

INCORPORACIÓN DE UN SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE AIRE EN UNA ESTUFA DE CURADO DE TABACO

Fabiana Altobelli¹, Miguel Condorí¹, Gonzalo Durán¹, Ileana Cruz¹

¹Grupo de Eficiencia Energética y Desarrollo Socio-Productivo (GEEDESP) – Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta

Tel. 0387-4258709 e-mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

RESUMEN: En la región NOA de Argentina, y específicamente en la provincia de Salta, la actividad tabacalera se encuentra concentrada en la producción de tabaco Virginia, caracterizada por requerir una etapa de curado de las hojas en estufas. Se presentan los resultados obtenidos a partir de la intervención de una estufa de curado de tabaco de tipo *bulk-curing* ubicada en la localidad de Vaqueros, Salta. Un sistema de precalentamiento de aire conformado por colectores solares y recuperación de calor residual del humo del quemador fue instalado en los techos de la estufa. Los resultados de los ensayos preliminares demuestran que se puede lograr un ahorro estimado del orden del 40% comparando los valores de temperatura de salida del aire del sistema propuesto con lo requerido por el proceso de curado y el ambiente. Se evalúa financieramente los valores de la inversión con el ahorro en el consumo, refiriendo un tiempo de recupero inferior a las 3 campañas considerando tarifas internacionales de gas.
Palabras clave: tabaco, eficiencia energética, energía solar.

INTRODUCCIÓN

La actividad tabacalera en la provincia de Salta y en la región NOA Argentina, se encuentra mayormente concentrada en la producción de tabaco Virginia (*flue cured*); la cual se caracteriza por requerir una etapa de curado de las hojas cosechadas como fase previa a su venta a las industrias. Este proceso, que forma parte de la etapa de “Producción primaria” según datos del Ministerio de Hacienda de la República Argentina (Ministerio de Hacienda, 2019), se lleva a cabo en estufas, donde el modelo de mayor difusión y penetración en el sector corresponde a las llamadas estufas “*bulk-curing*” (Rodríguez Faraldo y Zilocchi, 2012). El curado del tabaco constituye una etapa crítica en su producción, ya que determina la calidad y las características organolépticas finales del producto. Desde un punto de vista energético, se caracteriza por presentar un consumo energético intensivo tanto térmico como eléctrico. La crisis energética, con el correspondiente encarecimiento de energéticos que se viene produciendo en los últimos años, pone de manifiesto la importancia de destinar recursos y esfuerzos en optimizar procesos, de los que el sector agroindustrial no es ajeno.

En lo que se refiere específicamente al curado de tabaco, el mismo se encuentra dividido en una serie de etapas, claramente diferenciadas de acuerdo con los valores de humedad relativa y temperatura en el interior de las estufas (Condorí et al., 2020). Actualmente en la provincia de Salta la mayoría de las estufas de tabaco poseen gas natural como fuente térmica, con un consumo promedio de 1m³ por kg de tabaco curado. Se estima que existen en la región NOA del orden de 15000 estufas *bulk-curing*. Durante la época de producción, las estufas poseen ciclos de funcionamiento (curado) que ronda los 7 a 10 días, durante los cuales se mantienen encendidas de forma continua, la capacidad promedio de cada estufa es de 10 Tn de tabaco fresco por ciclo. Tanto el quemador, como el motor de las turbinas se apagan únicamente durante las fases de descarga y recarga. Se pone de manifiesto entonces la necesidad de dirigir esfuerzos hacia la mejora en la eficiencia energética de estos dispositivos, que repercutan fuertemente tanto en la estructura de costos de los productores tabacaleros como en la mejora de la

calidad final de sus productos (Cao, et al 2017). Desde el año 2009 el GEEDSP (Grupo de Eficiencia Energética y Desarrollo Socio Productivo) viene trabajando en el análisis energético asociado a la etapa de curado de la industria tabacalera, y con ello, en la propuesta de alternativas de mayor eficiencia energética, con uso combinado de energía solar (Altobelli et al. 2011, Altobelli et al., 2013). Sin embargo, la globalidad en la producción tabacalera ha generado el surgimiento de esfuerzos similares en otros países tales como China, Italia y Colombia (Zhao et al. 2019, Jun et al., 2012, Bao y Wang 2016, Cerquera Peña et al. 2010). De estos trabajos surge la hipótesis de apuntar a una mejora en el consumo de gas, a partir de aprovechar el calor residual de los humos del quemador y proponer el uso de los techos de las estufas para un sistema de colección solar térmica.

El presente trabajo corresponde a los resultados obtenidos a partir de la intervención de una estufa de curado de tabaco de tipo *bulk-curing* ubicada en las dependencias de un productor tabacalero de la localidad de Vaqueros, provincia de Salta. Este trabajo se enmarca en un convenio de asistencia realizado entre el Fondo Especial del Tabaco (Secretaría de Agricultura de la Nación) y el Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO).

