOL para diagramar los circuitos térmicos (Durán G. , 2013).

El modelo desarrollado se basó en una estufa Bulk Curing de dimensiones y con una carga de tabaco similar a las reales. Con el fin de simplificar la descripción del modelo logrado, se procedió a dividir el sistema en tres circuitos: térmico, de masa y termostato-quemador.

Dados los resultados de las mediciones realizadas durante las auditorías a las estufas de tabaco (Altobelli, Condorí, Diaz Russo, & Durán, 2010), se observó que las variaciones en altura o a lo largo de la cámara no son significativas, por lo que se adopta un modelo de un solo nodo de temperatura para toda la masa de hojas. En el mismo sentido se buscó simplificar el modelo asignando nodos de temperatura únicos para el techo, paredes laterales, mampostería basal y suelo. Para la confección del modelo se siguieron los trabajos realizados por (Saravia, Alía de Saravia, & Sánchez, 2007; Saravia L. , 2010) y por (Durán & Condorí, 2009).

Entre las ecuaciones que rigen el secado del producto son dos: la velocidad de secado R (ec. 1), y la ecuación diferencial del balance térmico del producto (ec. 2):

$$R = hd * At * (Wps(Tp) - Wc) \quad (1)$$

Se supone que el proceso de pérdida de vapor del producto hacia la cámara se realiza por la superficie de hojas, desde el aire saturado en contacto con el líquido que se encuentra a la temperatura de las hojas, hacia el aire húmedo de la cámara con una humedad absoluta Wc .

$$(Cps + Cpa * X) * Ms * \left(\frac{\Delta Tp}{\Delta t}\right) - hfg * R = At * hc * (Tc - Tp) \quad (2)$$

A la derecha de la ecuación (ec. 2) se expresa la transmisión de calor desde el aire al producto a través de la superficie de las hojas para esta transferencia. El primer término de la izquierda de esta misma expresión se refiere al calor acumulado en la masa del producto, mientras que el segundo término representa el calor utilizado en el cambio de fase de la evaporación del agua.

Según Threkeld, (1973), la humedad absoluta de una mezcla de aire W puede ser expresada en función de su temperatura T (°C) y humedad relativa Hr (ec. 3, 4, 5):

$$ps(T) = 610,7 * 10 * \left(7,5 * \frac{T}{273+T}\right) \quad (3)$$

$$Ws(ps, Pa) = 0,622 * ps / (Pa - ps) \quad (4)$$

$$W = Hr * Ws(ps) \quad (5)$$

Con respecto a los coeficientes de difusión y convección, ambos coeficientes fueron estimados y considerados constantes para los periodos simulados, en este caso el inicial y el final. En las etapas intermedias la variación de los mismos es significativa y producida por los cambios en el contenido de agua del producto a lo largo del secado. Dado que no se cuenta con una curva experimental para representar estos periodos no se realizó su simulación. Desde el punto de vista del ahorro energético el periodo final, donde las temperaturas de la cámara son más altas, es también el más importante. En consecuencia, la metodología que se ha seguido fue simular y analizar el periodo final y el inicial donde estos coeficientes pueden ser considerados constantes.

Las áreas de difusión térmica y de agua fueron consideradas iguales y constantes. Para su estimación se consideró un área promedio de hoja igual a $0,1 \text{ m}^2$, y dado que por cada kg de tabaco fresco implica tener aproximadamente 30 hojas, se empleó para la primera etapa de estufado un valor constante de 30000 m^2 para la carga total de 10 toneladas.

Circuito de masa

El “circuito de masa” contempla las interacciones de humedad que se producen al deshidratar un producto vegetal. Entre ellas se encuentran las variaciones de la humedad de la cámara y la del contenido de agua de las hojas, que determinarán la tasa a la cual se producirá la evapotranspiración de las mismas. En el circuito existen nodos para la humedad específica del aire que ingresa a la estufa ($Wcol$), para el aire en la estufa (Wca) y para la humedad del aire saturado a la temperatura del producto (Wpr). Por otro lado, contempla también el ingreso de masa de agua desde el exterior a través del flujo $FW1$, mientras que en

la estufa el contenido de humedad se eleva por el aporte de vapor desde la carga. La transferencia de humedad de las hojas a la estufa es impulsada por la diferencia de potencial entre W_{pr} y W_{ca} , que a su vez está regulada por la resistencia Dif de acuerdo a la ecuación (1).

