

SECADOR INDUSTRIAL HÍBRIDO SOLAR – BIOMASA PARA LA PRODUCCIÓN CONTINUA DE PIMIENTO DESHIDRATADO.

M. Condorí, G. Durán, R. Echazú, G. Díaz Russo

INENCO, Instituto UNSa-CONICET
Universidad Nacional de Salta,
Calle Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
Fax: 54-387-4255489, Email: condori@inenco.net, gduran@inenco.net

Recibido: 26-04-10 ; Aceptado:28-05-10.

RESUMEN.- Se presenta el diseño, detalles constructivos y ensayos realizados en un secador solar para producción de escala industrial. El equipo, ubicado en San Carlos, provincia de Salta, Argentina, está destinado a la producción de pimiento seco en vaina. Cuenta con circulación forzada de aire y calentamiento auxiliar mediante un quemador de biomasa. Los aspectos constructivos y de diseño que se introducen representan una mejora tecnológica respecto al secador túnel convencional con quemador de leña con el que se venía operando. Las mejoras en la eficiencia térmica del sistema llevan a una mayor velocidad de secado durante el día con la consecuente disminución del uso de energía convencional. El sistema fue ensayado durante 2009, con funcionamiento solo solar, y durante 2010 utilizando el banco de colectores solares de aire en serie con el quemador de leña. Se presenta un estudio mediante el software RETScreen para determinar el tiempo de amortización del equipo.

Palabras claves: secador solar, colector solar de aire, eficiencia energética, sistema solar híbrido, quemador de leña

SOLAR-BIOMASS HYBRID INDUSTRIAL DRYER FOR CONTINUOUS PRODUCTION OF DEHYDRATED SWEET PEPPER

ABSTRACT. The design, construction and tests on a solar dryer for industrial production is presented. The system, located in San Carlos, province of Salta, Argentina, is designed to production of dried sweet pepper in pod. It has forced airflow and auxiliary heating by biomass burner. The design and construction aspects that were introduced represent a technological improvement in reference to the original conventional tunnel dryer, asisted by a wood burner. Improvements in thermal efficiency of the system lead to higher drying rate during the day with the consequent reduction in the use of conventional energy. The system was tested during 2009, only on solar operation, and during 2010 using a bank of air solar collectors in series with the wood burner. Also, the study, using RETScreen software, to determine the payback of the equipment is presented.

Keywords: solar dryer, air solar collector, energetic efficiency, solar hybrid system, wood burner

1. INTRODUCCIÓN

La producción de pimiento para pimentón es uno de las actividades económicas de mayor raigambre en el Norte Argentino. La mayor parte de la producción nacional está concentrada en la zona de los valles Calchaquienes destacándose las producciones de Santa María, provincia de Catamarca y de Cachi y San Carlos en la provincia de Salta. En los últimos años también se ha incorporado a la producción la localidad de Guachipas, del Valle de Lerma de Salta.

El cultivo de pimiento para pimentón es en la actualidad una actividad económica de subsistencia, realizada por pequeños minifundistas, que disponen de escasos recursos tecnológicos. Por ello, la mayor parte de la producción es secada al aire libre en canchas de tierra, lo que origina un producto de baja calidad, con un secado deficiente, contaminado con resto de animales e insectos y formación de hongos.

Con el objeto de mejorar el rendimiento y la calidad del producto seco que se obtiene en la zona, se han realizados algunos intentos por mejorar la tecnología del secado solar que se utiliza en la producción de pimiento deshidratado. Pueden mencionarse los antecedentes de Cachi y en Santa María (Saravia et al, 1983; Saravia et al, 1984), donde se ensayaron con calentadores solares de aire con lecho de piedra y cubierta plástica de 50 m de largo. Más recientemente, se han instalado sistemas de secado solar de escala industrial con bancos de colectores solares de mayor eficiencia en Huacalera, provincia de Jujuy, (Condorí *et al*, 2006) y en San Carlos, provincia de Salta (Condorí *et al*, 2008).

Los sistemas de secado solar de baja tecnología presentan muchas ventajas, entre ellas sus moderados costos de construcción y una tecnología apropiada para pequeñas producciones. Sin embargo, en procesos de secado donde la carga del producto es del tipo industrial, es necesario garantizar condiciones diarias de secado. Una estrategia para afrontar esta necesidad es la incorporación de un sistema de

acumulación de calor durante el día, para ser utilizado en horas de la noche, incrementando la autonomía del secador. También se puede plantear el uso de sistemas híbridos con una fuente auxiliar de energía; como un quemador de gas o leña, o un sistema de calentamiento eléctrico.

En este trabajo se presenta el diseño, detalles constructivos y ensayos realizados en el secador híbrido solar-biomasa. El secador se encuentran ubicados en la comunidad de San Carlos (22°52'59" S, 64°40'00 O, 1800 msnm), donde funciona una planta de molinera de pimientón seco. Los ensayos fueron realizados durante las cosechas 2009 y 2010 y muestran el funcionamiento del sistema mediante calentamiento solar junto al aporte auxiliar de energía por quema de biomasa. Además se presenta un análisis del secador híbrido, mediante RETSCREEN, un software de análisis de factibilidad de proyectos de energía limpia.

2. FUNCIONAMIENTO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL SECADOR

En el sistema, el calentamiento del aire se realiza mediante la energía provista por un banco de colectores calentadores de aire y el auxilio de un quemador de leña que se encuentra en serie con el caño maestro central que recoge el aire caliente del banco. A la salida de este se coloca la cámara de secado, aislada térmicamente y opaca a la radiación solar incidente, ver Figuras 1 y 2.

Dado que se coloca un ventilador eléctrico entre el quemador y el banco, los colectores y el caño maestro

trabajan en depresión, mientras que la cámara de secado lo hacen con sobre presión. El aire es forzado, mediante un ventilador centrífugo, de 4 HP, a ingresar un determinado caudal de aire ambiente en cada colector donde aumenta su temperatura. Este aire caliente ingresa al caño maestro y luego al quemador de leña, obteniéndose al final la temperatura y el volumen de aire necesario para el proceso de secado en la cámara. En el interior de la cámara se encuentra el producto a deshidratar dispuesto en bandejas. Finalmente, el aire húmedo sale de la cámara de secado por dos ventanas ubicadas en la puerta de ingreso de producto fresco, desde donde es desechando a la atmósfera.

El movimiento de los carros en el interior de la cámara es a contracorriente del flujo de aire, lo que produce un gradiente de secado en la dirección del flujo. Así, la operación del secador en un día normal de trabajo consiste en sacar por la puerta lateral de la cámara, próxima al ingreso del aire caliente, los carros con producto seco, mientras se introducen por la puerta principal los carros con producto fresco.