MATERIALES Y METODOLOGÍA

La Estufa convencional intervenida

La estufa de tabaco intervenida se encuentra ubicada en la localidad de Vaqueros, provincia de Salta, en dependencias de un establecimiento tabacalero. El modelo corresponde al diseño *bulk-curing*, posee 4,67 m de ancho y 7,7 m de largo, con una altura máxima en la cumbre de 3,88 m, ver Figura 1. La estructura basal es de mampostería de ladrillo con revestimiento de cemento, siendo el resto de la construcción de paredes y techo de doble chapa galvanizada ondulada con aislación térmica de lana de vidrio entre ambas. En la parte posterior cuenta con el módulo o unidad de calor, conformado por el quemador de gas natural, con un intercambiador de calor de tipo banco de tubos, de veinte tubos, en disposición 4 x 5 filas, que posibilita el ingreso de aire caliente a la cámara de secado, sin permitir el ingreso de gases de combustión. La salida del humo de combustión se hace directamente por la parte superior de la unidad de calor al ambiente. El flujo de aire es forzado mediante una turbina centrífuga y motor de 4 kW que se ubica en el sector inferior de la unidad de calor, por debajo del quemador.



Figura 1: Vista oeste de la estufa de tabaco, con su unidad de calor, antes de ser intervenida.

Esta estufa es más alta de lo habitual, posee 4 niveles para la carga de los peines con hojas de tabaco, a diferencia de otras más grandes de 12 m de largo que sólo cuentan con 3 niveles, ver Figura 2. De esta manera logra el mismo volumen de carga con un largo de 7,7 m. El suelo de la cámara de secado tiene contra piso de cemento. Cabe mencionar que la mayoría de las estufas de la zona no poseen ni intercambiador de banco de tubos ni piso de concreto, estas son mejoras que introdujo el propietario del establecimiento con el tiempo.



Figura 2: Vista del frente de carga y descarga de la estufa, se observan la estructura de rack para los cuatro niveles de peines.

Mejoras introducidas a la estufa

Las mejoras estructurales propuestas a la estufa intervenida fueron tres:

1) Se colocan en el techo de la estufa dos precalentadores solares de aire, contruidos con caño estructural, cubierta de policarbonato alveolar de 6 mm de espesor, conformando un ducto que se conecta a la unidad de calor mediante una envolvente de chapa a nivel del techo para introducir solo aire precalentado a la unidad. El aire ambiente se precalienta a) recuperando el calor del humo de combustión desde la chimenea, para lo cual se extienden las chimeneas por caños redondos en el interior de los calentadores solares para tener contacto indirecto con el aire, y b) por ganancia directa de radiación solar absorbida por los dos calentadores, durante el día.

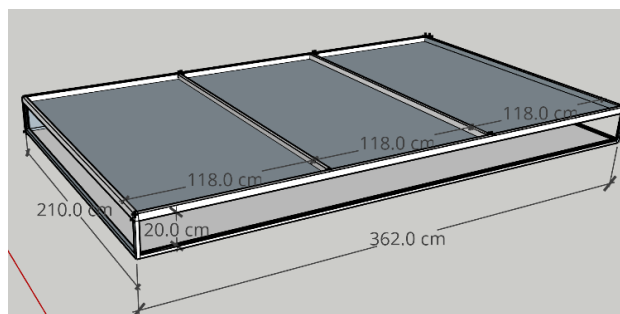


Figura 3: Detalle con medidas de uno de los módulos precalentadores de aire. La porción superior corresponde al colector solar y la inferior al vano que permite el flujo de aire hacia la cámara y que incluye los caños de salida de humo del quemador.

2) Se coloca una envolvente de chapa aislada térmicamente con lana de vidrio de 10 mm de espesor, en la parte superior de la unidad de calor para tomar aire precalentado desde el colector-techo de la estufa; esta modificación permite disminuir las pérdidas térmicas por chimenea y recuperar el calor que se pierde por la estructura de la unidad de calor original. A esta última ingresa el aire precalentado por la ventana habitual, que antes tomaba aire ambiente, lo que reduce el consumo del quemador de gas.

3) Se recupera el calor de las cañerías de salida de humo del quemador colocando una caja de distribución que tiene como entrada los dos caños rectangulares de 0,10 m x 0,2 m que vienen del intercambiador de calor, y como salida cuatro caños redondos de $7,5 \times 10^{-2}$ m de diámetro. Estos caños se colocan por el interior del colector solar recorriéndolo a lo largo y descargando el humo de combustión al ambiente, a la altura de la puerta de carga de la estufa, ver figuras 4 y 5.