En la primera etapa del estufado, debido a que se realiza una recirculación del aire, las humedades W_{col} y W_{ca} son iguales; la evaporación desde las hojas es pequeña ya que W_{ca} se satura rápidamente y es por esta razón que se considera una pérdida de agua del orden del 10 % del valor inicial. En la última etapa de estufado, si bien los potenciales de secado pueden ser elevados, es la resistencia al secado Dif la que se amplía, amesetando así las curvas de pérdida de agua del producto.

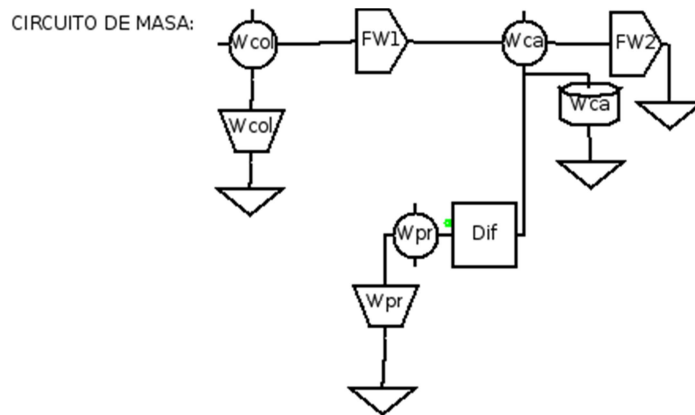


Figura 1: Sistema planteado en software Dia para simular la porción del circuito de masa del comportamiento de la estufa con SIMUSOL.

Circuito térmico

Como circuito térmico, fue considerada la cámara de secado propiamente dicha de la estufa. El mismo contempla los aspectos asociados al ingreso de aire fresco a la estufa (nodo 5), su calentamiento a partir del quemador (nodo 6), el flujo de ingreso de aire caliente a la cámara de secado (nodos 1 y 2), el intercambio de calor del aire con la carga de hojas de la estufa (nodo 3), la porción de aire que se recircula (nodo 4). Para la primera etapa de estufado, como sólo se produce recirculación de aire húmedo, los flujos máscicos que conectan los nodos de temperatura son iguales y constantes, siendo nulos los flujos de entrada y salida. Para la última etapa de estufado los flujos de entrada y salida son iguales y distintos de cero, resolviéndose por balances de masa el valor final de recirculación.

Para considerar las mejoras a implementar respecto a las pérdidas térmicas: se consideran ramas desde el nodo 2 hacia el suelo húmedo y hacia la mampostería basal. Desde el nodo 3 se consideran pérdidas a través de las paredes laterales de chapa galvanizada y a través de la estructura por medio de puentes térmicos; y desde el nodo 4 a través del techo. El nodo 3 es el que está en contacto con la carga de las hojas que se representan por el nodo de temperatura de producto "pro"; se contemplan intercambios térmicos y de calor por evaporación entre el nodo 3 y la temperatura del producto. Todas las pérdidas se consideran hacia el nodo de temperatura ambiente, salvo la de suelo para la que se considera una fuente a la temperatura ambiente media anual del lugar en una profundidad de 2 m.