La superficie total ocupada por el secador es de aproximadamente 345 m², de los cuales el banco de colectores y el caño maestro utilizan 306 m². De estos, 195 m² los ocupan los colectores, mientras que el resto incluye las conexiones y el área de paso. A la cámara de secado y al quemador de biomasa les corresponden los 39 m² restantes.

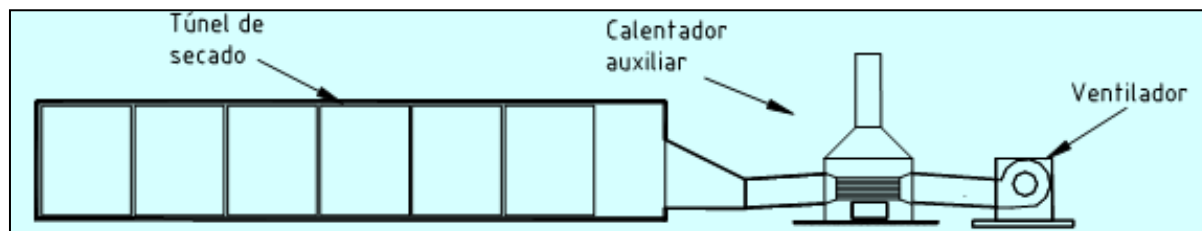


Fig. 1: Vista lateral sur del Secador Solar Híbrido de pimientón para pimientón de San Carlos, Salta.



Fig. 2: Fotografía del secador. Vista lateral este – oeste, con colectores dirigidos al norte.

2.1. Banco de Colectores.

El banco de colectores trabaja en serie con un quemador de

leña, regulando el funcionamiento día-noche. Durante un día de buena radiación sólo se implementa el funcionamiento del banco de colectores. Durante la noche o en días de escasa radiación, cuando se necesita elevar la temperatura de salida de los colectores, se utiliza el quemador de leña.

El número total de colectores es 26, distribuidos en dos grupos de 13 ubicados en ambos lados del caño maestro. La separación eje a eje entre colectores para evitar el sombreado entre ellos es de 1,4 m, quedando aproximadamente 0,40 m entre colectores para circulación y para evacuar el agua de lluvia.

Los colectores son cajas de chapa galvanizada de 0,94 m de ancho, 7,5 m de largo y 0,1 m de alto. La cara interior tiene aislación térmica en lana de vidrio, 5 cm de espesor. El absorbedor se construye en chapa galvanizada ondulada pintando de negro mate la cara superior. Como se puede apreciar en el esquema de corte transversal, la circulación de flujo de aire se produce por debajo y arriba del absorbedor, que está separado 5 cm. del fondo del colector.

La cubierta superior es de policarbonato alveolar transparente de 4 mm de espesor. El cierre entre la cubierta y el cajón se realiza con sellador siliconado y con ángulos de chapa galvanizada sujetados con remache. La longitud de cada cajón es de 2,44 m de largo. En sus extremos, se colocan bastidores en forma de C, de caño estructural de 20 mm de lado. Estos bastidores se sujetan a la chapa mediante remaches y se utilizan 3 cajones unidos para formar el

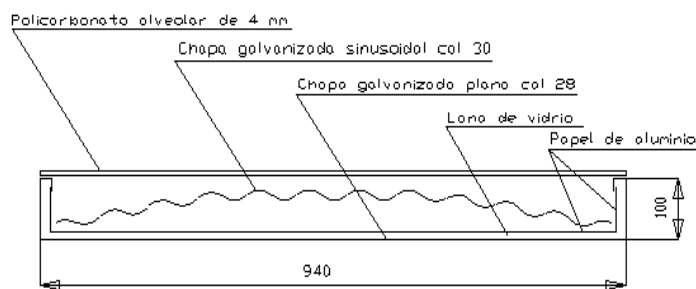
colector, de 7.44 m de largo.

Cada colector puede girar sobre su eje longitudinal con un sistema simple que permite también que los colectores sean rebatibles. Así, el ángulo de la pendiente del colector con la horizontal puede variarse con la altitud del sol a lo largo del día para mejorar la eficiencia de captación solar (ver Fig 3).

2.2. Caño Maestro.

El extremo de cada colector se une al caño maestro mediante una campana que reduce la sección rectangular a una redonda. En el extremo redondo se coloca una llave tipo mariposa para controlar el flujo de aire. Esta llave permite que cada colector trabaje con un flujo de aire controlado a fin de mantener la eficiencia del sistema.

El caño maestro tiene 18 m de largo, y está compuesto por dos tramos de 9 m de largo cada uno y secciones de 0,90 m por 1 m y 0,30 m por 0,5 m respectivamente. El aumento de sección permite equilibrar la presión por la suma de flujos de cada colector, evitando así un aumento brusco en la velocidad del aire y las pérdidas de carga asociadas. La última sección del caño maestro se une al ventilador mediante un acople de sección 1 m por 0,50 de lado, a una circular de 0,25 m de diámetro que coincide con la entrada del ventilador.



Figs. 3,4: Esquema de corte transversal de colector. Sistema de rotación de los colectores y acople al caño maestro.

2.3. Quemador de Leña.

El quemador de leña tiene una boca de 0,6 m por 0,6 m y termina en una chimenea de 0,9 m por 0,3 m de área interna y 3 m de alto. Cuenta con una exclusiva tipo cinta para regular el paso del humo y la combustión del horno. En el interior y por encima de la cámara de combustión se colocó un intercambiador de calor, del tipo banco de tubos alternados, con caño de hierro redondo de 0,10 m de diámetro con una configuración de 4 por 3 caños. Por el interior de los caños circula el aire proveniente de los colectores hacia la cámara de secado mientras que por fuera el humo de la combustión. Este tipo de conexión en línea permite que el quemador funcione como complemento de la energía producida por vía solar. La Fig. 5 muestra una fotografía de la etapa de construcción del sistema de calentamiento auxiliar donde se aprecia la disposición del banco de colectores y el intercambiador de calor respecto a la cámara de secado.

2.4. Cámara de Secado.

El aire caliente ingresará a la cámara de secado atravesando un difusor. La entrada del difusor tiene la misma sección que la boca de salida del banco de tubos (0,3 m por 0,5 m),

terminando en una sección de 2 m².

Las medidas internas del secador son 1,85 m de alto, 10 m de largo y 3 m de ancho. Su estructura está construida en caño de 40 mm de lado en los verticales y de 40 mm por 20 mm en los horizontales, fijándose al piso mediante tornillos tirafondos. El piso tiene aislamiento térmico con placas de poliestireno de 5 cm de espesor. Por encima de éstas placas se coloca malla sima y se construye una carpeta de concreto reforzado alisado. Se asegura un buen cierre entre la estructura y el piso colocando burletes de goma.