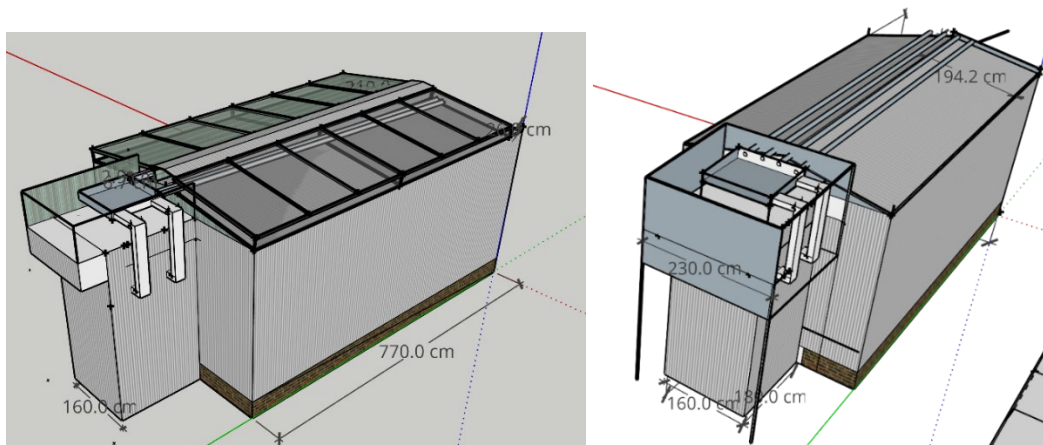


Figura 4: Esquema con medidas de la envoltura a la unidad de calor. Salida de humo del quemador de gas y caja de distribución con salida por caños redondos.

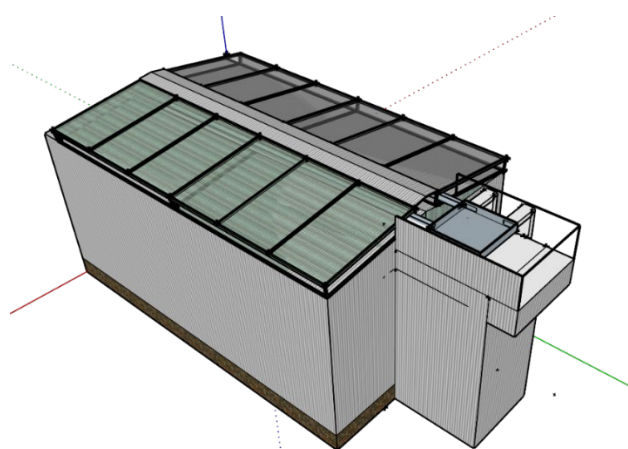


Figura 5: Detalle esquemático del acondicionamiento térmico propuesto.

Con estas modificaciones se recupera calor de la estufa las 24 horas de funcionamiento, y se aporta ganancia durante el día con energía térmica de la radiación solar. El aire que ingresa a la unidad de calor, para terminar de ser calentado por el quemador de gas, se encuentra a mayor temperatura que el ambiente produciendo ahorro de energía de acuerdo a la etapa de curado. El diseño final se basa en la hipótesis de contar con una construcción para facilitar la reconversión a futuro del parque de estufado de la provincia.



Figura 6: Fotografía aérea del sistema propuesto ya instalado en los techos de la estufa. Calentadores solares y envoltura a la unidad de calor.



Figura 7: Vista en planta del sistema de precalentamiento de aire instalado.

Sistema de medición en vacío de la estufa

Durante los meses de abril-mayo se trabajó en la puesta a punto y calibración del sistema de medición y las mediciones en campo se realizaron durante junio de 2023, se instalaron una serie de sensores térmicos y de flujo de aire, y se procedió a realizar las pruebas con el motor y quemador de la estufa encendidos. El sistema de medición estuvo compuesto por termocuplas tipo K (cobre-Constantán), y anemómetro de punta de hilo caliente. Los datos de temperatura se midieron y registraron en un micro *datalogger*. Los datos de irradiación global fueron solicitados para las fechas de las mediciones al Grupo de Estudio y Evaluación de la Radiación Solar del INENCO. Para este último caso, los datos corresponden a Irradiación Global sobre plano horizontal y fueron registrados en el predio de la Universidad Nacional de Salta, que se encuentra a pocos kilómetros del emprendimiento.

En la Figura 8 se muestra un esquema de la ubicación de las distintas mediciones de temperatura de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- Temp ambiente (T_{amb})
- Temperatura salida del colector solar (T_{cs})
- Temperatura medio colector solar (T_{cm})
- Temperatura ingreso aire caliente a la cámara (T_{ca})
- Temperatura chimeneas quemador (T_{ch})
- Temperatura salida humo (T_{sh})
- Flujo de aire ingreso colectores (\dot{m})
- Temperatura arriba intercambiador (T_{aint})

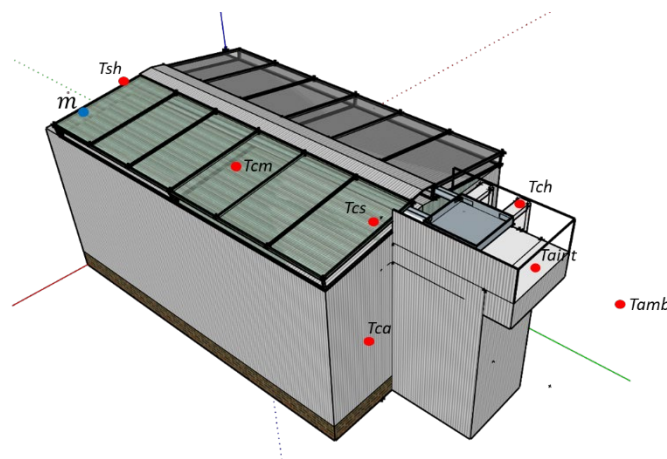


Figura 8: Esquema ubicación sensores de temperatura y velocidad de viento.