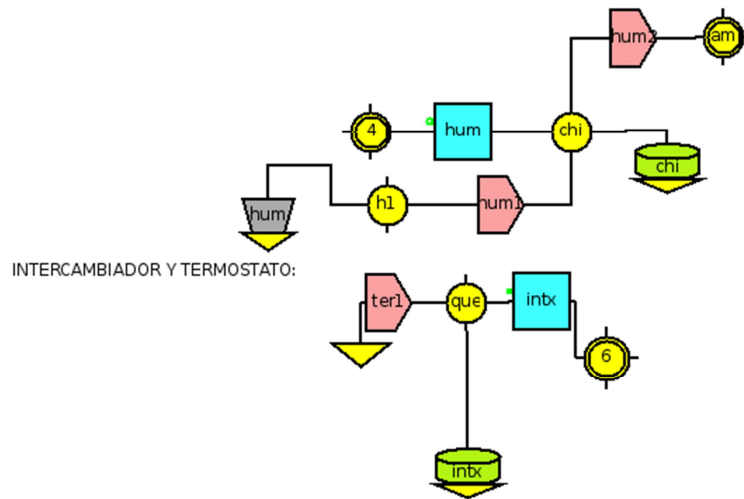


Figura 3: Sistema planteado en software Dia para simular la porción del circuito intercambiador y termostato del comportamiento de la estufa con SIMUSOL.

RESULTADOS

Primera meseta: Amarillamiento

La primera etapa de amarillamiento fue simulada como una meseta térmica. Durante las 48 horas que comprende esta fase, la temperatura del interior de la cámara es controlada por el termostato y generalmente fijada en 35 ± 1 °C. En esta etapa la temperatura de la estufa se mantiene constante y es realizada prácticamente sin evaporación de agua desde las hojas debido a la recirculación sin ingreso de aire ambiente que se produce. Siguiendo esto, se consideró para toda la etapa una pérdida de peso lineal y del orden del 10% de la masa inicial.

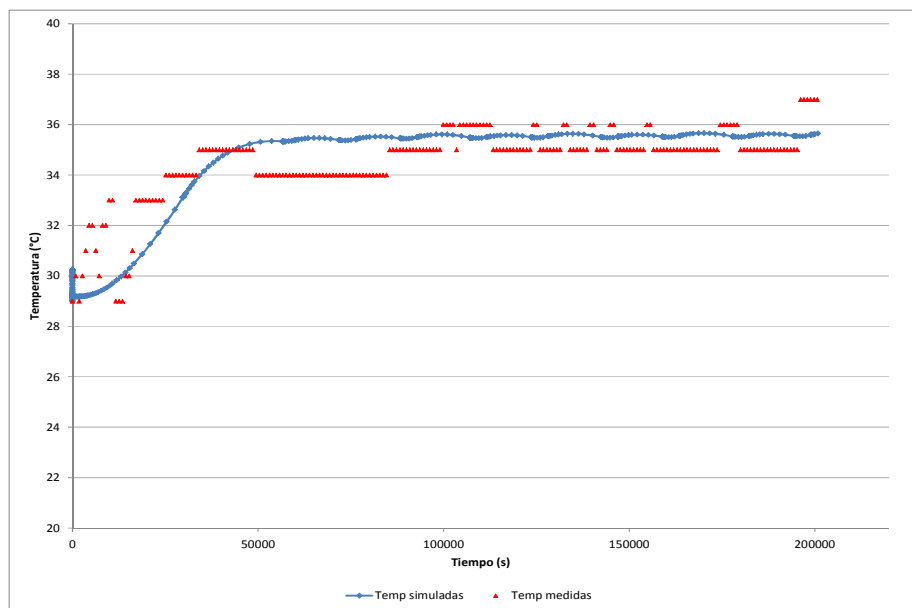


Figura 4: Curvas de temperatura simuladas y medidas del interior de la estufa durante el amarillamiento.

En la Figura 4, combinando los valores medidos en estufas en funcionamiento y los resultados de la simulación puede observarse un ajuste adecuado entre las curvas. Se entiende que los valores medidos corresponden a la temperatura del aire en el interior de la cámara de secado, muy próxima a las hojas. Este valor no representa la temperatura de las hojas de tabaco. Es por esto, que se puede comparar estos datos (puntos rojos en el gráfico) con el nodo 3 de temperatura de la simulación. Las fluctuaciones que se aprecian corresponden a los ciclos de encendido y apagado del quemador, regido por el termostato. Estas ondulaciones han sido también registradas en las experiencias a campo.

