

AUTOMATIZACIÓN DE ESTUFAS DE TABACO TIPO BULK CURING, ENSAYOS A ESCALA DE LABORATORIO

F. Altobelli; M. Condorí; C. Sorrentino

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: 54-387-4258709, mail: fabi_altobelli@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se presentan los resultados obtenidos del diseño y ensayo de un sistema de automatización de un prototipo de laboratorio de estufa de tabaco Bulk Curing. Una de las mayores dificultades de plantear la incorporación de energías alternativas en sistemas híbridos industriales está asociada a aspectos técnicos de regulación e intervención. Mediante el uso de un controlador lógico programable (PLC), se automatizó el proceso de curado de hojas de tabaco con control de temperaturas del interior de la cámara y apertura y cierre de compuertas de ingreso de aire externo. Los primeros ensayos demostraron gran robustez del sistema para completar las etapas características del proceso. Dicho sistema de automatización fue añadido a un prototipo mejorado de estufa con aislación térmica basal y reducción de puentes térmicos. Una vez que se comprobó el funcionamiento adecuado del mismo, se incorporó un colector solar de agua para aporte térmico a la estufa mediante losa radiante. A través del control del bombeo de agua en el sistema auxiliar de calentamiento se logró una asistencia térmica adecuada, los ahorros energéticos globales registrados son del orden del 25%.

Palabras Clave: estufas de tabaco, automatización, tabaco Virginia

INTRODUCCIÓN

La producción de tabaco representa para la provincia de Salta, una de las actividades económicas más importantes. La producción anual de tabaco curado ronda los 40.000.000 kg, requiriendo para ello unos 40.000.000 m³ de gas aproximadamente. Existe en toda la zona tabacalera una extensa red de aprovisionamiento de gas natural para el secado de tabaco, a la cual tiene acceso la mayoría de los productores. Sin embargo, en los últimos años y dada la escasez de gas que viene aquejando al país, dichos productores han sufrido recortes en el suministro y encarecimientos considerables de sus costos (Altobelli, et al, 2010; Altobelli, et al, 2011).

El tabaco Virginia requiere de un proceso de curado en estufa que se realiza en la finca y obliga a una inversión inicial alta. Aproximadamente el 80% de estos dispositivos corresponden al modelo Bulk Curing, con estructuras metálicas alargadas. En la mayoría de los casos, la falta de mantenimiento y las precarias condiciones de aislación provocan que las estufas presenten una gran deficiencia energética. De hecho, estudios de eficiencia realizados en la región demuestran que solo un 30% de la energía suministrada (gas natural y electricidad) es efectivamente empleada para el secado de las hojas (Eckhardt, 2002; Altobelli, et al, 2010; Cornejo y Fiore, 2004).

Una de las mayores necesidades presentes en el sector tabacalero es la reducción de los costos de producción (Paganetti y Guantay, 2005; Cruz, 1989), dentro de los cuales el costo de curado, para Argentina, representa aproximadamente entre un 18% a un 20%. Así, la optimización de la eficiencia del proceso de curado se presenta como un importante aspecto en donde enfocar los esfuerzos para reducir tanto los costos de producción como los impactos ambientales (huella de carbono) (Dib-Ashur, 2013).

El proceso de curado de tabaco consta de cuatro etapas definidas a partir de las reacciones físico-químicas de la hoja, y que requieren energías y temperaturas crecientes. Estas son: el “amarillamiento”, la “fijación de color”, el “secado de lámina” y el “secado de nervadura”. Actualmente, el proceso se controla de forma manual, en base a los valores de caudal de aire, temperatura y humedad que deben alcanzarse en cada etapa. Así, el “curado” demanda de 7-9 días, y generalmente presenta pérdidas de calidad por secado desparejo y “amarronamiento”. Desde el sector, es clara la necesidad de mejorar la automatización y control del proceso con la inclusión de herramientas informáticas y sistemas electrónicos de control diseñados a partir de la reproducción fiel del proceso y de la adecuación del mismo a variables como las condiciones climáticas, tamaño y contenido de humedad de la hoja. La metodología que se sigue es lograr primero la reproducción del proceso a escala de laboratorio, la obtención de correlaciones y luego el escalonamiento a producciones reales (Ulivari, 1990; López Méndez, 2008; Massalin Particulares S.A., 2011).