Los sensores de medición de temperatura fueron conectados a un Campbell CR23x, el cuál fue programado para efectuar el registro y el guardado promediado de datos cada minuto.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los ensayos fueron efectuados con la estufa sin carga en dos días consecutivos, buscando emular las rampas térmicas características del curado de tabaco Virginia.

Primer ensayo

Durante el primer día de medición simplemente se efectuó una rampa de temperatura, subiendo el termostato de la estufa hasta 70 °C, y se mantuvo en esa temperatura por un par de horas. Los datos registrados muestran un comportamiento de los valores de temperatura, correspondientes a los ciclos de encendido y apagado del quemador de la estufa.

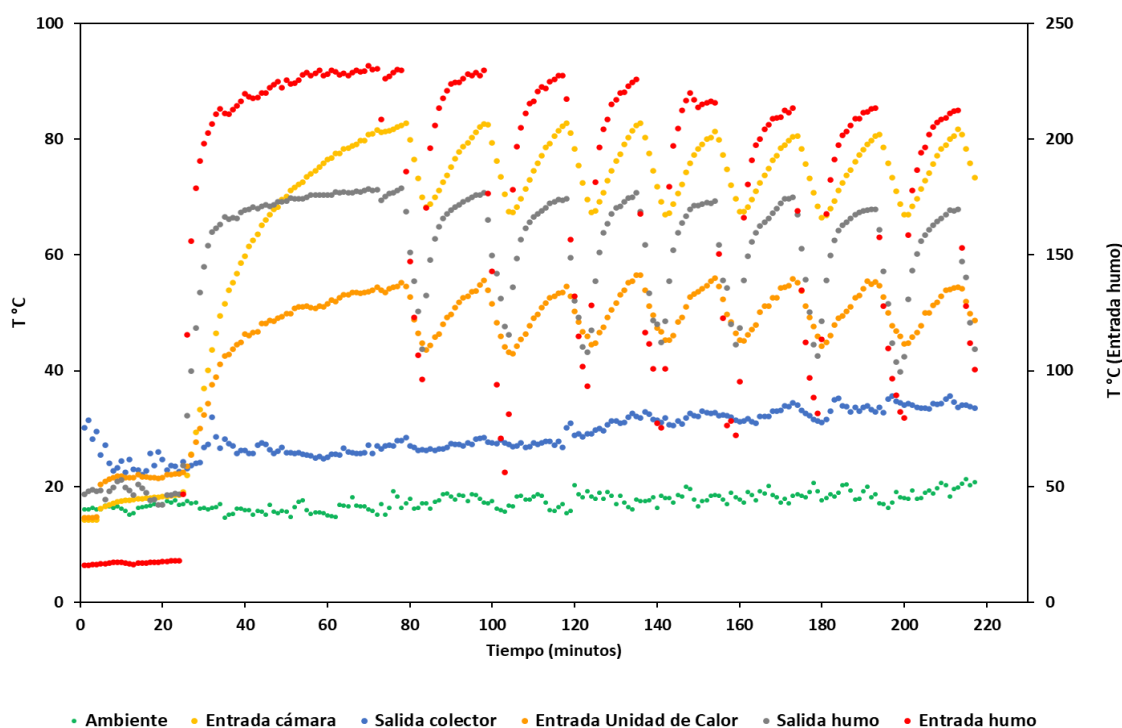


Figura 9: Temperaturas registradas durante el primer ensayo en vacío.

La temperatura de salida de humo del quemador se encuentra por encima de los 250 °C, la que se muestra en la gráfica corresponde a la entrada de la caja de distribución que ya perdió temperatura y es de aproximadamente 220 °C. La temperatura de salida del humo de los calentadores solares se encuentra siempre por debajo de los 70 °C, produciendo un salto térmico de 150 °C como mínimo, donde el calor es mayormente recuperado por el calentador solar. El aire que ingresa a la unidad de calor se encuentra alrededor de los 50 °C y es calentado en la unidad hasta los 70 °C, es decir se requiere un salto térmico de 20 °C en lugar de los casi 50 °C que requeriría si se toma aire ambiente como lo hacen las estufas convencionales. Se observa que la temperatura en los colectores no es afectada por el encendido y apagado del quemador de gas, lo que mostraría que el mayor aporte es solar durante las horas de ensayo, cercanas al mediodía solar.

Analizando la temperatura ambiente, y del colector, se destaca el salto de temperatura de entre 10 y 15°C. Esto se debe tanto a la colección solar como a la recuperación del calor residual provenientes de las chimeneas del quemador. Este último aspecto se puede ver en el gráfico de la Figura 10.

