

SECADOR SOLAR INDIRECTO CON FLUJO DE AIRE FORZADO PARA HUACALERA, QUEBRADA DE HUMAHUACA

M. Condori, R. Echazú, L. Saravia

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, E-mail: condori@unsa.edu.ar

RESUMEN: Se han diseñado y construido dos secadores solares del tipo indirecto con convección de aire forzada para una planta de deshidratado de productos frutihortícolas en Huacalera, Quebrada de Humahuaca, norte de Argentina. Cada secador consta de un banco de colectores rebatibles de 100 m² de superficie de planta. La cámara de secado, de 10 m² de superficie de planta, tiene una capacidad de carga de 500 Kg de producto fresco y una producción aproximada de 100 Kg de producto seco por día. Los equipos construidos permiten el secado de productos frutihortícolas en condiciones controladas de higiene y temperatura obteniéndose una óptima calidad en el producto final. El equipo está siendo utilizado en la producción de deshidratados de zanahoria, espinaca, ajo, cebolla y otros vegetales. En el presente trabajo se presentan los datos técnicos y los aspectos constructivos de los equipos.

Palabras Claves: Secado Solar, colector solar de aire, cámara de secado, Quebrada de Humahuaca.

INTRODUCCIÓN

El proyecto PROSOL, cofinanciado por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECCI), tiene como objetivo la lucha contra la pobreza y el desempleo en la Quebrada de Humahuaca, provincia de Jujuy, norte de Argentina, mediante la producción y el mercadeo de deshidratados fruti hortícolas utilizando energía solar. Actualmente, el proyecto se ejecuta en el departamento de Tilcara, en las comunidades de Huacalera y Maimará, ambas separadas por aproximadamente 25 km de distancia, donde se ha planteado la construcción de dos plantas de deshidratado, equipadas con secadores solares.

La región de la Quebrada de Humahuaca está caracterizada por un clima árido, meso termal de pequeño o nulo excedente de agua considerándose a la época estival como la de mayor eficiencia para la actividad agraria. Posee una temperatura media anual de 13,5 °C con grandes amplitudes térmicas. La precipitación media anual es de 121 mm y está concentrada entre los meses de diciembre y marzo. Es considerada una región en la que se puede garantizar una alta heliofanía solar durante todo el año y niveles de radiación entre los mas altos del mundo. Es también una zona de vientos con fuertes ráfagas, el promedio anual es de aproximadamente 5 ms⁻¹. La comunidad de Huacalera se encuentra a una altura de 2462 m sobre el nivel del mar con una presión atmosférica media de 772 hPa, lo que afecta fuertemente a los sistemas de circulación de aire debido a la baja densidad del aire ambiente.

Dentro del marco del proyecto PROSOL, el INENCO se encargó del diseño y la construcción de dos secadores solares, para ser utilizados con varios productos frutihortícolas y capaces de operar todo el año en las condiciones climáticas antes mencionadas. Debido a la falta de fuentes energéticas baratas en la zona de emplazamiento, el calentamiento del aire se realiza sólo con energía solar provista por un banco de colectores de aire, rebatibles para permitir el ajuste de la pendiente de los mismos en forma estacional. El movimiento de aire lo realiza un ventilador monofásico, ya que sólo se dispone de suministro eléctrico a 220 v. Cada cámara de secado tiene una capacidad de carga de 500 kg de producto fresco y una producción aproximada de 100 kg de productos secos por día para un producto similar al ají. Los requerimientos más importantes que se tuvieron en cuenta en el diseño de los equipos fueron: contar con una capacidad de producción diaria, es decir que el producto no permanezca mas de un día en la cámara de secado, y que el producto seco final conservará su higiene y estuviese libre de contaminación del polvo ambiente, que es arrastrado por los fuertes vientos de la zona. A continuación se listan algunas de las principales características de los equipos desarrollados:

- El secador solar es del tipo indirecto, con cámara de secado opaca a la radiación solar, para permitir el secado de una gran variedad de vegetales.
- El rango de temperatura de trabajo en la cámara va de los 40 °C a los 60 °C.
- Circulación de aire forzada mediante motor centrífugo monofásico.
- Entrada de aire limpio de polvo a la cámara de secado utilizando un banco de filtros metálicos.
- Cámara de secado controlada en cuanto a las pérdidas térmicas y a las condiciones higiénicas.
- Disposición del producto sobre bandejas en carritos para facilitar el movimiento en la cámara.