La automatización de los sistemas industriales comprende un amplio campo de desarrollo de la ingeniería. En búsqueda de optimización, mejora y estandarización de los procesos que se llevan a cabo en la industria, dicha automatización apunta a mejorar los mecanismos de control. Una de las herramientas de las que se vale, está conformada en la actualidad por los controladores lógicos programables (PLC por sus siglas en inglés). Estos controladores pueden definirse como dispositivos digitales electrónicos que cuentan con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, para la implementación de funciones específicas como ser lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; que permitan luego controlar a través de entradas/salidas digitales o analógicas, varios tipos de maquinarias o procesos (Maza Cabello, 2013; Bolton, 2006).

En este contexto, y planteado como primera medida, adquiere vital importancia la disminución del consumo de energía desde fuentes convencionales mediante el mejoramiento de la eficiencia energética de los dispositivos industriales actuales (apuntados como de uso energético intensivo), sobre esto existen tanto antecedentes locales como internacionales (Siddiqui, 2001). Además se plantea la incorporación de sistemas de aprovechamiento de energía solar en funcionamiento híbrido con el convencional. Se plantean como objetivos del presente trabajo, la determinación y ensayo de sistemas de ahorro energético, cumpliendo como premisas, que los mismos sean de fácil y económica incorporación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Prototipos

Como prototipo mejorado se empleó un modelo de estufa Bulk Curing que contaba con una cámara de 1,11 m x 1,2 m x 1 m con capacidad de carga de 90 kg de tabaco fresco (el equivalente a dos peines de una estufa real) Figura 1. Tratando de emular los dispositivos reales, las paredes laterales y el techo fueron confeccionados como una pared doble de chapa galvanizada con aislación térmica de lana de vidrio de 5 cm en su interior. Como modificación se le incorporó como suelo de la cámara una pared en la base de características similares a las laterales (doble chapa galvanizada con aislación térmica). Se añadió también, asentado sobre este piso, un serpentín construido de caños de PVC del tipo termofusión, para poder ser luego conectado a un sistema de calentamiento de agua (solar o eléctrico), funcionando a la manera de losa radiante. Otra diferencia estuvo en la forma de construcción de la estructura, ya que se buscó minimizar los puentes térmicos, para ello se evitó el contacto de la chapa interna con la estructura. Esto último se consiguió mediante la colocación de aislantes como madera o lana de vidrio entre la chapa interna y la estructura en todos los puntos de sujeción de la chapa.

Como referencia de comparación se construyó otro prototipo similar al anterior pero sin el aporte de energía solar, ni el cuidado de los puentes térmicos y además sin aislación en el suelo pero si apoyada sobre una mampostería de ladrillo desnudo. Este prototipo representa el tipo de construcción actual de las estufas Bulk Curing (Altobelli, et al, 2010).

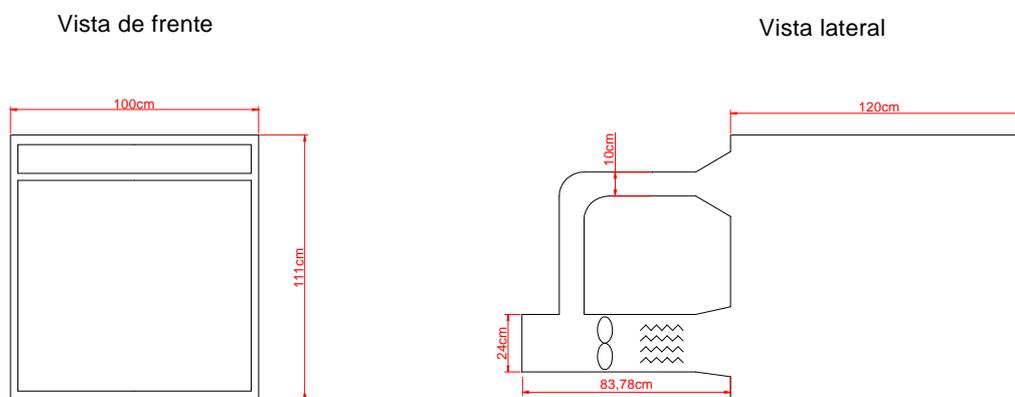


Figura 1 Croquis de los prototipos y sus dimensiones.