El interior del secador está revestido con chapa galvanizada lisa en las paredes y con chapa galvanizada ondulada en el techo. Todas las uniones entre chapas están selladas y unidas a la estructura con remaches. El exterior está revestido con chapas galvanizadas onduladas y sujetas a la estructura con tornillos. Entre el revestimiento interior y exterior se coloca como aislación térmica una capa de lana de vidrio de espesor 5 cm, con barrera para la humedad.

La cámara posee un portón frontal de acceso al producto fresco y una lateral de salida para el producto seco. El

portón de acceso consiste en dos hojas de 1,50 m por 1,85 m cada una, con una ventana de 0,5 m² para la salida del aire, cubierta con un filtro sintético que evita la entrada de insectos y de polvo.

En el interior de la cámara se ubican 12 carros distribuidos en 2 filas, que transportan 15 bandejas de 1,5 m² de área cada una. Los carros están constituidos por una estructura metálica con ruedas, de altura total 1,80 m, realizada con caño estructural y hierro ángulo. Sobre ellos se colocan las bandejas cargadas, con 10 cm de separación entre sí. La

separación entre las dos filas de carros y entre estos y las paredes de la cámara es de 5 cm.

Las bandejas consisten de un marco de estructura metálica con una base de malla plástica tipo media sombra para permitir la circulación del aire a través del producto. La densidad de carga de las bandejas es de 9 kgm⁻² y cada carro carga aproximadamente 200 kg de producto fresco, siendo 2400 kg el total para la cámara de secado.



Fig. 5: Detalle del intercambiador de calor y banco de colectores.



Fig. 6: Cámara de secado. Puerta lateral (izquierda) y portón frontal (derecha)

3. ENSAYOS REALIZADOS.

3.1. Ensayos del secador con el sistema solar.

Durante el mes de marzo de 2009 fueron realizados los primeros ensayos del sistema. Durante esa cosecha, el secador funcionó solo mediante calentamiento solar. Fueron sensados en forma automática temperatura y humedad del aire, tanto en el ambiente como en distintos puntos del secador. También se recogieron en forma automatizada los valores de radiación solar sobre plano horizontal y sobre plano de un colector y la velocidad de viento. En forma manual se midió la velocidad del flujo de aire en el interior de la cámara de secado y a la entrada del ventilador. Por último, con una balanza y de forma manual, se siguió la pérdida de peso de una muestra del producto.

Las medidas de temperatura fueron realizadas mediante termocuplas tipo K. La radiación solar global se midió sobre el plano de los colectores, con dos pirheliómetros Kipp Zonnen CM 3. Para medir velocidad de flujo de aire dentro de la cámara de secado se utilizó un anemómetro de hilo caliente TSI Veloci Calc mod. 8345. En las medidas de humedad relativa en el interior de la cámara se utilizaron dos sensores HMP45A de Vaisala. Estos sensores fueron

conectados a un Datalogger Campbell CR 23x programado con una frecuencia de adquisición de 5 minutos.

Además se contó con otro datalogger, CR1000 Campbell para medir las variables climáticas correspondientes a las condiciones ambientes. Así, con una frecuencia de muestreo de cinco minutos, se sensó la radiación solar global sobre plano horizontal, mediante otro pirheliómetro Kipp Zonnen CM 3, humedad relativa ambiente, con un higrómetro Vaisala HMP45A, temperatura ambiente, mediante termocupla tipo K, y por último, velocidad y dirección de viento, utilizando un anemómetro de cazoleta MET ONE 14A. Por último, las medidas de peso de la muestra de producto secado fueron realizadas con una balanza Ohaus ScoutPro.

En la Fig. 7 se muestra un esquema de ubicación de los sensores utilizados. Los números 1 al 7 representan las termocuplas, los números 8 y 9 las sondas de humedad de la cámara y los números del 10 al 13, a la radiación solar, velocidad de viento, temperatura y humedad ambiente.

3.2 Ensayos del secador en funcionamiento híbrido.

Durante la campaña de secado 2010 se estudió el

comportamiento del secador en funcionamiento híbrido, con calentamiento solar y quemado de leña. Se utilizó el mismo equipo de medición que se describió anteriormente. En estos ensayos se midió la temperatura del flujo de aire a la entrada y salida de dos colectores, a lo largo del caño maestro, en el interior del intercambiador, y a la entrada y salida de la cámara de secado. También fueron medidas la temperatura de los gases de escape del quemador y la temperatura en el interior del horno. Además se tomaron medidas de humedad

relativa ambiente en el interior de la cámara de secado.

Por último, se registraron valores de temperatura y humedad ambiente, velocidad de viento y radiación solar global sobre superficie horizontal.

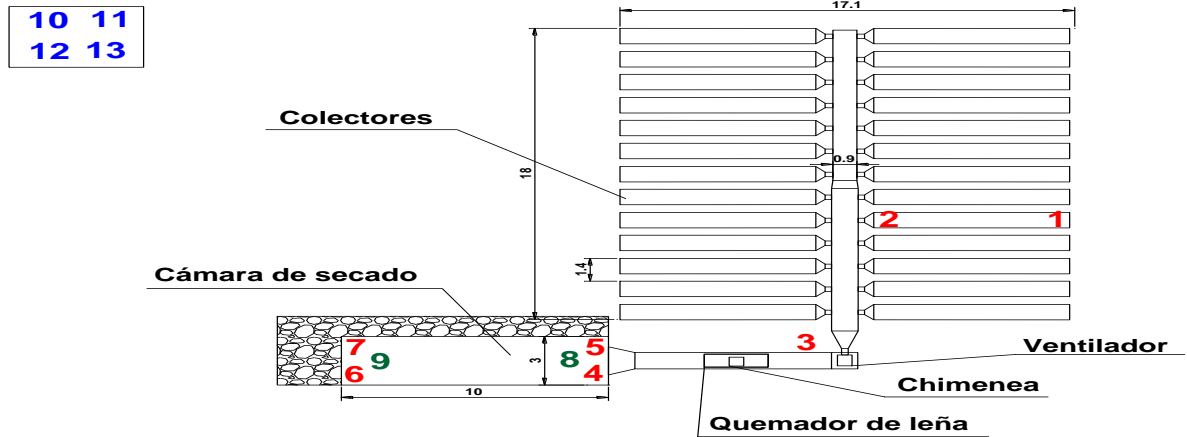


Fig. 7: Ubicación de los sensores utilizados en la campaña de medidas realizadas en Marzo de 2009.

4. RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se muestran los datos recogidos durante el día 21 de marzo. Este día tiene la particularidad de corresponder al primer día de carga de una tanda de secado y el funcionamiento de los ventiladores comenzó después del medio día solar, tiempo que le requirió al productor preparar el producto y cargar la cámara de secado con las bandejas.

