

ENSAYO COMPARATIVO DE UN SECADOR PASIVO CON CHIMENEA Y EXTRACTOR EOLICO Y SECADOR ACTIVO CON PANEL FOTOVOLTAICO

G. Durán¹, V. Molina², M. Condorí, P. Buchller
INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Universidad Nacional de Salta,
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: gduran@inenco.net

RESUMEN: Se presentan en este trabajo distintos ensayos realizados con dos secadores solares domésticos, uno con flujo de aire producido por un sistema chimenea concentrador CPC y extractor eólico de tipo turbina de eje vertical, y otro con flujo forzado mediante dos ventiladores eléctricos adosados a un panel fotovoltaico. Los ensayos cubren pruebas de evaporación de agua libre, simulación de producto higroscópico y secado de carne.

Palabras clave: CPC, chimenea solar, extractor eólico, secado solar, panel fotovoltaico.

INTRODUCCION

En el INENCO se viene trabajando desde hace un tiempo en el desarrollo de secadores solares a escala doméstica para la producción de alimentos deshidratados. En estos secadores la circulación de aire se produce tanto por convección forzada, utilizando un extractor eléctrico, como por convección natural mediante el uso de chimenea solar y extractor eólico del tipo turbina (Condorí, 2002). Ya que la producción de carne deshidratada (charqui) es una práctica usual en las comunidades rurales de Salta y Jujuy que no cuentan con suministro de electricidad, se decidió mejorar el desarrollo de secadores pasivos con chimeneas solares eficientes, con el objetivo de alcanzar el secado de la carga en el día (Condorí y Durán, 2004; Duran y Condorí, 2007).

La circulación de aire en los secadores pasivos ensayados es originada por una chimenea solar, esto es, un dispositivo solar térmico que procura ser eficiente en la captación de radiación solar para aumentar la diferencia de temperatura entre el aire que sale de la chimenea y el aire ambiente. De esta forma, se mejora el flujo de aire producido por la chimenea ya que es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de densidad del aire entre estos puntos, (Condorí, 2001). La chimenea solar utilizada en los primeros ensayos, constituida por un caño de chapa galvanizada pintado de negro, de 0,15 m de diámetro y 1 m de largo, cuyo tiraje es mejorado mediante un extractor eólico de turbina colocado en su extremo superior (Condorí, 2001), fue mejorada con posterioridad a una chimenea concentrador CPC con extractor eólico de turbina (Condorí y Durán, 2004). Con estos equipos se llegó a producir 3 Kg de carne seca en un tiempo aproximado de 36 hr., lo cual es una importante mejora si se lo compara con las dos a tres semanas necesarias para producir esa misma cantidad al aire. Sin embargo, las dimensiones de estos secadores no favorecen su traslado, y su capacidad de carga, del orden de 10 Kg a 13 Kg de producto fresco, es excesiva para un consumo familiar. Por ello se decidió diseñar un secador solar de menores dimensiones, que mantenga el tiempo de secado en los dos días de sol, con una carga de producto fresco cercana a 5 Kg. Se contempló la posibilidad de una mayor carga de producto fresco en el caso en que sea requerido. Con ese fin se diseñó la cámara de secado en forma de módulos interconectados entre sí, con un doble nivel de bandejas. El sistema de extracción de aire fue rediseñado, permitiendo el uso de un sistema pasivo formado por una chimenea concentrador CPC de menores dimensiones que la diseñada anteriormente, junto a un extractor eólico de tipo torre vorticiosa (Bastianon y Erramuspe, 1978), o un sistema de flujo activo, compuesto por dos ventiladores eléctricos alimentados mediante un panel fotovoltaico.

En este trabajo se presentan los diversos ensayos realizados con dos cámaras de secado de doble nivel de bandejas y un sistema chimenea concentrador CPC con un extractor eólico tipo torre vorticiosa, y un sistema activo de dos ventiladores eléctricos y panel fotovoltaico. Los ensayos realizaron incluyen una prueba de evaporación de agua libre, y secado de carne. Además, se comparan los resultados obtenidos al utilizar los sistemas de ventilación activos y pasivos mencionados.