Como fuente térmica, se optó por incluir un arreglo de cuatro resistencias eléctricas de 400W y 20cm de largo cada una. Asimismo, como forzador de flujo de aire se incorporó un ventilador axial eléctrico de 23cm de diámetro. Inicialmente el control de la temperatura solamente podía ser llevado a cabo mediante el encendido y apagado individual de las mencionadas resistencias.

Asistencia solar térmica

Con fines de evaluar la factibilidad de incorporar un sistema solar térmico al proceso, se procedió a conectar el prototipo de estufa a un colector solar de agua (Figura 2 y Figura 3; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Para esto, se añadió a la cámara de secado un sistema basal de cañerías PVC en red a modo de losa radiante. Dicho sistema cuenta con el colector como fuente térmica. En todos los casos fue empleada tubería de tipo termofusión de 20 mm de diámetro. Este tipo

de material fue ensayado previamente en la construcción de colectores solares de agua de bajo costo, reportando eficiencias del orden del 53% para los colectores (Martínez, et al., 2012).

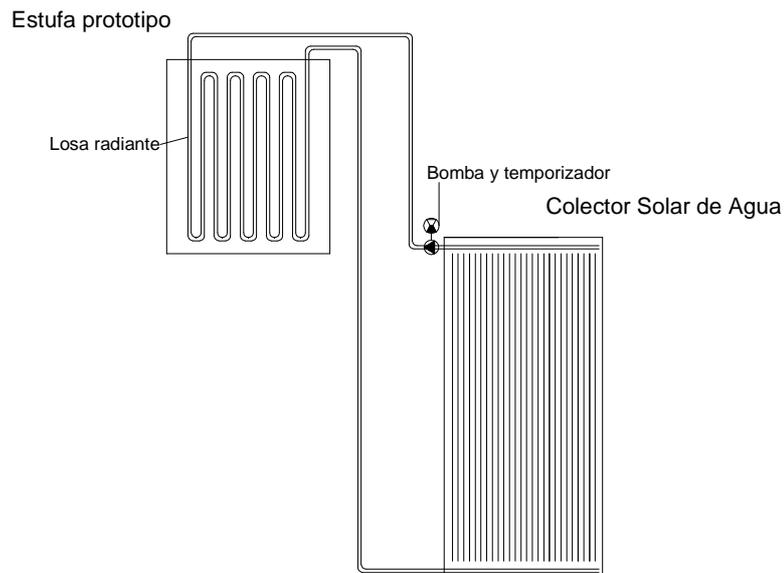


Figura 2 Croquis del sistema con asistencia solar térmica.



Figura 3 Fotografía con el colector solar de agua en primer plano.

Automatización

Para realizar la automatización del proceso de curado de tabaco se iniciaron las tareas con el control de la temperatura, de esta manera, se decidió manejar las velas de cuarzo de los prototipos de modo encendido y apagado únicamente. Para esto se desarrolló un programa en el PLC Zelio (Schneider Electric Corporate), aprovechando que el mismo posee entradas analógicas. Estas son utilizadas para medir la temperatura de la zona de interés la cual se transforma a través de un termistor (resistencia variable en función de la temperatura) en una diferencia de potencial que es capaz de medir el PLC.

En función de los valores de tensión que el circuito de sensado entrega al PLC, este realiza una comparación con valores de referencia pre establecidos, que corresponden a las temperaturas de las diferentes etapas del proceso de curado de tabaco. El programa compara la temperatura de la muestra con el valor de referencia para el tiempo establecido y si la temperatura de muestra es menor, manda la orden de encender la primera vela de cuarzo. A partir de ese momento, hay un tiempo de espera

para que el sistema evolucione. Si pasado este tiempo de espera, la temperatura de la muestra no es la de referencia, el PLC ordena que se encienda una segunda vela y nuevamente se espera a que el sistema evolucione. Se sigue este procedimiento hasta que la temperatura de la muestra alcance la temperatura de referencia.