En la Fig. 8 se muestran las mediciones correspondientes a la temperatura y la humedad relativa ambiente del día de medición y el consecutivo. Si bien el día 21 tiene problemas de nubosidad hacia la tarde, Fig. 9, se confirman las condiciones excepcionales del clima del lugar para secar. La medición corresponde al primer día de otoño, obteniéndose temperaturas máximas cercanas a los 38 °C. Los valores registrados de humedad relativa se encuentran entre el 20 % y el 40 %.

solar media sobre plano horizontal de acuerdo a datos estadísticos.

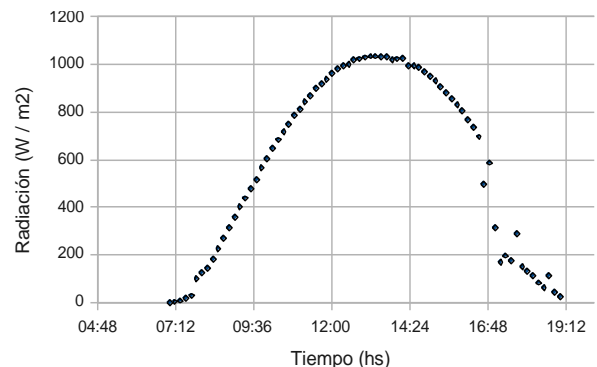


Fig. 9: Radiación solar en el plano de los colectores.

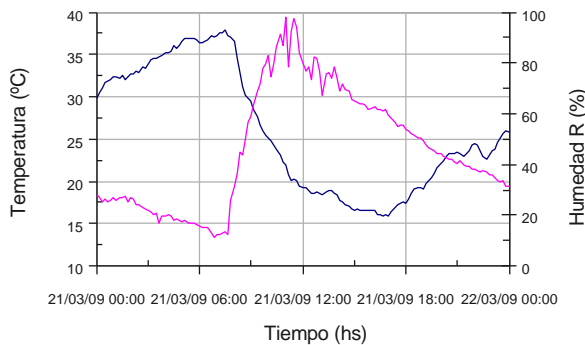


Fig. 8: Evolución de la temperatura y humedad ambiente.



Fig. 10: Velocidad del viento.

La Fig. 9 muestra los valores de radiación solar medidos sobre el plano del colector para ese día. Se observa que al medio día solar se obtienen una radiación instantánea cercana a los 1000 Wm⁻², siendo de 21 MJm⁻² la radiación

La Fig. 10 muestra la velocidad de viento para el mismo día. La dirección predominante es noreste-suroeste y se observan intensidades entre 5 y 5,5 ms⁻¹, entre las 15 y las 16 hrs, siendo la media aproximadamente de 2 ms⁻¹.

La Fig. 11 muestra la temperatura del flujo de aire en la entrada, salida de los colectores y en el interior del caño

maestro. En ella se observa que el máximo valor registrado en el colector es 80 °C, al mediodía solar, 13:15 hrs. En ese instante no está funcionando el ventilador, que fue encendido a las 14 hrs, originando un descenso de 20 °C en los valores de temperatura cercanos a los 60 °C.

de los 40 °C por unas 8 horas de funcionamiento, de las aproximadamente 12 horas de radiación solar. A pesar de que el caño maestro no se encuentra aislado la disminución de temperatura en este es sólo de unos 3 °C, debido a que también está recibiendo aporte de energía solar en su superficie y se comporta como un colector.

Sin embargo, por la simetría horaria respecto al mediodía solar los colectores proporcionan temperaturas por encima

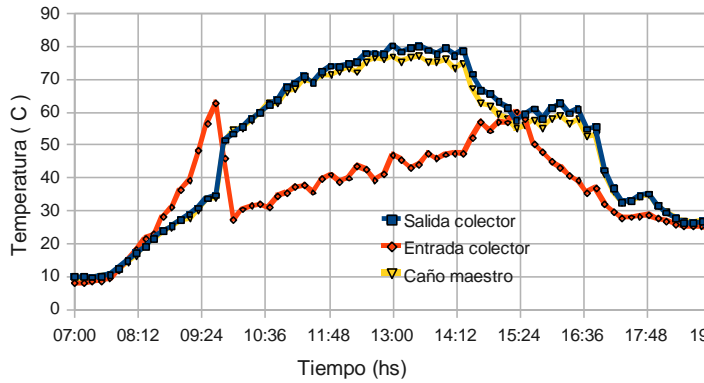


Fig. 11: Evolución de la temperatura del flujo de aire en un colector.

La Fig. 12 muestra las temperaturas medidas en la cámara de secado. La temperatura de entrada se incrementa en forma continua de 20 °C hasta 62 °C, a las 16 hrs, indicando la existencia de una circulación natural de aire desde el banco de colectores a la cámara. Estos valores de temperatura son adecuados para evitar la formación de hongos en el pimiento fresco.

De las curvas de temperatura que corresponden a la entrada de la cámara, la de la parte baja se ha tomado próxima a las bandejas con producto y la otra, bien sobre la boca de entrada de aire. Se observa disminución de temperatura de 60 a 40 °C, debido al enfriamiento evaporativo. El salto de temperatura que se obtiene respecto a la temperatura ambiente es de 30 °C.

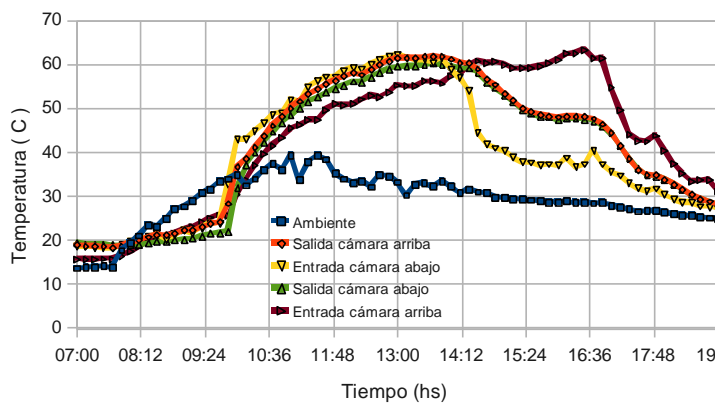


Fig. 12: Temperatura de aire en la cámara de secado.