DISEÑO DE LA CHIMENEA CONCENTRADOR CPC

El diseño de la chimenea concentrador fue realizado mediante el programa de diseño de concentradores CPCdise (Durán y Condorí, 2005). La geometría elegida en esta ocasión es de un CPC para absorbedor lineal de 25 cm. El concentrador fue

¹ Becario CONICET

² Becario PICTOS UNSa - FONCyT

diseñado siguiendo el principio de los rayos extremos (Rabl, 1985), para un semi ángulo de aceptación de 13° , con lo cual la autonomía del CPC respecto al seguimiento del sol es de 2 horas, aproximadamente. Las dimensiones finales del concentrador diseñado son 0,25 m de ancho por 0,2 m de alto y 0,5 m de largo. En la Figura 1 se muestra una captura del proceso de diseño del concentrador, y en la Figura 2 de la marcha de rayos sobre el diseño final truncado

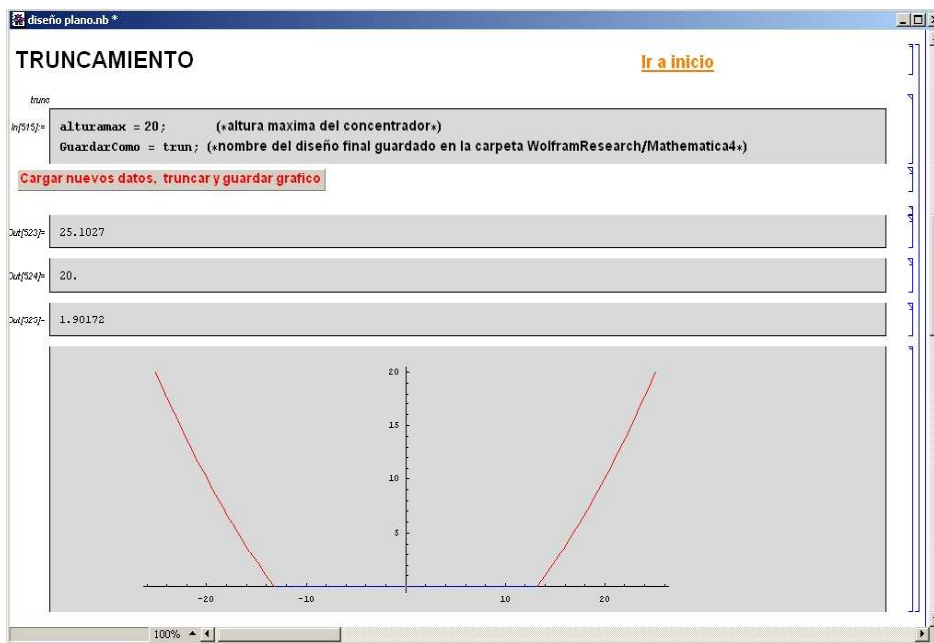


Figura 1: Diseño final del concentrador CPC

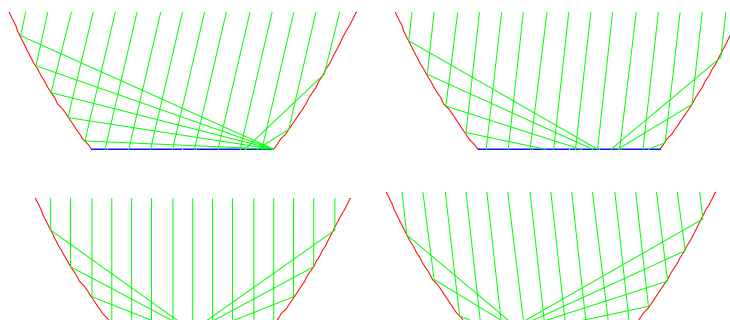


Figura 2: Marcha de rayos mediante CPCdise en el concentrador

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Los secadores ensayados están formados por dos cámaras de secado, de idéntica factura y tamaño, y por un sistema de extracción pasivo, constituido por una chimenea CPC y extractor eólico, y un sistema activo compuesto de dos ventiladores eléctricos alimentados mediante un panel fotovoltaico.