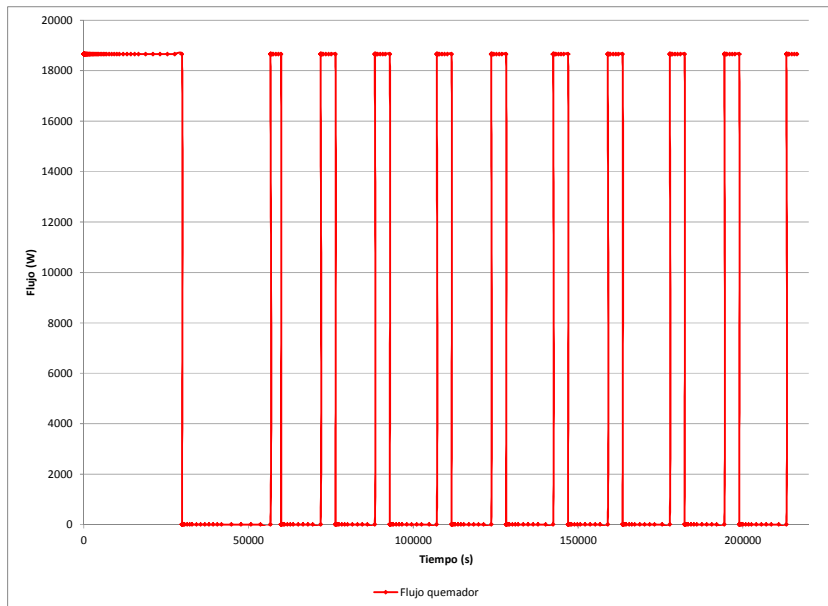


Figura 5: Flujo de calor del quemador simulado para la etapa de amarillamiento.

Con respecto al flujo del quemador, los escalones presentes en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, representan los ciclos de encendido y apagado del quemador. Esta situación también condice con lo que ocurre en las estufas durante su funcionamiento. El consumo total de energía simulado para esta etapa es del orden de 1348,34 MJ. Se consideró un descenso de peso inicial del orden del 10% en esta etapa, basando este valor en los datos medidos durante un ensayo de laboratorio. Por esta razón, al evaluar el flujo de vapor resultante de las hojas (RDif para el modelo), se obtiene un valor bajo durante los primeros minutos de la simulación, y al llegar a la saturación el mismo desciende hasta anularse.

Segunda meseta: Secado de nervadura

El “secado de nervadura” o “secado de vena” representa el final del proceso de curado. Con temperaturas que oscilan entre 70-75 °C, implica la deshidratación de las nervaduras de las hojas. El contenido de humedad de las mismas es reportado para esta etapa como del orden del 30-25% del peso inicial. Se interpreta que como consecuencia de los valores altos de pérdidas, por la mayor temperatura, el termostato debe encenderse con mayor frecuencia y las curvas de temperatura medidas y simuladas presentan numerosas y pequeñas oscilaciones.

Por otro lado, la masa de hojas ha sido reducida en esta etapa hasta aproximadamente un 25% del valor original como consecuencia del secado de lámina. Esta situación da origen a que, ante la menor masa de carga, la inercia térmica del sistema disminuye y las respuestas son más rápidas por lo que se requiere encender numerosas veces el quemador con el fin mantener la temperatura deseada.

A diferencia de la meseta anterior, en este caso se consideró la existencia de un flujo de aire ambiente que ingresa a la estufa, y desde la cual también se ingresa un cierto flujo de aire más seco. Con un valor del orden de 0,6 m/s, este dato fue tomado de mediciones realizadas durante el monitoreo a campo de estufas (Altobelli, Condorí, Diaz Russo, & Durán, 2010).