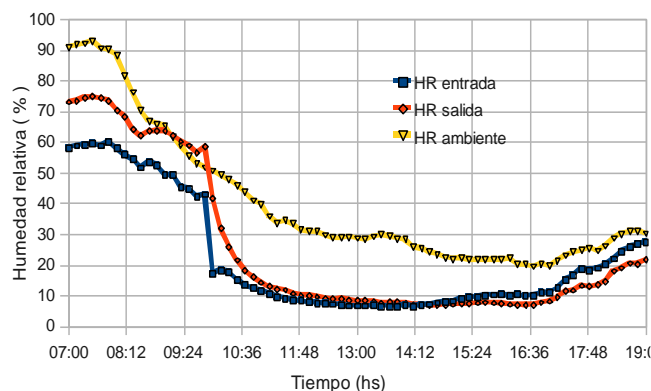


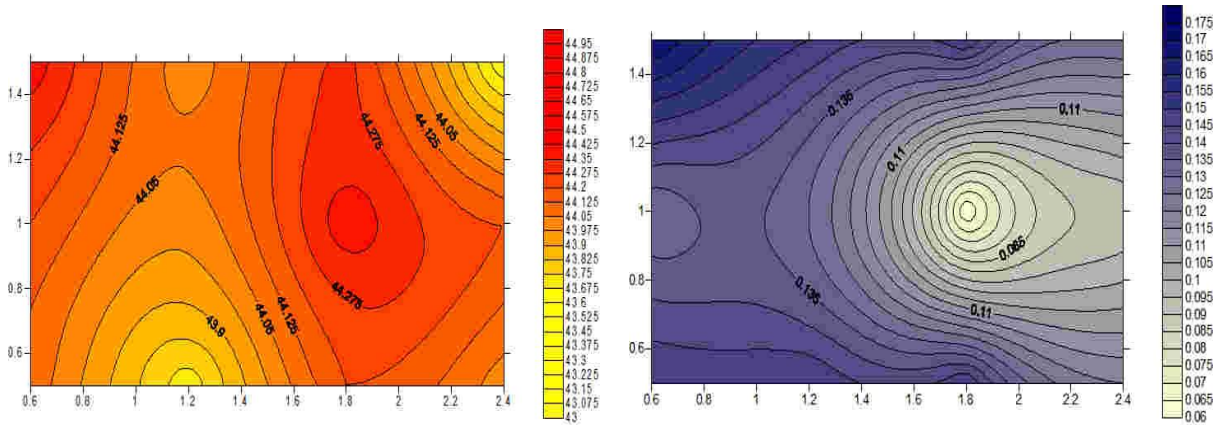
Fig. 13: Humedad relativa en cámara de secado y ambiente.

La Fig. 13 muestra los valores medidos de humedad relativa ambiente, y a la entrada y salida de la cámara para ese día.

Cuando se enciende el ventilador los valores de humedad relativa en la cámara bajan al 10 %, pero no se observa un aumento apreciable a la salida debido a la incorporación de masa de agua. Esto está indicando un aprovechamiento deficitario del potencial de secado del aire y la posibilidad de aumentar la carga de la cámara de secado.

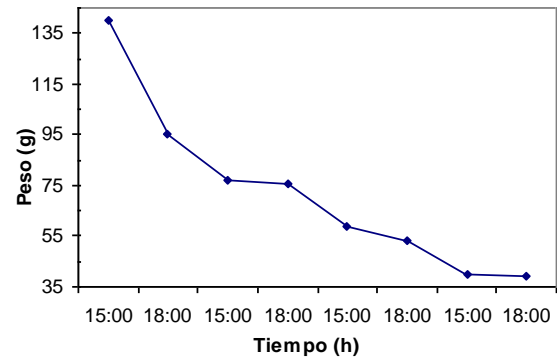
En la Fig. 14 se muestra el perfil de temperaturas obtenido a partir de la medición manual para distintos puntos de la

sección transversal de la cámara, cargada con producto. El eje de las ordenadas corresponde al alto de la cámara, 1,80 m y el eje de las abscisas al ancho de la misma, 3 m. El perfil corresponde a la salida de la cámara de secado. Se observa cierta distribución no uniforme. Sin embargo, la distribución de temperatura no presenta diferencias mayores a los 2 °C con valores límites entre 43 °C y 45 °C.



Figs. 14, 15: Perfiles de temperatura 2D (izquierda) y velocidad del flujo de aire (derecha).

La Fig. 15 muestra los perfiles correspondientes a la velocidad del aire. A la salida de la cámara se sigue observando la falta de uniformidad del flujo, En este caso, el rango de variación de la velocidad está entre 0,175 y 0,06 ms^{-1} . Debido al frenado del paso del aire a través de los carros, se observa coincidencia entre las zonas de velocidades más bajas y las de mayores temperaturas. Con estos valores de velocidad, el flujo másico promedio en la salida de la cámara es de 0.73 m^3/h .



En la Fig. 16 se muestra la curva de pérdida de peso obtenida para el pimentón de la fotografía, derecha. Este seguimiento fue realizado con una balanza electrónica en forma manual. El producto fue considerado seco siguiendo el criterio de observación de un productor experimentado. Para esta experiencia, se alcanzó la condición de seco en aproximadamente 2,5 días de sol (30 horas), pero en general el tiempo promedio de secado es de aproximadamente 2 días de sol dependiendo si la carga de producto fresco se hace temprano a la mañana o no, y de las condiciones ambientales para ese momento. Si se considera que el secado por el método tradicional a cielo abierto se extiende entre 3 y cuatro semanas, el secador mejorado funcionando sólo con energía solar presenta una notable reducción del tiempo de secado.



Figs. 16, 17: Curva de secado y fotografía del producto seco.

Se enviaron muestras del pimentón seco en vaina al laboratorio de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Exactas, de la Universidad Nacional de Salta, para la determinación del color mediante el método ASTA 20.1. Los resultados informados fueron de 180 unidades. Según el código alimentario argentino se requiere un valor mínimo de 120 unidades para un pimentón de calidad Extra. Si bien este no es el único requisito requerido para asegurar la calidad del pimiento seco, su valor está determinado fundamentalmente por su color..

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la operación del secador en un lapso de tres días, 18 al 21 de mayo. La Fig. 18 muestra la evolución de la temperatura a la entrada de uno de los colectores y de la radiación global sobre plano horizontal para estos días. La Fig. 19 describe la variación de la temperatura del aire a lo largo del caño maestro y a la salida del ventilador. Se observa una caída de temperatura entre la entrada y salida del caño maestro

cercana a los 10 °C al mediodía solar, originada por la falta de aislamiento. Por otra parte, en esta figura se observa un incremento en temperatura a la salida del ventilador, a partir de la hora 19, cuando se enciende la leña y es apreciable

hasta la salida del sol, a horas 7. Este fenómeno se debe a la existencia de flujo natural inverso por diferencia de temperaturas.