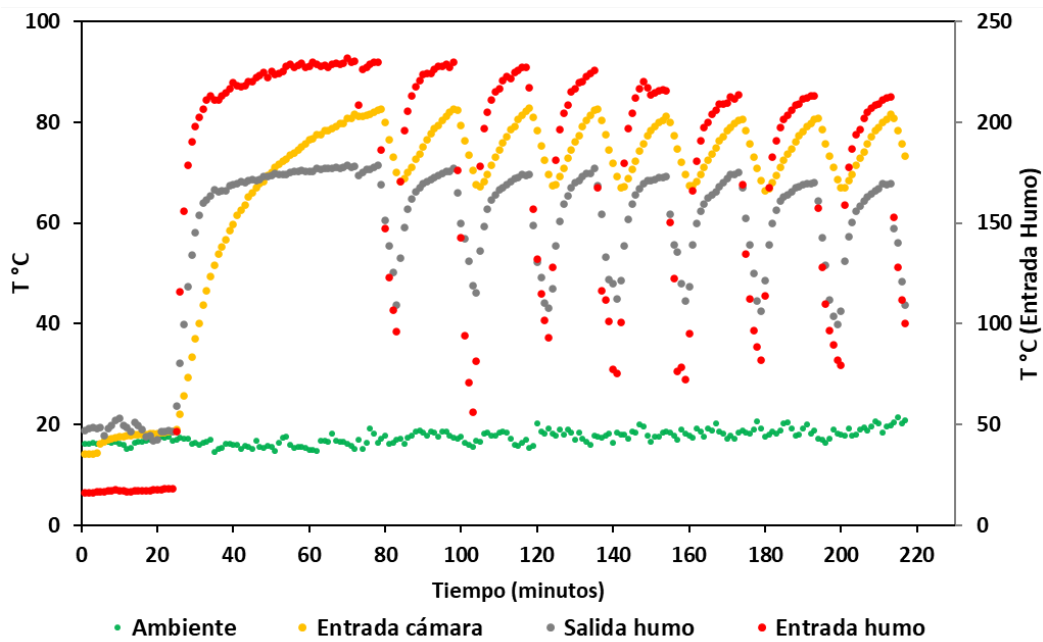


Figura 10: Temperatura de entrada de humo a la envolvente (marrón) y salida de humo del calentador solar (verde).

La diferencia de temperatura entre la entrada de humo (correspondiente a la entrada al sistema de precalentamiento de aire en la envolvente), y de salida de humo, es debida a la recuperación del calor que ingresa con el aire precalentado a la unidad de calor. Como resultado, y sumado a los efectos del quemador, se puede ver en color amarillo la curva correspondiente a la temperatura con que ingresa el aire a la cámara de la estufa. Dado que la temperatura de salida de los calentadores solares es de aproximadamente 35 °C, al final de figura 10, la envolvente como recuperador de calor aportan los aproximadamente 15 °C restante para llevar el aire precalentado a los 50 °C.

Segundo ensayo

Durante el segundo ensayo, se buscó emular las rampas del proceso de curado de tabaco, con regulación manual y empleo del termostato de la estufa, aumentando la temperatura cada 10 grados, seguido de una meseta de estabilización, hasta llegar a los 70 °C. Los registros repiten el comportamiento de la temperatura durante el ensayo anterior, ver Figura 11.

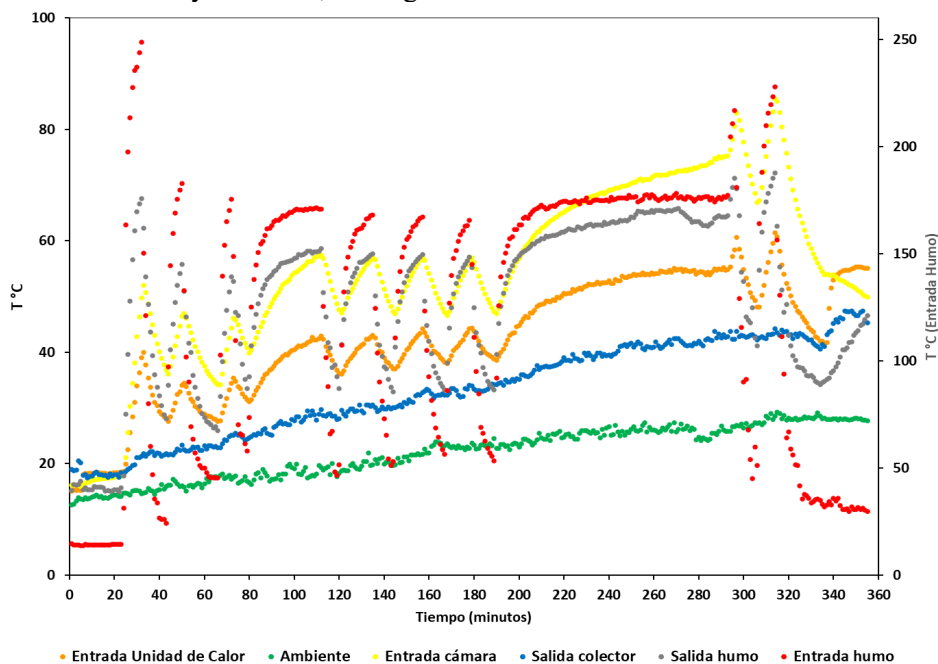


Figura 11: Temperaturas registradas durante el segundo ensayo.

Dado que se llegaron a alcanzar y mantener temperaturas correspondientes a la última etapa de curado, la diferencia entre las temperaturas de salida de los colectores y la ambiente son más grandes. Es decir, la primera parte, alrededor del minuto 70 de la curva, corresponde a temperaturas de la etapa de amarillamiento y las últimas, alrededor del minuto 250, a las de secado de tallos y nervaduras. El acercamiento de la temperatura de entrada a la unidad de calor y la salida de humos muestra que el sistema es más eficiente con las pérdidas térmicas más altas, ver Figura 12.