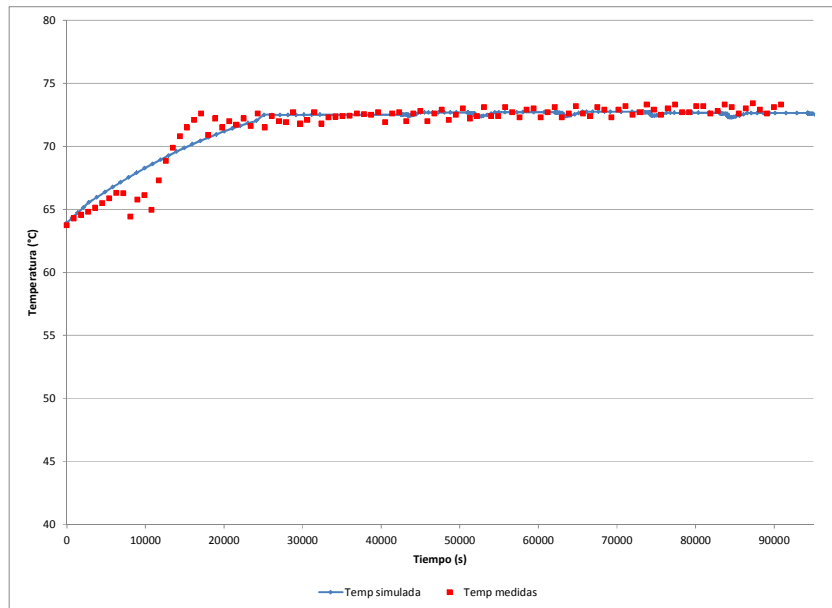


Figura 6: Curvas de temperatura simuladas y medidas del interior de la estufa durante el secado de vena.

El resultado del ajuste entre valores simulados y medidos para esta etapa se muestra en la Figura 6, donde se quitaron los datos simulados iniciales transitorios que presenta una simulación sin historia térmica anterior. Como se observa el ajuste es muy bueno, donde se ha colocado el termostato de la simulación en 73 ± 1 °C.

En la Figura 7 se observa que se requiere mayor tiempo encendido al termostato en las 25 horas simuladas de funcionamiento. El consumo total de energía simulado para esta etapa es del orden de 2275,79 MJ.

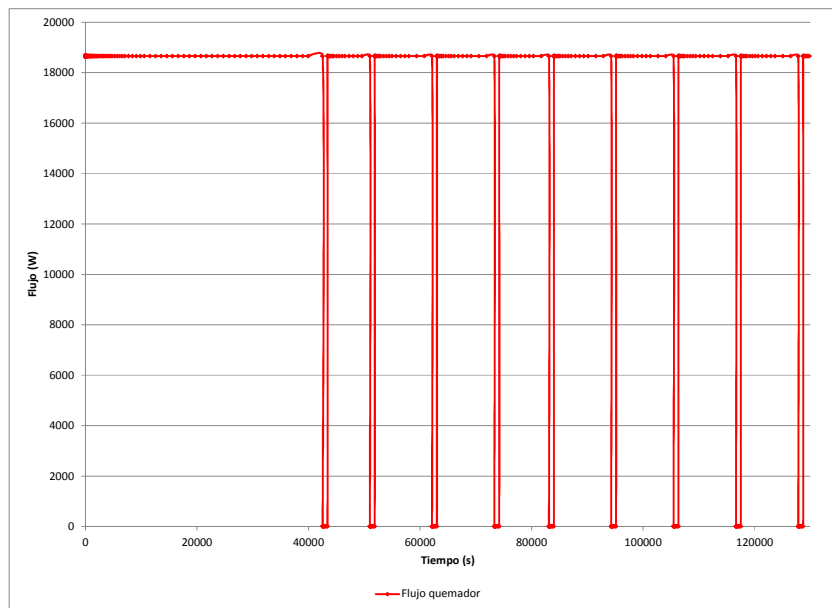


Figura 7: Flujo de energía proveniente del quemador ante ciclos de encendido y apagado durante el secado de vena.

Evaluación de mecanismos de ahorro e inclusión de energía solar

Luego de verificar el ajuste del modelo con datos obtenidos empíricamente, se procedió a incorporar en la simulación mecanismos de ahorro energético así como la inserción de energía solar térmica.

Como mecanismos de ahorro, se consideró la inclusión de aislación térmica para el suelo desnudo de la estufa con 5 cm de poliestireno expandido y una capa de hormigón (10 cm de espesor) por encima. Del mismo modo, se incluyó la eliminación de un 90% de los puentes térmicos, considerando una estructura mejorada de la aislación de las paredes de chapa, y la inclusión de aislación también de 5 cm de poliestireno expandido en las paredes basales de mampostería, por la cara exterior, considerando la conductividad del poliestireno igual $0,03$ W/m °C de acuerdo a tablas de normas IRAM 11601.