Las dimensiones de las cámaras de secado son 0,85 m de ancho, 0,20 m de alto y 1 m de largo. Fueron construidas en chapa galvanizada y acero inoxidable, con aislación de lana de vidrio de espesor 2,5 cm y una cubierta superior de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor. Ambas cámaras cuentan con un doble nivel de bandejas, para incrementar la capacidad de carga. Se agregó un sistema de cerraje que permite interconectarlas y aumentar la capacidad del sistema conjunto a una carga conjunta de 15 Kg, aproximadamente. Además, para garantizar el ingreso de aire libre de partículas e insectos se diseñó un filtro de tela vinílica removible, que se coloca en la cara frontal del secador.

El concentrador fue construido a partir de un diseño realizado con CPCdise (Durán y Condorí, 2004), para una geometría de absorbedor lineal de 0,25 m de longitud y un semi ángulo de aceptación de 13° ; construido en chapa de aluminio de alta reflectividad, con un absorbedor de chapa galvanizada pintada en negro mate, y una cubierta frontal de policarbonato alveolar de 4mm de espesor. A la salida de la chimenea CPC se adosó un extractor eólico de tipo torre vorticosa, construido en chapa galvanizada de 0.15 m de diámetro y 40 cm de largo. El sistema de ventilación activo está formado por dos ventiladores, alimentados en serie mediante un panel fotovoltaico que entrega una tensión aproximada de 14 V. Los ventiladores elegidos tienen 8 cm de diámetro y son del tipo utilizado en las fuentes de alimentación de PC's, funcionando con 12 V CC, y una carga de

1,2 A; con cual lo el sistema de flujo forzado construido es de bajo costo y fácil reparación. El panel fotovoltaico utilizado es un Solares de 12V y 41,6W.



Figura 3: Secador con chimenea CPC.



Figura 4: Secador con ventiladores eléctricos y panel fotovoltaico.



Figura 5: Vista lateral del secador con chimenea CPC.



Figura 6: Vista de los ventiladores eléctricos.

ENSAYOS REALIZADOS

Las campañas de medidas que aquí se describen se realizó en el predio del INENCO, en la Universidad Nacional de Salta, Campo Castañares, durante el mes de octubre de 2007 y agosto de 2008.

Los ensayos realizados con los prototipos fueron los siguientes:

- Ensayo de evaporación de agua libre y simulación de producto higroscópico de ambos sistemas en paralelo.
- Ensayos de secado de carne, con una carga aproximada de 1,8 Kg en cada prototipo, en ambos sistemas en paralelo.

Ensayo en día claro de evaporación de agua libre y simulación de producto:

En el primero de los ensayos realizados se simulo un producto higroscópico mediante esponjas de poliuretano expandido mojadas y colocadas en bandejas con agua. En esta misma experiencia se siguió la evaporación de agua libre de dos bandejas plásticas, ubicadas en cada uno de los prototipos, como describen las Figuras 7 y 8.

En el ensayo de evaporación de agua libre se censaron: temperatura de salida del flujo de aire, temperatura de placa colectora, temperatura del agua de las bandejas y del producto hidrófilo, temperatura y humedad relativa ambiente, humedad relativa en el

interior de la cámara de secado, y radiación global incidente sobre plano horizontal. Además en cada secador se siguió el peso de una bandeja con agua y de una muestra de esponja húmeda.



Figura 7: Vista de las bandejas con agua y esponjas en el secador Figura 8: Detalle de las bandejas con agua y de las esponjas.