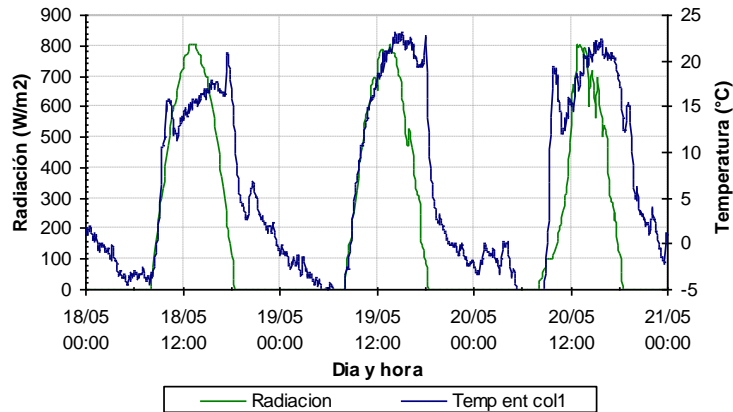


Fig. 18: Evolución de la temperatura en la entrada del colector izquierdo. Radiación solar sobre plano horizontal

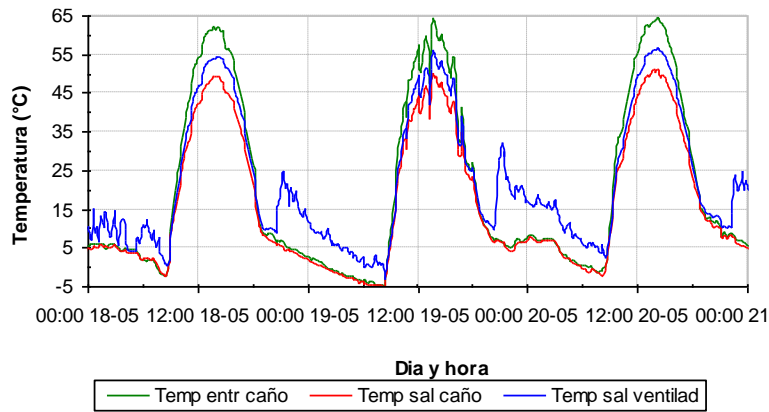


Fig. 19: Temperatura de flujo de aire a través del caño maestro y a la salida del ventilador.

La Fig. 20 detalla las temperaturas de flujo de aire obtenidas a la salida de dos colectores ubicados en la segunda fila a ambos lados del caño maestro. En horas cercanas al mediodía solar se observan incrementos de temperatura de 30 °C respecto a la entrada del colector.

incrementar la carga de producto a secar. Para ello se plantea una ampliación de la cámara de secado llevándola a una capacidad de carga de 4 Tn de pimiento fresco.

De acuerdo a la Fig. 21, la humedad relativa a la entrada de la cámara es baja a lo largo del día. La presencia del producto incrementa la humedad relativa del aire en un 30% aproximadamente. Como el flujo de aire a la salida de la cámara todavía tiene una humedad relativa baja, se plantea

La Fig. 22 describe la evolución de la temperatura del flujo en el interior de la cámara de secado, y la temperatura de producto. La escasa diferencia entre las temperaturas de flujo en la entrada y la salida de la cámara refuerza el análisis realizado en el párrafo anterior, por lo que se considera viable un aumento de carga a secar.

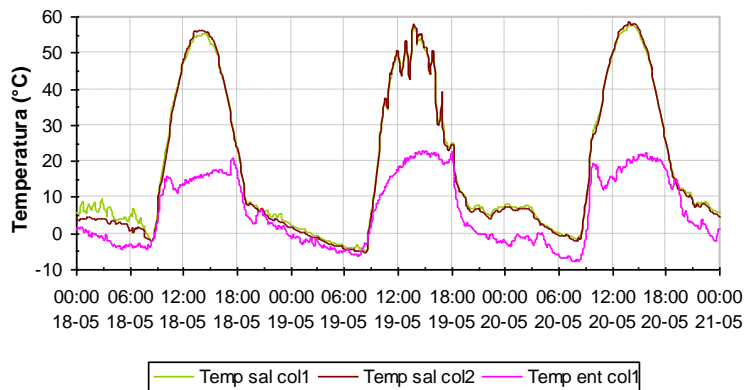


Fig. 20: Temperatura de flujo de aire a la salida de los colectores solares.

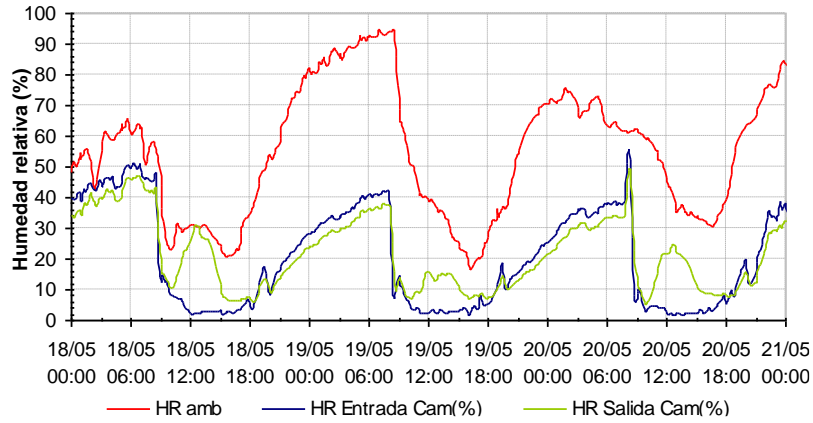


Fig. 21: Humedad relativa ambiente, humedad relativa a la entrada y salida de la cámara de secado.

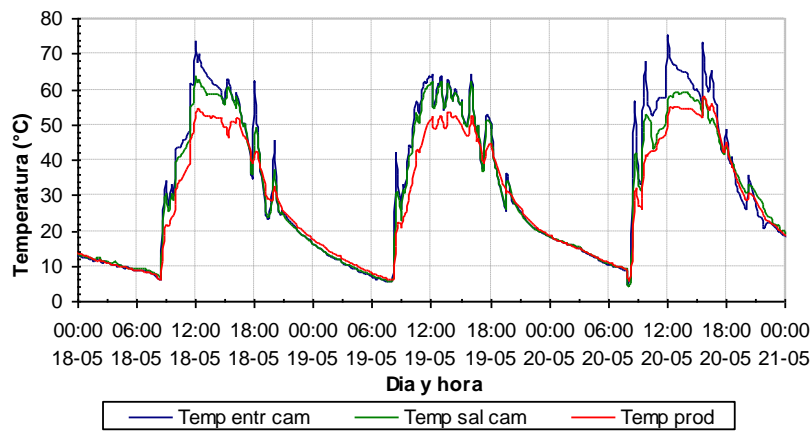


Fig. 22: Temperatura de flujo de aire en el interior de la cámara de secado y temperatura de producto a secar.

La figura 23 muestra los valores de temperatura medidos en el intercambiador y la temperatura de los gases de combustión, medidos a la salida de la chimenea, donde dadas las condiciones climáticas, el quemador se puso en funcionamiento desde las 07:30 hasta las 11:00 y desde las 17:30 a las 22:00.