Por el contrario, si la temperatura obtenida es superior a la de referencia, se procede a apagar la última vela hasta que el sensor de temperatura indica que se ha sobrepasado el límite inferior de la cota de temperatura de referencia, con lo cual el sistema enciende nuevamente la resistencia. Se colocó un retardo de tiempo en el software para evitar el continuo prendido y apagado de las resistencias. Dado la masa térmica de la carga de hojas, aproximadamente 90 kg de agua, las variaciones observadas son bastante suaves.

La regulación del ingreso de aire fresco a la estufa fue efectuada mediante la apertura y cierre de una compuerta (también regida por el PLC), localizada en la porción posterior del caño con las resistencias térmicas. Para este caso, las variables de control fueron el tiempo y la temperatura, ante la dificultad inicial de calibrar el sensor de humedad.

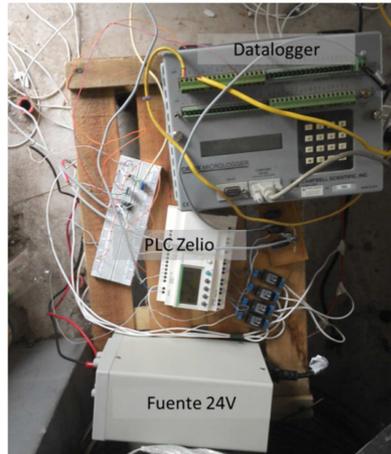


Figura 4 Sistema de automatización con PLC, fuente y adquisidor de datos.

Otra variable controlada por el sistema de automatización fue el encendido de la bomba para accionar el flujo del agua en el sistema de calentamiento solar. En este caso, con el fin de propender siempre a lograr aporte térmico, se empleó un termistor para sensar la temperatura del agua a la salida del colector. Las instrucciones del PLC indicaban entonces, permitir el flujo siempre que la temperatura del agua del colector se hallaba por encima de la de la estufa, y ésta última por debajo de la de referencia (Figura 5).

Curva de referencia

Se empleó como curva característica aquella reportada por López Méndez, 2008. La misma coincide con las recomendaciones que son vertidas por la empresas acopiadoras del medio a los productores. La representación de las curvas de temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco (T° humedad máxima), se encuentra basada en el hecho de que hace algunos años, como parte del seguimiento que se realiza al producto, se entregó a los productores pares psicrométricos o “sicrómetros”. En la actualidad casi la totalidad de las estufas no cuenta o no poseen estos termómetros, limitándose el control del proceso al control de la temperatura de la estufa, al seguimiento de las curvas en el tiempo y a las indicaciones del experto “estufero”; quien indica el cambio de etapa de acuerdo a la variación del color y el aroma de las hojas de tabaco.

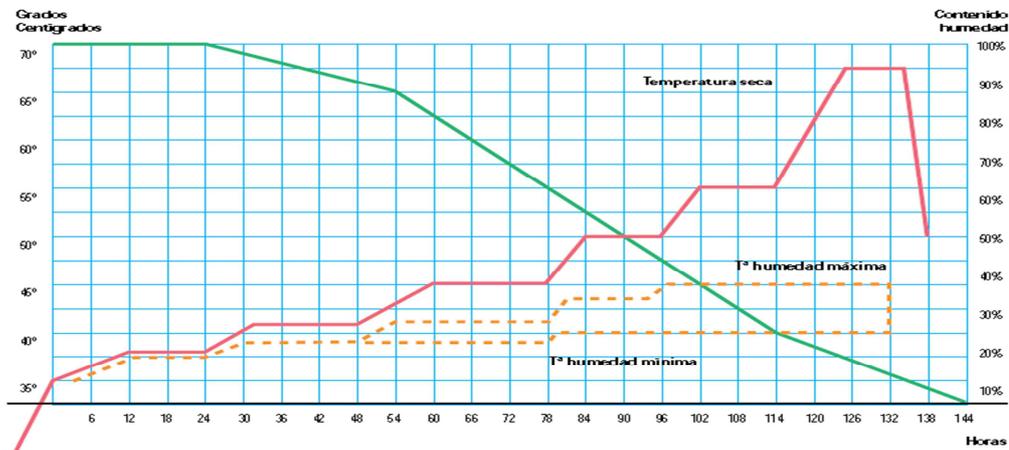


Figura 5 Curvas de temperatura y humedad características del proceso de curado de tabaco.