La incorporación de energía solar fue planteada a partir de un sistema colector, que funcione en circuito cerrado. Se consideró el aprovechamiento de la superficie del techo de las estufas (36m²) como áreas de coleccion, de manera de abaratar y facilitar la conversión de los dispositivos actuales. El hecho de considerar el circuito cerrado se encuentra basado en evitar la introducción de flujos másicos a la estufa que puedan llegar a alterar el balance de masas del proceso.

Se tomó como parámetro de irradiación solar un valor medio diario de 17 MJ/m², se consideró una entrada constante equivalente a distribuir este valor durante el día, obteniendo un resultado de 196,76 W/m². Se tomó un valor conservativo de eficiencia de este sistema del orden de 0,4 considerando un colector sencillo de mediana eficiencia.

Ahorros para la etapa de amarillamiento

Para la etapa de amarillamiento los resultados de la simulación demuestran ahorros del orden del 7% mediante la inclusión de aislación basal y eliminación de puentes térmicos. Sin embargo, al simular la incorporación de un sistema solar térmico, dicho ahorro se eleva al 57%. Este gran porcentaje de sustitución de fuente térmica es explicado por la proximidad de la temperatura requerida para el proceso de amarillamiento y la temperatura de salida de un colector solar bajo las condiciones ambientales del verano en Salta (Tabla 1y Figura 8).

Consumo inicial		Con Aislación		Con Aislación y Colector	
MJ	%	MJ	Ahorro	MJ	Ahorro
1348,34	100%	1259,42	7%	573,14	57%

Tabla 1: Análisis energético de los ahorros logrados con aislación y asistencia solar para la etapa de amarillamiento.

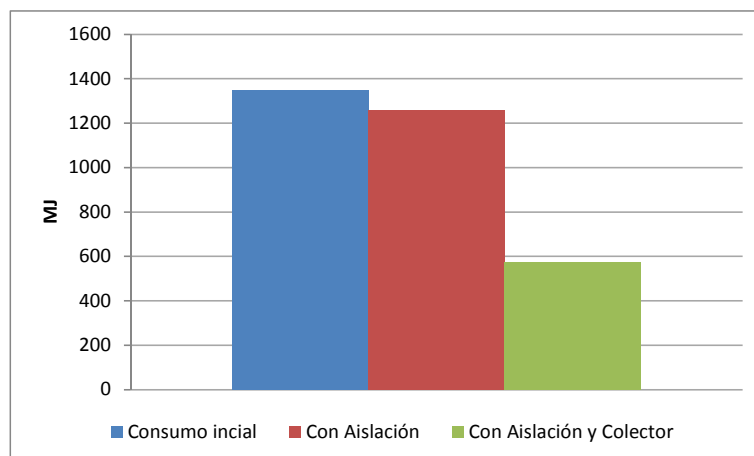


Figura 8: Consumos comparados del quemador simulado para la etapa de amarillamiento: inicial, con aislación y con asistencia solar.

Ahorros para la etapa de secado de vena

Para el secado de vena, la simulación arrojó valores de ahorro similares a los de la etapa de amarillamiento para el caso de incorporación de aislación. Sin embargo, al simular la incorporación de un sistema auxiliar térmico solar, los ahorros bajaron al 20%. Se interpreta a este porcentaje menor debido a que las temperaturas de la etapa de secado de vena son cercanas a los 75 °C, y en dicho caso el sistema solar solamente puede lograr una sustitución parcial de fuente térmica (Tabla 2 Figura 9).

Consumo inicial		Con Aislación		Con Aislación y Colector	
MJ	%	MJ	Ahorro	MJ	Ahorro
2275,79	100%	2140,58	6%	1814,57	20%

Tabla 2: Análisis energético de los ahorros logrados con aislación y asistencia solar para la etapa de secado de vena.