Se observa un comportamiento oscilante en los valores superiores a los 200 °C, debido a que son interpretadas por el datalogger como canales abiertos, o cortocircuitos, y son

reflejados en la gráfica como valores de temperatura de 0 °C. La temperatura del aire que sale del intercambiador se encuentra próxima a los 40 °C mientras la de los gases de escape supera los 140 °C, que es alta respecto a los valores del intercambiador, indicando que no se aprovecha de forma eficiente la energía liberada en la combustión de la leña, por lo cual se pueden plantear mejoras al intercambiador agregándole tubos al banco

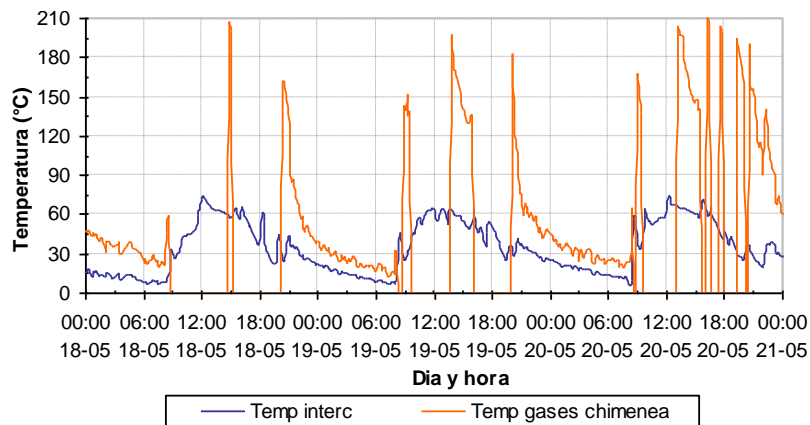


Fig. 23: Temperatura de flujo en el intercambiador, y temperatura de gases de combustión desde el 18 a 21 de mayo.

5. EL SISTEMA COMO PROYECTO DE ENERGÍA LIMPIA

RETScreen es un Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia que está planteado como una planilla de cálculo inteligente, y es utilizado frecuentemente como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y valoración de proyectos basados en energías renovables. Su versatilidad permite evaluar la producción de energía y ahorros, costos de ciclo de vida, reducción de emisiones, aspectos financieros y de riesgo de varios tipos de tecnologías de energía eficiente y renovables. El software también incluye bases de datos de productos, costos y de clima.

El criterio de análisis de RETScreen se basa en el contraste entre un caso base (usualmente, un sistema con una fuente energética no renovable) y un caso propuesto (donde se plantea la sustitución, total, o parcial, del uso energético base).

Se realizó un análisis de un proyecto híbrido de generación de calor mediante colectores solares de aire y quemador de leña, destinado al secado de cosechas (caso propuesto); planteado como alternativa de uso a un secador con quemador de leña (caso base). Los valores utilizados en las variables de entrada del análisis corresponden a las dimensiones, características y volúmenes de producción del secador ensayado.

Así, el valor de resistencia térmica de los colectores, paredes y techo de la cámara de secado corresponde a la aislación térmica utilizada (lana de vidrio). El caudal de diseño corresponde al valor del ventilador utilizado. Las horas de uso por día, junto a los días a la semana que es utilizado el secador, son acordes a los reales, como así también el porcentaje mensual de uso del secador. De igual forma, las características de funcionamiento del quemador de leña, fueron tabuladas según valores medidos.

El análisis económico del proyecto se realizó en base a los costos reales registrados en la construcción del sistema de calentamiento por energía solar; en base al costo del kW/h registrado en la tarifa eléctrica del productor; y considerando el costo de la leña utilizada.

La actividad productiva analizada es de tipo estacional, y por ello el volumen de producción fue tabulado de forma acorde al uso real del secador, esto es, trabajo a plena carga de Enero a Marzo, para luego ir decreciendo la producción, hasta la llegada de las primeras heladas, que usualmente ocurren en Mayo. Se consideró además un uso continuo en la temporada de secado donde el secador funciona un promedio de catorce horas al día, siete días a la semana, incluidos sábado y domingo

Los valores de radiación diaria utilizados por RETScreen fueron tomados de la página del servicio SRS de la NASA, considerando las coordenadas geográficas de San Carlos (22°52'59"S y 64°40'00"OE).

En el análisis del sistema de calefacción se considera la sustitución de un quemador de leña, con una eficiencia estimada de 30%, por un quemador de leña con bancos de tubos, con una eficiencia media estimada del 50%. Se supuso que la leña utilizada tiene densidad aproximada de 500 kg/m³ (equivalente a madera semidura), a un costo de

U\$S 25 el m³. Además, el costo de electricidad fue evaluado según la tarifa de uso de servicio; 0,172 U\$S/kWh.

En la Tabla 1 se detallan los datos de entrada que son similares para el caso base como para el caso propuesto. En la Tabla 2 los datos de radiación y el porcentaje de uso mensual para el funcionamiento del secador. Cabe aclarar que en la situación actual del secador, no se utiliza durante los meses de junio a diciembre. También se a considerado un seguimiento mensual de la altitud del sol ya que los colectores pueden girar longitudinalmente. En la Tabla 3 se detallan los datos del calentador solar de aire utilizado y en la Tabla 4 los datos del sistema quemador de biomasa.

Tabla 1: Datos de entrada para el caso base (quemador de leña) y caso propuesto (sistema de colectores solares).

Datos de entrada – Diseño del sistema de calefacción
Demanda de calor: 136 MWh
Temperatura interior: 20 °C
Temperatura del aire – máximo: 20 °C
Valor – R – techo y paredes: 2,1 m ² - °C/W
Velocidad de diseño de flujo de aire: 6200 m ³ /h
Días de operación - días de semana: 5,0 d/sem
Horas de operación por día - días de semana: 14 h/d
Días de operación - fines de semana: 2,0 d/sem
Horas de operación por día - fines de semana: 14 h/d

Tabla 2: Datos de radiación global sobre plano horizontal, y sobre plano inclinado, para San Carlos.

Mes	Radiación solar global diaria horizontal (kWh/m ² /d)	Radiación solar global diaria inclinado(35°) (kWh/m ² /d)	Porcentaje mensual de uso secador
Enero	5,83	4,90	100%
Febrero	5,58	5,03	100%
Marzo	5,26	5,22	100%
Abril	4,84	5,48	100%
Mayo	4,36	5,55	60%
Junio	4,19	5,85	0%
Julio	4,33	5,86	0%
Agosto	4,97	6,03	0%
Setiembre	5,81	6,12	0%
Octubre	5,92	5,49	0%
Noviembre	6,12	5,21	0%
Diciembre	6,17	5,06	0%
Anual	5,28	5,48	

Colectores Solares de aire.