Las medidas de temperatura, radiación y humedad fueron comandadas mediante un datalogger Campbell Sci CR 23X de 12 canales diferenciales, con un intervalo entre medidas de cinco minutos. En las medidas de temperatura se utilizaron termocuplas tipo K, convenientemente calibradas. Las medidas de humedad se realizaron con sensores de Vaisala HMP 45D, y en la medida de radiación se utilizó un piranómetro Kipp & Zonnen CM 3. Las muestras de peso fueron censadas mediante una balanza electrónica Ohaus Scout Pro SP400.

El ensayo fue realizado un día claro del mes de Octubre de 2007. Se orientó el concentrador CPC cada hora y media, aproximadamente, siguiendo la trayectoria del sol. El panel de alimentación del sistema forzado fue orientado hacia el norte.

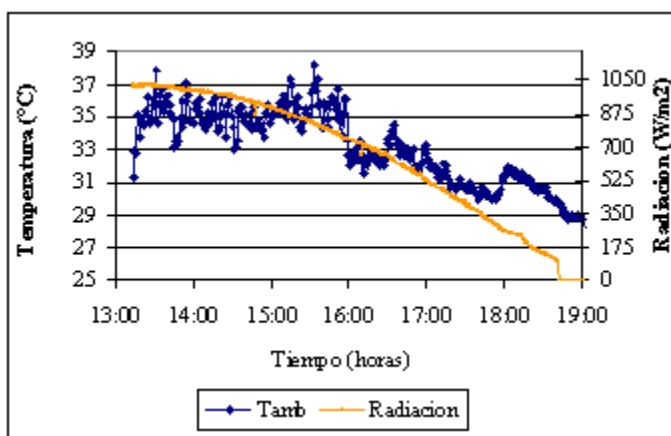


Figura 9: Temperaturas ambiente y radiación sobre plano horizontal.

En la Figura 9 se muestran los valores medidos de temperatura y radiación sobre plano horizontal correspondientes al día de prueba. Se puede ver que la temperatura ambiente y radiación son los acostumbrados para la época del año donde se realizó la experiencia.

La Figura 10 describe las temperaturas de salida del flujo en cada secador. Se puede notar que la temperatura de salida del flujo en el secador con sistema forzado de ventilación sigue a la temperatura ambiente, con variaciones oscilantes debidas a la turbulencia del flujo a la salida del sistema. Se puede ver, además, que existe una diferencia de 20 °C en las temperaturas de salida en cada secador, posiblemente originada por un flujo muy grande en el sistema de ventilación forzado.

La Figura 11 detalla las temperaturas medidas en la placa interna de la cámara de secado en cada equipo. Puede notarse que la temperatura que se alcanza en el secador con chimenea CPC es superior a la que se obtiene en el sistema con ventiladores, lo cual es consecuencia de la diferencia en el flujo de aire circulante por cada secador.

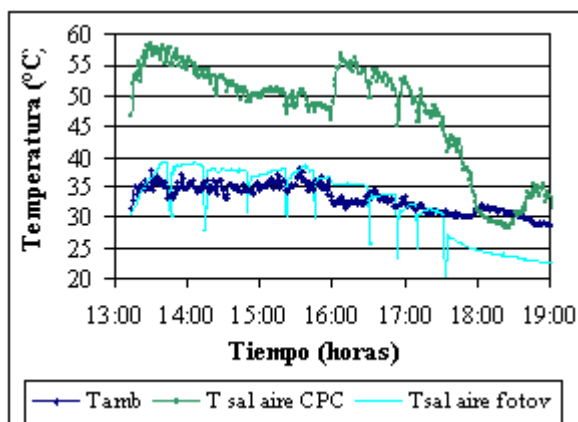


Figura 10: Temperatura de flujo en los secadores.