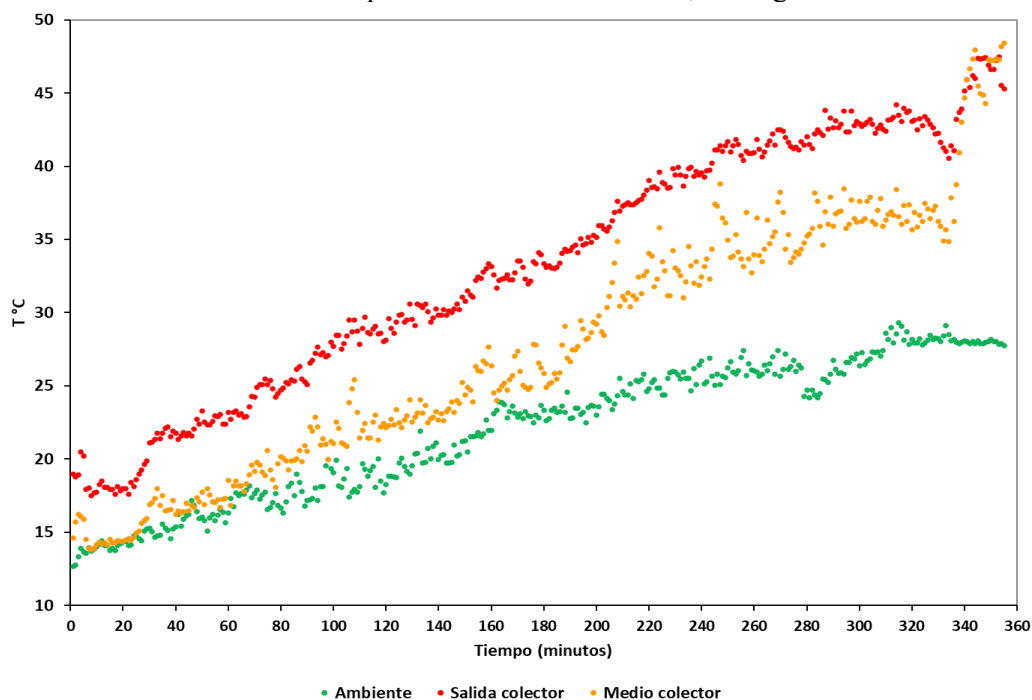


Figura 12: Temperaturas del colector y del aire ambiente durante el segundo ensayo.

En la Figura 13, cuando la estufa está a 70 °C, se observa que el sistema de precalentamiento entrega aire a 50 °C mientras la temperatura ambiente es aproximadamente 20 °C. Los resultados obtenidos en pruebas con la estufa vacía permiten estimar un ahorro energético directamente proporcional a la reducción del salto térmico, 50 °C que se necesitaría con el sistema sin mejora, a los 20 °C que se necesitan con el sistema mejorado. Es decir, el ahorro producido será aproximadamente del 40% bajo estas condiciones para esta etapa de curado.

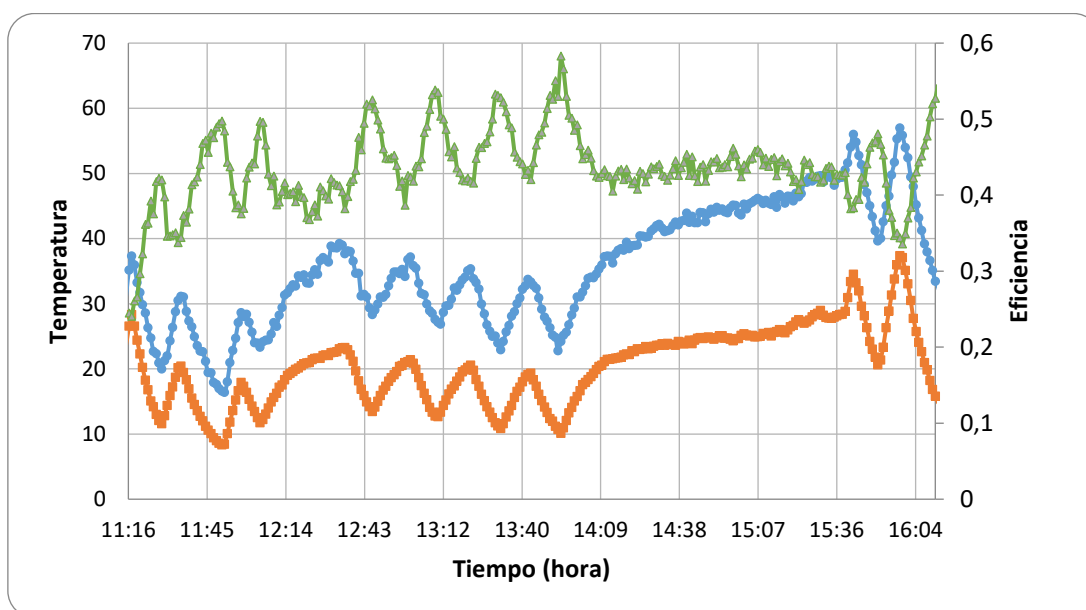


Figura 13: Eficiencia del sistema a lo largo del ensayo.