Fuente: (López Méndez, 2008)

RESULTADOS

Luego de corroborar el funcionamiento del PLC para controlar las temperaturas en el interior de la estufa y la apertura y cierre de la compuerta de la misma, se procedió a cargar el prototipo con hojas de tabaco. Dicha carga, comprendió una masa de hojas de 90 kg, proveniente de un productor de la localidad de Vaqueros, Salta.

Los resultados obtenidos demuestran el cumplimiento adecuado de todas las etapas del proceso de curado desde la evolución de la temperatura. Esta situación cobra importancia al considerar que dicho cumplimiento fue logrado únicamente mediante el sistema de automatización. Térmicamente el control logró ajustar los valores de la estufa a aquellos definidos, controlando también el funcionamiento del colector de agua como fuente térmica auxiliar. En un proceso de siete días, donde la casi totalidad de los mismos se presentaron con elevada nubosidad y precipitaciones de baja intensidad; el sistema híbrido respondió de manera adecuada. Al iniciar el proceso, el colector solar representó la fuente térmica principal, hasta que la masa de hojas estuvo cargada térmicamente.

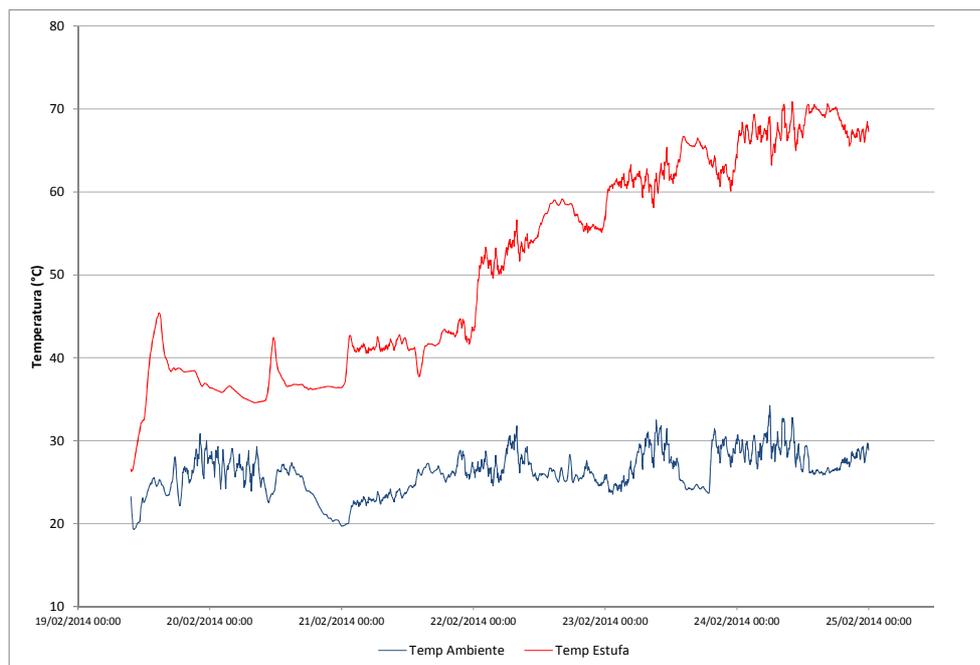


Figura 6 Temperaturas ambiente y del interior de la estufa registradas durante el ensayo.