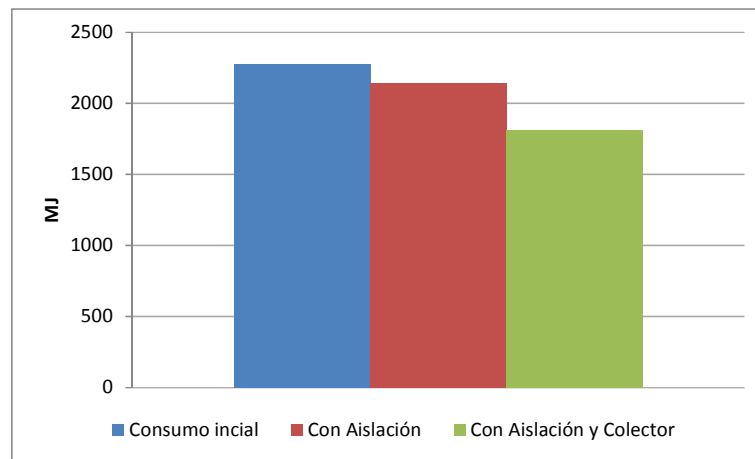


Figura 9: Consumos comparados del quemador simulado para la etapa de secado de vena: inicial, con aislación y con asistencia solar.

CONCLUSIONES

A partir de la comparación de los resultados de la simulación propuesta y las mediciones efectuadas a campo, pudo detectarse buenos ajustes entre las curvas de temperatura. De esto se desprende la robustez del modelo para simular el comportamiento de estufas de tabaco de tipo Bulk Curing. La mayor dificultad enfrentada en el momento de encontrar un modelo de ajuste fue el hecho de que el tabaco no cuenta aún con curvas de secado obtenidas en laboratorio. Esto sumado a las variaciones que suponen en el normal desenvolvimiento del curado, las distintas posiciones foliares de las hojas, variedades de tabaco, condiciones ambientales, y manejo del proceso. La opción de tomar solamente dos mesetas térmicas, fue considerada para superar estos obstáculos.

La potencialidad de contar con un modelo ajustado de simulación de la estufa se encuentra en la posibilidad de efectuar análisis en detalle tanto de sistemas de ahorro como de opciones de optimización del curado. Para el primer caso, regulando los materiales de la envolvente de la estufa, fue posible analizar el consumo del quemador ante estos cambios, reflejados en ahorros de energía (W). Para ambas mesetas, dichos ahorros se encontraron en el orden del 7%. Este valor es inferior a aquel medido a campo ante la aislación del suelo de una estufa (Altobelli, Vicente, Díaz Russo, & Condorí, 2013). Se interpreta como causa de esta discrepancia el hecho de existir otros aspectos que en la práctica pueden llegar a reducir las pérdidas térmicas estimadas por el modelo tales como la cercanía entre dispositivos.

Otro punto de interés que surge de la aplicación del modelo es la evaluación de un sistema de calentamiento solar como fuente térmica auxiliar. Se parte de la propuesta de un área de colección igual a la del techo de la estufa. Esta propuesta se basa en la idea de lograr una alternativa sencilla y de bajo costo para convertir las actuales estufas. El sistema solar analizado es de tipo radiador, de manera de evitar incorporar flujos máscicos que alteren el balance de masas normal del proceso de curado. Los resultados de la simulación demuestran claramente ahorros en los flujos de energía que son liberados por el quemador en ambas etapas estudiadas. Para el caso del amarillamiento, y dado que las temperaturas requeridas son inferiores a las características temperaturas de salida de este tipo de sistemas solares, los ahorros son significativamente mayores. Con un porcentaje del 57%, implicaría el reemplazo en el consumo de gas natural durante más de la mitad del tiempo que requiere esta etapa. Para el secado de nervadura, y dado que la temperatura de referencia es de 70-73°C, los ahorros son menores, alcanzando un 20%. Si bien todos los resultados aquí obtenidos surgen de un modelo de simulación, el buen ajuste con las curvas de temperatura medidas a campo, supone un buen ajuste de dichos resultados. Los porcentajes de ahorro pueden compararse con aquellos logrados con un prototipo de laboratorio, donde la sustitución por energía solar alcanzada para todo el curado se halló entre 20-25%.