Análisis financiero

La inversión inicial del sistema propuesto incluye los gastos asociados a la compra de materiales y equipos de medición, así como a la retribución de la mano de obra encargada de la construcción y montaje. Dado el contexto económico de inflación y devaluación sostenida en la que se encuentra el país, la totalidad de cálculos fueron realizados en pesos y en dólares estadounidenses considerando una cotización equivalente a \$249/USD (Cotización Divisas Para la Venta, Fuente Banco Nación, 31/05/2023).

Tabla 1: Datos de inversión requerida para el sistema de precalentamiento propuesto.

<i>Inversión</i>	<i>USD</i>
<i>Materiales</i>	2222,22
<i>Mano de obra</i>	1777,78

Consumo de gas

La estufa se encuentra abastecida por gas natural, para la estimación de los costos se tuvo en cuenta el régimen tarifario actual de la empresa GASNOR, a cargo de la distribución de este servicio (Res 102/2023). Dados los niveles de consumo del establecimiento del productor, se considera que el mismo pertenece a la categoría P3.

Tabla 2: Datos de producción de tabaco y consumo de gas del emprendimiento.

Consumo energético gas estufada	850	m ³
Días de proceso	11	
Estufadas por campaña	11	
Nivel de producción (Tabaco curado) por campaña	9272,73	kg
Nivel de producción (Tabaco curado) por campaña	9,273	Tn
Consumo energético de gas por campaña	9272,73	m ³

Tabla 3: Datos tarifarios para categoría de consumo P3.

Categoría	P3
<i>Cargo fijo mensual</i>	\$3877,34
<i>Tarifa por m³</i>	\$34,84

Tabla 4: Datos de gastos por consumo de gas.

Gastos por consumo energético gas	
Gasto por campaña	\$323093,79
Costo fijo por campaña	\$46528,11
Costo anual en gas	\$369621,90
Costo anual en gas (USD)	USD 1484,43

Con el fin de referir los cálculos a valores comparables, se empleó la tarifa internacional de gas natural proveniente de la *U.S. Energy Information Administration* (www.iea.gov). Para el caso específico del gas natural se consideró la tarifa de consumidor final categoría comercial (USD/mil pies cúbicos), aplicado al promedio de los valores mensuales del último año (mayo 2022 a mayo 2023): USD 12,39/mil pies cúbicos.

- Costo anual en gas a precio internacional: USD 4093,51

Ahorro estimado

Con las mejoras incorporadas a la estufa, se prevé un ahorro en el consumo de gas del orden del 40%. Esto dado por el precalentamiento del aire que ingresa a la misma, debido a la recuperación del calor del humo de las tuberías del quemador y al aprovechamiento térmico de la radiación solar.

Tabla 5: Ahorros financieros estimados con la intervención propuesta.

<i>Ahorros en el consumo energético gas</i>	
<i>Ahorro por estufada</i>	\$11846,77
<i>Ahorro por campaña</i>	\$129237,52
<i>Ahorro por campaña (USD)</i>	USD 519,03
<i>Ahorro por campaña a precio internacional (USD)</i>	USD 1637,4

Tiempo de recupero de la inversión

El Tiempo de Recupero de la Inversión (TRI) es un indicador financiero utilizado para evaluar la rentabilidad de una inversión. El mismo se refiere al período de tiempo necesario para que los flujos de efectivo generados por una inversión igualen o superen el monto inicial de inversión realizado. En otras palabras, es el tiempo que se tarda en recuperar el dinero invertido a través de los ingresos generados por la inversión.

$$TRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Flujos anuales}}$$

Considerando para el caso bajo estudio al ahorro como los beneficios generados por las mejoras de la estufa, y considerando el monto de la inversión requerida para lograr los mismos, surge que:

$$TRI = \frac{USD\ 4000}{USD\ 519,03} = 7,7\ \text{campañas}$$

Con precio internacional del gas

$$TRI = \frac{USD\ 4000}{USD\ 1637,4} = 2,44\ \text{campañas}$$

Para los cálculos previos no se incorporó un ajuste por inflación ni por recategorización de consumidores en las tarifas de gas natural. Se entiende que, los tiempos de recupero de la inversión serían menores incluyendo en su cálculo los cambios en el cuadro tarifario argentino.

CONCLUSIONES

Como resultado del Convenio objeto del presente, se realizó el acondicionamiento térmico a una de las estufas de curado de tabaco de tipo *Bulk-Curing*, ubicada en la localidad de Vaqueros, Salta. Dicho acondicionamiento consistió en la incorporación en techos de un sistema de precalentamiento del aire que ingresa a la cámara de la estufa. Este sistema se encuentra compuesto por dos colectores solares de aire, que permiten aprovechar la radiación solar con fines térmicos. Asimismo, se incorporó también en la estructura una extensión de las chimeneas de salida de humo del quemador de la estufa. De esta manera se posibilita el aprovechamiento del calor residual del quemador, que reingresa a la estufa con el aire precalentado.