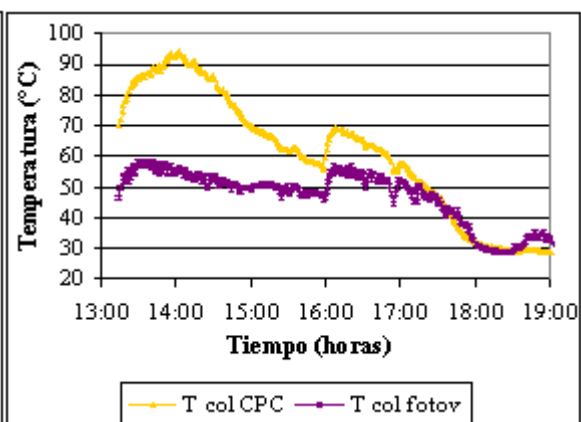


Figura 11: Temperatura de placa colectora en cada secador

La Figura 12 muestra las medidas humedad relativa ambiente y humedad relativa en el interior de las cámaras de secado. Se puede observar en ella que los valores medidos de humedad relativa en el secador con flujo forzado son menores que los registrados en el secador con flujo natural. En la Figura 13 se describen los pesos medidos en las muestras de esponja y en las bandejas con agua censadas en cada secador. Como se observa, la tasa de evaporación de agua para las esponjas es similar en ambos secadores, en tanto que el secador con sistema de flujo natural tiene una mayor extracción inicial en las bandejas censadas.

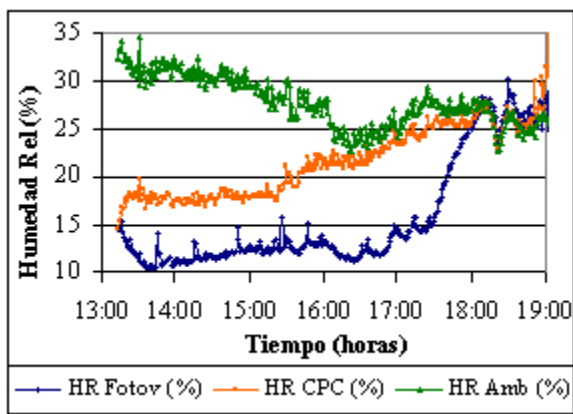


Figura 12: Humedad relativa ambiente y en el interior de los secadores.

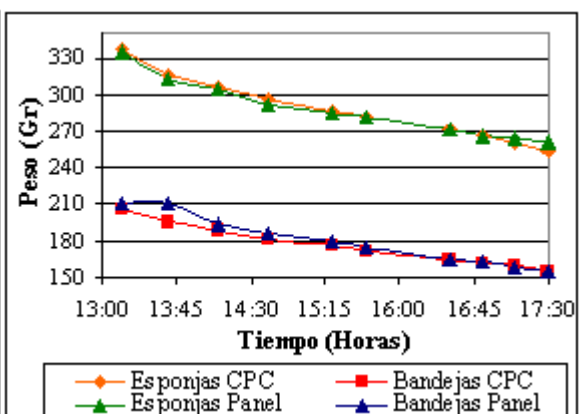


Figura 13: Curvas de peso de las muestras

Ensayo de secado de carne (charqui). Carga de 3,6 Kg.

Se realizó un ensayo del prototipo con carga de 3,587 Kg de carne, en dos días soleados de Agosto. El secador con flujo pasivo fue orientado en la dirección del sol, con movimientos cada hora y media. El secador con sistema activo de flujo fue orientado hacia el norte, al igual que el panel fotovoltaico de alimentación.



Figura 14, 15, 16: Distintas etapas del proceso de secado de charqui.

En esta ocasión se censaron en ambos equipos: temperatura de flujo de aire en los colectores, temperatura de placa colectora interna, temperatura de las muestras de carne, humedad relativa interna y velocidad de aire a la salida de la chimenea CPC y

velocidad de viento. Además se midieron la temperatura ambiente y la radiación global incidente sobre plano horizontal. Por ultimo, se siguió el peso de una muestra de carne en cada secador.