Uno de los puntos que requiere ser estudiado con detenimiento es el flujo de aire óptimo que circula forzado por la estufa, y los flujos de ingreso y salida de aire durante las etapas de deshidratado de hoja. Para el modelo fueron incorporados valores registrados a campo. Sin embargo, al consultar a los productores, estos desconocen los valores de flujo con los que actualmente trabajan las estufas, y cuáles serían los de referencia. Queda por analizar este aspecto con el modelo de simulación propuesto. Con estos datos sería factible regular el tipo y tamaño del motor a utilizar, así como la apertura de las puertas de ingreso de aire ambiente.

REFERENCIAS

- Alia, D., Saravia, L., & Saravia, D. (2012). Simusol: Simulating thermal systems using Sceptre and Dia. *Journal of Free Software and Free Knowledge*(1).
- Altobelli, F., Condorí, M., Díaz Russo, G., & Durán, G. (2010). Estudio del desempeño energético de una estufa de secado de tabaco. Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(14), 07.41-07.48.

- Altobelli, F., Condorí, M., Durán, G., & Díaz Russo, G. (2011). Determinación de pérdidas térmicas estructurales en estufas de tabaco tipo bulk-curing en la provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(15), 07.47-07.53.
- Altobelli, F., Vicente, P., Díaz Russo, G., & Condorí, M. (2013). Evaluación de sistemas de ahorro energético en estufas de curado de tabaco tipo Bulk Curing. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 17, 07.37-07.44.
- Dib-Ashur, H. (2013). *Estimación y Aplicación de Huella de Carbono en la Producción Tabacalera del Valle de Lerma, Salta*. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Durán, G. (2013). Estudio estacional de un sistema solar activo de generación de aire caliente para la agroindustria. Salta: Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de Salta.
- Durán, G., & Condorí, M. (2009). Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 13, 08.121-08.129.
- Rodríguez Faraldo, M., & Zilocchi, H. (2012). *Historia del cultivo del tabaco en Salta*. Argentina: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Saravia, L. (2010). Anexo 4. La simulación de secadores solares. En R. Espinoza, & L. Saravia (Edits.), *Secado de productos agroalimentarios en Iberoamerica* (págs. 343-357). Salta: CYTED Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Saravia, L., & Saravia, D. (2000). Simulación de sistemas solares térmicos con un programa de cálculo de circuitos eléctricos de libre disponibilidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 8.17-8.29.
- Saravia, L., Alía de Saravia, D., & Sánchez, B. (2007). El diseño de secadores solares usando las curvas de secado del producto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 11, 02.01-02.07.
- Threkeld, J. (1973). *Ingeniería del ámbito térmico*. Prentice Hall.
- Vicente, P. (2013). *Sistemas de ahorro energético para estufas Bulk-curing en el curado de tabaco Virginia, en el Valle de Lerma, Salta*. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- Watkins, M., & García, V. (2011). Simulación de sistemas de aprovechamiento térmico mixto con control automático. *Aportes Científicos en PHYMATH*, 1(1), 79-97.

ABSTRACT: The results of the development of a thermal simulation model of Bulk Curing tobacco barns in SIMUSOL language are presented. The tobacco curing stages corresponding to yellowing and drying rib were simulated through the separation of three circuits: heat, mass, and heat exchanger-burner. The selection of these stages was performed considering that both represent thermal plateaus, and the lack of precise information on tobacco leaves weight loss curves. It was omitted from the simulation the specific dehydration ramp. As model output variables requested were the temperatures inside the drying chamber, and burner flows. The proposed model fit was then verified by comparing the results with data measured in the field. After checking the previous mentioned adjustment, energy saving measures was evaluated, such as the inclusion of basal thermal insulation and reduction of thermal bridges; and the addition of a solar air preheating system. The simulated savings were around 20%; remains to incorporate the missing stages achieving simulate the whole process.

Key words: Energy saving, tobacco's barn, Virginia tobacco