El sistema propuesto permite mejorar la eficiencia energética de la estufa “*bulk curing*” disminuyendo el consumo de gas natural, y reduciendo el tiempo de curado, respecto de las estufas convencionales. En la etapa de mayor temperatura del proceso de curado, 70 °C, el sistema de precalentamiento entrega aire a 50 °C de temperatura mientras la temperatura ambiente es de 20 °C. Es decir, el salto de temperatura correspondiente al ahorro es de 30 °C para esta etapa y disminuye para las etapas iniciales. Si bien estos datos se encuentran basados en pruebas en vacío, cabe esperar que, a pesar del agregado de masa térmica a partir de la carga con hojas, los porcentajes de ahorro se mantengan. Esta conclusión se soporta también en la experiencia previa del equipo de trabajo con estufas de tabaco, específicamente con evaluación energéticas de las mismas.

Los resultados obtenidos en pruebas con la estufa vacía permiten suponer un ahorro energético que es proporcional a la reducción del salto térmico de 50 °C que se necesitaría con el sistema sin mejora a los 20-25 °C que se necesitan con el sistema mejorado.

Con respecto al análisis financiero, teniendo en cuenta el contexto actual de inflación y devaluación de la moneda nacional, los cálculos se trataron de estandarizar en referencia al dólar estadounidense de los costos y precios actuales del gas natural. El indicador financiero obtenido fue el del tiempo de recupero de la inversión (TRI), el que arroja un valor de alrededor de 8 campañas con el precio actual del gas; sin embargo, se debe considerar que no se incluye en el cálculo los cambios en el precio del gas, tanto por la inflación como por la actualización, quita de subsidios a la energía y nueva categorización de usuarios. Se trató entonces de eliminar estas posibles distorsiones de los cálculos, y se emplearon las tarifas internacionales de gas natural para usuarios finales de categoría comercial. En este último caso el indicador baja a 2,5 campañas; entendiéndose que los costos de incorporar el sistema de precalentamiento propuesto se recuperarían con el ahorro logrado en dos campañas y media.

Quedan por efectuarse ensayos durante la campaña del año 2023-2024, con carga de tabaco fresco; lo que permitiría tanto confirmar los resultados logrados sobre el comportamiento térmico del sistema, como definir con mayor claridad los ahorros estimados. Por otro lado, se efectuará también la instalación de un variador de frecuencia para el motor que controla la turbina forzadora de aire, lo que se espera redonde también en mejoras del consumo eléctrico.

REFERENCIAS

- 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* 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* Vol. 17, pp.07.37-07.44.
- Bao Y., Wang Y. (2016) Thermal and Moisture Analysis for Tobacco Leaf Flue-curing with Heat Pump Technology. *Procedia Engineering*, 146, 481-493.
- Cao G., Bao Y., Wu, Ch., Wang, Y. (2017). Analysis on efficiency optimization of tobacco leaf flue-curing process. *Procedia Engineering*, 205, 540–547. 10.1016/j.proeng.2017.10.413.
- Condorí M., Albesa F, Altobelli F., Duran G., Sorrentino C. (2020). Image processing for monitoring of the cured tobacco process in a bulk-curing stove. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105-113. 10.1016/j.compag.2019.105113.
- Cerquera Peña N., Ruiz Osorio Y., Pastrana Bonilla E. (2010) Evaluación del horno de curado de tabaco por convección forzada USCO-MADR. *Ingeniería e Investigación*, 30, 91-96.
- Jun L., Juan W., Zhentao Z., Luwei Y., Zhaomin L., Qingmin Y. (2012) Experimental study on performance of heat pump system for tobacco leaf flue-curing. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(25): 63-67
- MINISTERIO DE HACIENDA, Presidencia de la Nación (2019). *Informes de Cadenas de Valor. Tabaco*, mayo 2019. ISSN 2525.0221.
- Rodríguez Faraldo M. A. y Zilocchi H. O. (2012). *Historia del cultivo de tabaco en Salta*. Salta Capital: Ministerio de agricultura ganadería y pesca.
- Zhao J., Wang R., Wang M., Huang X. (2019). Application of Heat Pump Energy-Saving Flue-Cured Tobacco Technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252, Issue 3.

INCORPORATION OF AN AIR PREHEATING SYSTEM IN A TOBACCO BARN

ABSTRACT: In the NOA region of Argentina, specifically in the province of Salta, tobacco farming is focused on the production of Virginia tobacco, which is characterized by requiring a curing stage of the leaves in barns. The results obtained from the intervention of a bulk-curing tobacco barn located in Vaqueros, Salta, are presented. An air preheating system, consisting of solar collectors and recovery of residual heat from the burner smoke, was installed on the roofs of the barn. The results of the preliminary tests show that an estimated saving of about 40% can be achieved when comparing the air outlet temperature values of the proposed system with those required by the curing process and the environment. The financial evaluation of the investment values is carried out together with the

consumption savings, indicating a payback period of less than three harvest seasons, taking into account international gas prices.

Keywords: tobacco, energy efficiency, solar energy