- Colectores de aire reclinables para permitir la orientación correcta de los mismos respecto a la altura del sol al medio día solar. Este ajuste es estacional.
- El secador funciona durante el día aprovechando el banco de colectores solares, pero también puede trabajar durante la noche, con condiciones meteorológicas adecuadas, aprovechando la baja humedad ambiente de la zona.

FUNCIONAMIENTO

Los secadores construidos pueden ser clasificados como de tipo indirecto respecto a la incidencia del sol sobre el producto, de flujo forzado, respecto a la circulación del aire y de escala semi industrial si se considera la capacidad de carga de la cámara y la velocidad de secado (Corvalan et al, 1999; Mujundar, 1987). Las tecnologías utilizadas en el diseño y la construcción están ampliamente difundidas y corresponde a los contenidos de la teoría del secado solar, colectores solares de aire y sistema de circulación de aire (Duffie et al, 1980; Rabl, 1985; ASHRAE, 1988).

El aire ambiente ingresa a los colectores impulsado por el ventilador y recorre el banco aumentando su temperatura. En la boca de entrada de cada colector se coloca un filtro de fibra sintética para hacer una primera limpieza del polvo grueso del aire ambiente, y para evitar que el interior del colector, especialmente el absorbedor se ensucie rápidamente. El aire caliente ingresa al caño maestro que recoge el aporte del banco de colectores. Para disminuir las pérdidas térmicas y mejorar el área de colección, el caño maestro está construido como otro colector, con la cara superior de policarbonato translucido y la chapa interior pintada de negro mate. Luego, el aire pasa por el banco de filtros metálicos donde se limpia del polvo que pudiera quedar, generalmente las partículas pequeñas, y pasa por el ventilador centrífugo hacia la cámara de secado. El ventilador se conecta mediante una manga a un difusor y éste a la cámara de secado donde el aire encuentra el producto a deshidratar. Finalmente, sale de la cámara por el extremo opuesto a través de dos ventanas colocadas en la puerta de ingreso de material fresco, desde donde se deshecha a la atmósfera. Estas ventanas también tienen filtros de fibra sintética para evitar el ingreso de polvo a la cámara de secado.

El colector solar es un cajón de chapa galvanizada, aislado térmicamente por los laterales y el fondo. El absorbedor está conformado por chapa ondulada pintada de negro, que se coloca formando un arco y separada del fondo del colector de modo que el aire circule por arriba y por debajo de la misma. Se cierra el cajón con una cubierta transparente de policarbonato alveolar cuidando que el cierre no presente filtraciones de aire. Los colectores y el caño maestro trabajan en depresión debido a la succión del ventilador, mientras que la cámara de secado lo hace con sobre presión. El caño maestro también es un cajón aislado con tapa transparente, de forma que se lo aprovecha como colector, aumentando el área de colección solar.

El aire caliente entra por un extremo de la cámara de secado y lo recorre hasta el otro extremo pasando entre los carros con producto. El producto se coloca en bandejas que se apilan sobre los carros. El movimiento de los carros es a contracorriente con el del aire, lo que produce un gradiente de secado en la dirección del flujo de aire. Al inicio del proceso los carros están quietos, pero durante el día se sacan por un extremo los carros con productos secos y se introducen en la otra punta los carros con producto frescos, desplazando toda la columna hacia adelante.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La planta de deshidratado cuenta con dos secadores de idénticas dimensiones, colocados por razones de espacio uno detrás del otro de acuerdo al eje norte sur del terreno. Para cada secador, la superficie total ocupada es de aproximadamente 160 m². El banco de colectores y el caño maestro con sus conexiones utiliza aproximadamente 150 m². De estos, 100 m² los ocupan la estructura del banco de colectores, mientras que el resto incluye las conexiones y el área de paso. La cámara de secado ocupa los 10 m² restantes.

El número total de colectores es de 10 para cada secador, distribuidos en dos grupos de 5 que se colocan a ambos lados del caño maestro. Cada colector tiene aproximadamente 0,94 m de ancho, 10 m de largo y 0,1 m de alto. Se dejan 0,40 m de separación entre colectores para permitir la circulación, evitar el sombreado entre colectores y la construcción de canales para evacuar el agua de lluvia.

Las dimensiones del túnel de secado son 4,5 m de largo, 2,15 m de ancho y 1,9 m de alto. A uno de los lados del túnel de secado se construye un piso de cemento de 1,2 m de ancho, para permitir la circulación de los carritos que van a ser descargados. Este piso se extiende desde la puerta de carga hasta mas allá de la puerta de descarga, donde se une con otro piso que se conecta con la planta.