Fabricante: INENCO – GIDAI **Modelo:** ADITAL

Absortancia del colector solar: 0,72

Factor de desempeño: 1,00

Área bruta por colector solar: 7,05 m²

Área de captación de colector solar: 7,05 m²

Coefficiente Fr (tau alfa): 0,70

Coefficiente Fr UL: 6,00 (W/m²)/°C

Número de colectores: 26
 Área del colector solar: 183,30 m²
 Tarifa de electricidad: 0,172 U\$\$/kWh
 Calentamiento entregado: 88,7 MWh

Base: 4.487 U\$\$ - Propuesto: 1.136 U\$\$

Se ha considerado un costo total para la incorporación del sistema de calefacción solar de U\$15.000. Del resultado del análisis, la inversión inicial realizada en función del sistema de calentamiento solar queda cubierta a lo largo de un poco más del cuarto año de uso, como se observa del gráfico de flujo de caja acumulado, Figura 24. Cabe mencionar que el sistema solar se podría amortizar en un tiempo menor si el uso del mismo sería continuo durante todo el año.

Sistema de calefacción – Quemador de leña

Tipo de combustible: Biomasa
 Eficiencia estacional: Caso base: 35%. Caso prop: 50%
 Consumo comb anual: Base 72,4Tn - Propuesto 18,3Tn
 Precio combustible:
 Base 62U\$\$/Tn- Propuesto 62U\$\$/Tn.
 Costo anual combustible:

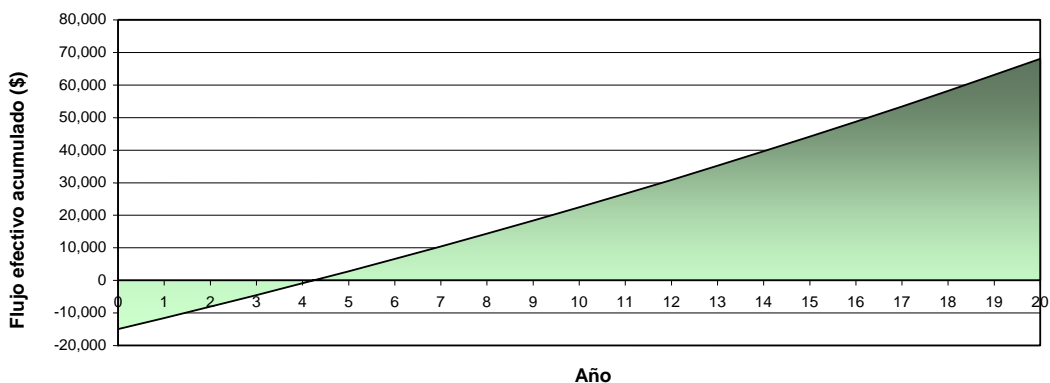


Fig. 24: Flujo de caja resultante de la sustitución del sistema de quemado de leña, por un híbrido solar – biomasa.

6. CONCLUSIONES

Se ha presentado el diseño, construcción y ensayos de un secador híbrido solar-biomasa de pimienta para pimentón, ubicado en la localidad de San Carlos, Salta.

Durante las campañas de secado 2009 y 2010, se realizaron ensayos del secador, funcionando mediante calentamiento solo solar y auxiliado por un quemador de leña. De acuerdo la Figura 11, en un día medio de marzo los colectores proporcionan temperaturas de flujo superiores a los 40°C y hasta un máximo de 80°C durante más del 65% del día solar. Las pérdidas netas de calor en el caño maestro no son significativas a pesar de no estar asilado térmicamente debido a que también colecta radiación solar.

Los registros de temperatura obtenidas en la cámara, Figura 12, muestran valores superiores a 40°C y por debajo de los 60°C durante aproximadamente 8 horas, y son adecuados para asegurar la reducción del 50% de agua contenida en el producto al final del día, evitando la formación de hongos. De hecho no se ha tenido este tipo de problemas en los dos años de funcionamiento.

En el caso del sistema funcionando solo con energía solar el tiempo de secado requerido para la extracción del primer carro fue alrededor de los dos días y medio de sol. Cuando se trabajó con el calentamiento auxiliar apoyando por un par de horas la puesta y la salida del sol, el tiempo se reduce prácticamente a la mitad.

El sistema es capaz de producir un producto limpio de muy buena calidad. Medidas de color en grados ASTA del producto seco han arrojado valores 50 % mayores a los requeridos para la calidad extra.

En los meses de Abril y Mayo de 2010 se realizaron nuevos

ensayos, especialmente en funcionamiento híbrido solar – leña. Se observa que los valores bajos de humedad relativa y las altas temperaturas que se obtienen a la salida de la cámara, Figuras 21 y 22, indican que se puede aumentar la capacidad de carga de la cámara conservando el área de captación solar. En este sentido ya se trabaja en la ampliación de la misma, esperando llevar la carga de producto a cuatro toneladas, para la cosecha 2011.

Aunque el funcionamiento del quemador ha mejorado respecto del original por la incorporación de bancos de tubos, los resultados indican que todavía se puede lograr mayor eficiencia del intercambiador aumentando el área de intercambio, Figura 23.

Se realizó un estudio de factibilidad mediante RETSCREEN, considerando la substitución parcial del sistema quemador de leña, por el sistema solar de calentamiento por colectores de aire. Así, el flujo de caja resultante muestra un tiempo de recuperación de las inversiones necesarias de cuatro años aproximadamente. Debe tenerse en cuenta el uso estacional que se le da actualmente al sistema. En caso de lograr diversificar la producción, el secador podría ser utilizado durante todo el año, de forma tal que este tiempo se vería disminuido.

Los resultados obtenidos permiten asegurar que el uso del secado solar permite una notable reducción del consumo de leña, de la mano de obra y del tiempo de secado de tal forma que el costo final de producción del kilogramo de producto seco disminuye notoriamente.

REFERENCIAS

Condorí M., Duran G., Echazú R., Saravia L. (2007). Ensayo y Medición de un Secador Industrial tipo Túnel en el Norte Argentino. Avances en Energías Renovables y

- Medio Ambiente, Vol. 11, (2), pp. 37-44, ASADES, Argentina.
- Condorí M., Durán G., Vargas D., Echazú R. (2009). "Secador solar híbrido. Primeros ensayos". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 2009.
- Condorí M., Echazú R., Duran G., Saravia L. (2008) "Secador Solar Híbrido. Diseño y Construcción" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 12, p.p. 2-37
- Condorí M., Echazú R., Saravia L. (2006) Secador Solar Industrial para la Quebrada de Humahuaca. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.19, (1), p.p.25-31, ASADES, Argentina.
- Gatti SRL: Cartilla de especificaciones. Ventiladores Centrifugos
RETScreen: <http://www.retscreen.net/es/home.php>
- Saravia L., Echazú R., Guerrero F., Gramajo C. (1983). Planta Piloto de Secado Solar de Pimiento: Construcción y Ensayo. Actas de la 8a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, La Pampa, p.p. 1-7, Argentina.