Las medidas de radiación, temperatura ambiente, temperatura de las muestras y temperatura de colector fueron realizadas con termocuplas tipo K y controladas mediante el datalogger ya descrito, con un intervalo entre medidas de 15 minutos. En las medidas de temperatura de flujo en las cámaras se utilizó un termómetro de mano Phytwe GT1160 con termocupla tipo T. Las medidas de humedad fueron realizadas con sensores portátiles Vaisala HMP 45P. Por ultimo, las medidas de velocidad de viento fueron realizadas mediante un termo anemómetro de mano TSI VelociCalc 200.

En la Figura 17 se muestran los valores medidos de temperatura ambiente y radiación sobre plano horizontal, adecuados a la época del año y latitud del lugar.

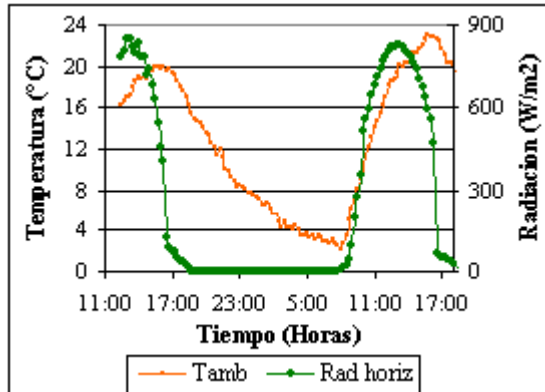


Figura 17: Temperatura ambiente y radiación sobre plano horizontal.

La Figura 18 describe los valores de temperatura de flujo en las cámaras de secado. En ellas se observa que la temperatura de flujo en el secador pasivo es superior a la registrada en el secador activo, lo cual es consecuencia de la diferencia en caudal de aire disponible en ambos sistemas. Además, para el secador con flujo forzado se presenta un salto térmico aproximado de 8 °C respecto de la temperatura ambiente, y un salto de 20 °C para el secador con chimenea CPC. En la Figura 19 se detalla las temperaturas medidas en la superficie interna de los secadores. Se puede observar que ambos sistemas presentan un mejor comportamiento en el primer día de secado, en tanto que el segundo día las temperaturas disminuyen, lo que puede estar originado por la presencia de una mayor radiación difusa en el segundo día.

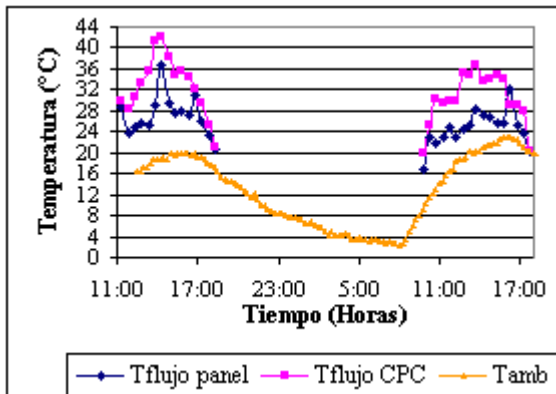


Figura 18: Temperatura de flujo interno.

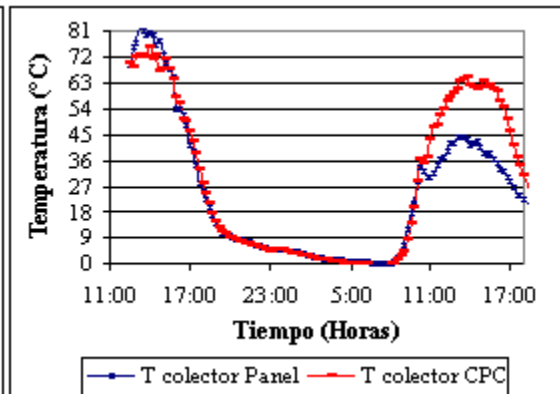


Figura 19: Temperatura de superficie interna de colectores.