Con respecto a la variable humedad, la misma no pudo ser controlada durante el ensayo, debido a fallas en el instrumental. El sensor empleado para el registro de esta dejó de registrar los cambios que se producían en la humedad de la cámara a consecuencia del curado de las hojas. Como resultado de esto, la apertura de la compuerta posterior para permitir el ingreso de aire ambiente, debió ser efectuada de forma manual. Se destaca la necesidad de reemplazar el sensor e incorporar otro con mayor durabilidad.

En cuanto al sistema solar, la automatización de la bomba que fuerza el flujo de agua en el mismo, permitió lograr una adecuada asistencia solar térmica al proceso. Funcionando únicamente cuando las temperaturas del colector se hallaban por encima de las de referencia de la estufa, se evitó la circulación del agua en momentos en los que la losa realizaría una extracción y no aporte térmico a la cámara.

Mención aparte merece la evaluación de la calidad final del tabaco curado durante el ensayo. El mismo se aprecia con manchas de color marrón, respondiendo al efecto denominado “escaldado”. Aparentemente, la falta de control de la humedad dentro de la cámara, llevó a que se inicie el ascenso de temperatura característico de la etapa de secado de lámina con un valor de humedad inferior al aconsejado. Por otro lado, y con anterioridad al inicio del ensayo, el productor que donó las hojas informó sobre la dificultad que significó para él curar esta variedad de tabaco Virginia (PVH 2291), ya que el mismo se manchaba con mucha facilidad. Esta situación pone de manifiesto la influencia que puede tener en el normal desenvolvimiento del curado la variedad de tabaco que se emplee. Ante esto se destaca la necesidad de controlar otras variables, además de la temperatura de la cámara para lograr un producto de calidad comercial.

Con el prototipo híbrido se registraron ahorros del orden del 25% en promedio, respecto a los ensayos sin aporte solar, ya que durante los días con elevada heliofanía el sistema solar posibilitaba alcanzar temperaturas cercanas a los 36°C sin asistencia eléctrica. Estos valores coinciden con los requeridos durante la etapa de amarillamiento. Durante los días nublados el sistema funcionaba de manera similar a cuando no contaba con la asistencia del colector. La automatización del sistema facilitó enormemente el manejo del proceso, minimizando la necesidad de intervención tanto para los cambios de etapa, ventilación y regulación del caudal que circula por la losa radiante de la estufa.



Figura 7 Fotografía de las hojas en el interior de la cámara al final del curado.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que el prototipo de estufa de tabaco Bulk Curing de laboratorio logró emular el proceso de curado de tabaco con gran precisión. Al emplear resistencias eléctricas como fuente térmica, se facilitó el control del consumo energético. Inicialmente pudo detectarse la influencia de la aislación al lograr ahorros del orden del 20% del prototipo mejorado respecto del convencional, ya que fue requerido el encendido de tres de las cuatro resistencias de 400W para alcanzar las temperaturas máximas del proceso (72°C). Dicho ahorro es atribuido directamente a la aislación térmica del suelo de la estufa y la mejora en la aislación de la estructura con el fin de impedir la existencia de puentes térmicos.

La inclusión de un sistema de automatización mediante PLC demostró la alta factibilidad de uso en una futura escala industrial. Con el empleo de un registro de temperatura y humedad, se logró replicar la curva característica de secado. A su vez, el sistema permitió la medición continua de estas variables y de otras tales como apertura y cierre de la compuerta de ingreso de aire.

Por otro lado, la incorporación de energía solar térmica fue lograda mediante un sistema de colección solar de agua y losa radiante. Al emplear un circuito cerrado, la energía acumulada por el agua es cedida lentamente a la cámara de secado. Dado que la actividad tabacalera coincide con la época estival, se justifica la alternativa solar por los altos picos de radiación que suelen registrarse. Sin embargo, esta época también coincide con la temporada de precipitaciones en la zona. Esta situación puso en evidencia la necesidad de contar con un sistema híbrido que permita automatizar el funcionamiento del colector de acuerdo a la temperatura alcanzada por el mismo. De esta forma no sólo se realiza un uso más eficiente de la energía solar térmica sino que se evita que durante los días nublados la circulación de agua por la losa extraiga calor desde la estufa.