En la Figura 20 se muestran los valores de humedad relativa censados en el interior de los secadores. Se puede notar un aumento en la humedad censada al inicio del segundo día, debido al ingreso de aire húmedo en horas de la noche. Además, aunque ambas curvas tienen el mismo comportamiento, la humedad relativa censada en el sistema pasivo es mayor a la medida en el secador con flujo forzado, debido a las diferencias en caudal entre ambos sistemas.

La Figura 21 describe los valores medidos de flujo a la salida de la chimenea CPC, en el caso del sistema pasivo, y el promedio entre los valores censados a la salida de cada ventilador del sistema de flujo forzado. Como se dijo, se observa una diferencia notoria entre los valores de velocidad medidos, con una media de 0.2 m/s en el secador con chimenea CPC, y de 2.1 m/s para el sistema forzado.

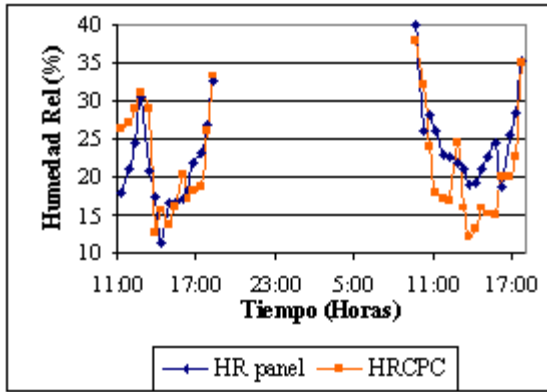


Figura 20: Humedad relativa.

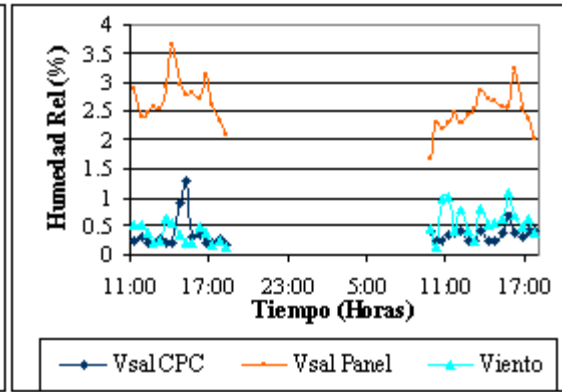


Figura 21: Velocidad de flujo a la salida de los secadores.

En las Figuras 22 y 23 se describen los ensayos realizados para determinar el contenido de humedad de base seca de las muestras secadas en cada caso. El contenido de humedad X fue calculado de acuerdo a la expresión:

$$X_{BS} = \frac{P_{medido} - P_{seco}}{P_{seco}} \quad (1)$$

donde P_{medido} es el peso de las muestras seleccionadas, y P_{seco} el peso seco de las muestras luego de 24 horas de secado en horno a 101 °C. Se puede apreciar que la tasa de secado en ambas muestras es similar, pese la diferencia de peso inicial entre ambas. Puede observarse que al cabo de un día y medio de sol las muestras alcanzaron un 50% de su peso inicial. Al fin de la experiencia, la carga total conjunta disminuyó su peso desde 3,584 Kg, inicial a 1,975 Kg de peso final. El aspecto final, sabor y olor de la carga seca son aceptables.

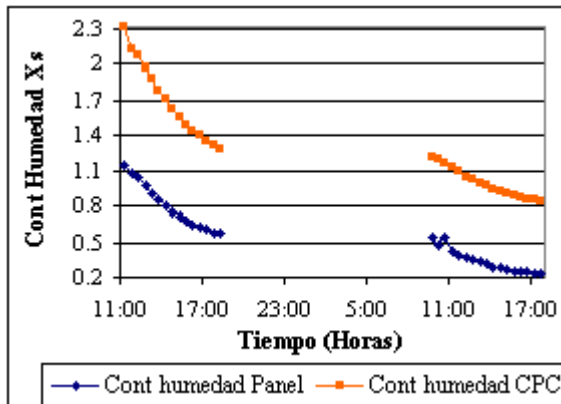


Figura 22: Contenido de humedad de base seca X_s .

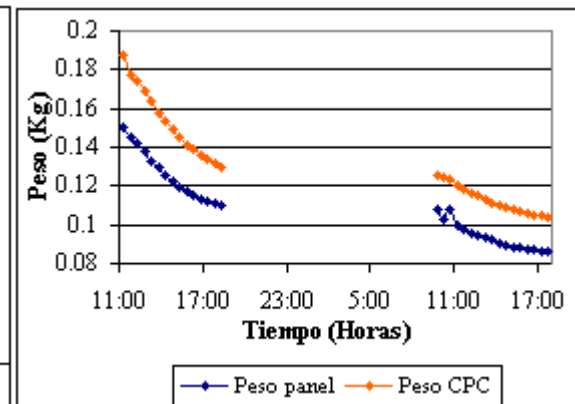


Figura 23: Evolución del peso en cada muestra.

CONCLUSIONES

Si bien por razones operativas relacionadas con la preparación de las muestras de carne y el pesado y distribución de las bandejas, las experiencias descritas fueron iniciadas cerca del mediodía, con lo cual no fueron aprovechadas las primeras horas de sol del día, se puede afirmar que el equipo es capaz de producir carne seca, charqui, en un tiempo cercano a los dos días de sol, para las condiciones de Salta Capital. Con lo cual el equipo desarrollado cumple con el objetivo inicial del trabajo, de proporcionar una producción. No obstante, las experiencias que aquí se muestran sirvieron para comprender el funcionamiento del sistema y para avanzar en las correcciones del prototipo hacia un equipo más confiable y eficiente.

Respecto a su antecesor, el secador de chimenea simple, el secador con chimenea CPC presenta dos ventajas importantes:

a) Mejora la velocidad de secado en aproximadamente un 33 %, y garantizando una producción diaria de producto seco. Lo que mejora la confiabilidad del proceso de secado ya que no se depende de las condiciones meteorológicas de los días posteriores al de inicio.

b) El sistema genera suficiente calor útil como para evaporar 12 kg de agua libre por hora. Lo que indica que se tiene suficiente energía, para duplicar la carga ensayada y llegar a una carga completa aproximada de 8 kg de carne, con posibilidad de ser secada todavía en el día. El aumento de carga permitirá también reducir la temperatura en el secador evitando así algunos problemas de cocción que se observaron en el producto final.

REFERENCIAS

Condori M., Mealla L. y Saravia L. (2001). Estudio y modelización de un nuevo diseño de chimenea solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, N° 1, 2-19-2-24.

Condori M. (2002). Diseño y construcción de secadores destinados a la producción de carne deshidratada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 5, N° 1, 2-19 2-24.

Condori M., Durán G. (2004). Sistema Chimenea – Concentrador Solar para producir convección natural de aire en un secador doméstico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 8, N° 1, 2-49 2-56.

Durán G., Condori M. (2007). Ensayo de un secador solar pasivo con chimenea CPC y extractor eólico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 11.

Bastianon R., Erramuspe H. (1978) Análisis y diseño de una torre vorticosa ensayada en túnel de viento. *4° Reunión de Trabajo de Energía Solar*. Vol 3 N° 1 pp 355 – 365.

Campbell Scientific. Campbell Micrologger CR32X Overview. Revision 2/06

Campbell Scientific. AM25 Solid State Multiplexer Manual. Revision 2/06

ABSTRACT

Different tests, destined to the production of dried meet, are presented. These tests were performed using produced by a CPC concentrator chimney and a wind turbine, and a solar domestic drier with forced airflow produced by two dc fans, operated by a photovoltaic module. These tests were performed on different climatic conditions, and cover free water evaporation tests, and meat drying. The results obtained are compared between them.

Keywords:

CPC, solar chimney, wind turbine, solar drier, photovoltaic module