Merece mención especial establecer la relación detectada durante los ensayos, en los que con un colector solar de agua de 2 m², fue posible alcanzar y mantener la temperatura de la etapa de amarillamiento para una carga de 90 kg de tabaco verde. Estos resultados se lograron con días de alta heliofanía, decayendo luego para situaciones de nubosidad. Dicha relación requiere de mayores repeticiones del proceso, abarcando diferentes condiciones meteorológicas. De todas maneras pudo detectarse el aporte del sistema solar durante casi la totalidad del curado.

Uno de los aspectos que no se encuentra regulado, lo cual también obedece al hecho de no existir en la bibliografía referencias al respecto, es el flujo de aire que circula por la estufa forzado por el ventilador. Hasta este punto, todos los ensayos realizados emplearon un valor de flujo regulado por la apertura de la compuerta que a su vez está regulada por la humedad relativa de la cámara, sin haber estudiado esta variable con detalle. Quedan por realizarse mayores análisis sobre este tema, principalmente en estufas de escala real, de manera de aproximar un valor de flujo óptimo o ideal a los fines del curado de tabaco. Esto no sólo permitiría ajustar este valor sino que también permitiría ajustar el tamaño de los motores con los que se valen las estufas para este propósito. Dichos motores varían de productor a productor tanto en disposición y diseño como en potencia, sin haber conseguido justificación técnica al respecto.

REFERENCIAS

Altobelli, F., Condorí, M., Diaz 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 bulck-curing en la provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*(15), 07.47-07.53.
- Bolton, W. (2006). *Programmable Logic Controllers* (4° ed.). Oxford: Elsevier Newnes.
- Cornejo, M., & Fiore, I. (2004). El Cultivo del Tabaco en el Valle de Lerma - Salta. Hoja Informativa N° 22. Cerrillos, Salta: Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa Valle de Lerma. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Cruz, M. (1989). Análisis económico de la producción de tabaco en el NOA. Seminario monográfico. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales. Universidad Nacional de Salta.
- 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.
- Eckhardt, M. (2002). Las empresas transnacionales tabacalera: Recuperación de una pasantía de pregrado universitario en una empresa en la provincia de Salta. Salta, Argentina.: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta.
- López Méndez, A. (2008). El curado de tabaco Virginia en España. Manual práctico para todos los agricultores (1° ed.). Madrid: Enciclopedia básica del cultivo de tabaco.
- Martínez, C., Condorí, M., & Durán, G. (2012). Calefón solar económico con absorbedor en caños de termofusión. Ensayos preliminares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 03.97 - 03.104.
- Massalin Particulares S.A. (2011). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el cultivo de tabaco Virginia*. Salta, Argentina.
- Maza Cabello, A. C. (2013). Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío. Puebla, México: Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla.
- Paganetti, A., & Guantay, J. (2005). El circuito productivo del Tabaco en el departamento de Cerrillos. Seminario monográfico. Salta, Argentina: Facultad de Ciencias Económicas, Jurídicas y Sociales. Universidad Nacional de Salta.
- Siddiqui, K. M. (2001). Analysis of a Malakisi barn used for tobacco curing in East and Southern Africa. *Energy Conversion and Management*, 42(4), 483-490.
- Ulivarri, D. F. (1990). El cultivo de los tabacos claros. Manual 1. Salta, Argentina.: Centro Regional Salta-Jujuy. Estación experimental Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

ABSTRACT: The results of the design and testing of a system for automation of a laboratory prototype Bulk Curing tobacco barn are presented. One of the major difficulties of implementing alternative energy in industrial hybrid systems is associated with technical aspects of regulation and intervention. The temperatures inside the curing chamber as well as the close and opening of gates for external air input were automated through the use of a programmable logic controller (PLC). The initial tests proved that the system could adequately complete the characteristics stages of the curing process. The automation system was tested on an improved prototype barn with thermal basal insulation and diminished thermal bridges. It was also included a solar water collector as an auxiliary thermal source. The energy save achieved was about 25%, through the control of pumping water into the solar heating system and with adequate thermal insulation

Key words: tobacco's barn, automation, Virginia tobacco