Colectores

Los colectores son cajas de chapa galvanizada de aproximadamente 1 m de ancho, 10 de largo y 0,1 m de alto. Cada colector es rebatible para optimizar su pendiente respecto a la altitud del sol a lo largo del año. Se ha diseñado el banco para que cada tira de colectores proporcione un décimo del flujo másico necesario para secar 500 kg de productos por día. Con este flujo cada colector proporciona una temperatura de salida en el rango de los 40-60 °C con la radiación solar media diaria mensual.

En la Figura 1 se muestra un plano de corte de los colectores. La cara exterior del colector está construida en chapa galvanizada lisa plegada. La cara interior con aislamiento térmico en lana de vidrio de 5 cm de espesor con lámina

aluminizada reforzada. Se han evitado colocar puentes térmicos entre ambas. El absorbedor se construye en chapa galvanizada ondulada pintando de negro mate la cara superior. El absorbedor está separado del fondo por aproximadamente 5 cm y tiene circulación de aire por abajo y por arriba. 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 se protege con ángulos de chapa galvanizada. Para mejorar la estructura, el colector tiene cada 1,25 m un bastidor tipo C de caño estructural cuadrado de 20 mm de lado. El bastidor se sujeta a la cara externa del cajón mediante remaches rápidos.

Los colectores son rebatibles y trabajan con pendiente variable respecto del piso para lo cual se colocan soportes verticales fundados en suelo, de caño estructural de 20 mm de lado. El ángulo de trabajo de la pendiente del colector con la horizontal varía entre los 10° y 40° de acuerdo a la altitud del sol a lo largo del año.

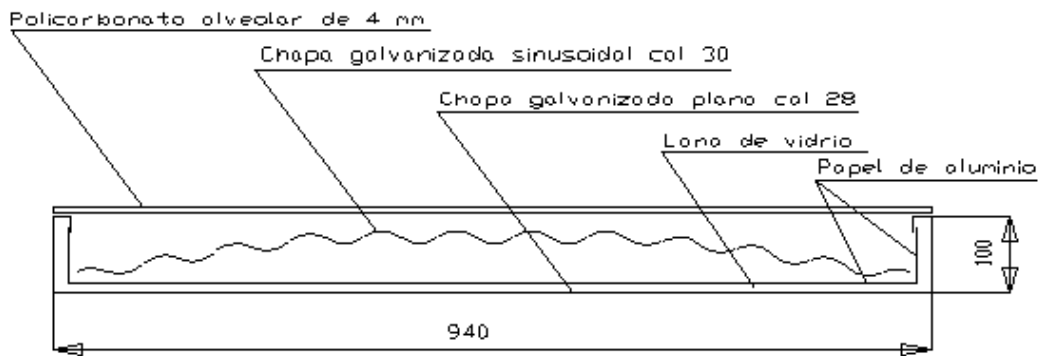


Figura 1: Plano de corte del colector solar de aire utilizado.



Figura 2: Foto del banco de colectores de aire. Se muestra el extremo por donde ingresa el aire ambiente

Campana de Acople de los colectores

Un extremo de cada colector se une al caño maestro. Para esto se construye una campana de reducción en chapa galvanizada para llevar la sección rectangular del colector a una circular del acople con el caño maestro. El colector se une con sellador y remaches a la campana, que tiene una boca rectangular de 0,10 m por 0,94 m y en el otro extremo termina en una boca redonda de 0,20 m de diámetro. Esta última se enfrenta con una sección del mismo diámetro que sale del caño maestro. En este acople se coloca una llave tipo mariposa para controlar el flujo de aire. La llave gira 90° entre flujo abierto y cerrado.

Cada colector debe trabajar con un flujo de aire similar a fin de mantener la eficiencia térmica del sistema. Para ello, se calibra adecuadamente los colectores fijando el paso de la llave mariposa. La sección cilíndrica de la campana se une a la del

caño maestro mediante un caño flexible redondo de aluminio de 20 cm de diámetro. Finalmente, se aísla convenientemente toda la instalación con lana de vidrio de 5 cm de espesor, y se coloca por encima, protegiendo a la lana, membrana plástica.



Figura 3: Vista posterior del banco de colectores en la etapa de construcción. Se observa también el túnel de secado, el cajón donde se coloca el ventilador y la conexión del caño maestro a este cajón.



Figura 4: Vista posterior del caño maestro en la etapa de construcción del sistema. Se observan también las campanas de reducción que se coloca en el extremo del colector y que están enfrentadas a los tramos de caño de 20 cm de diámetro.

Caño Maestro

El caño maestro de colección tiene aproximadamente 7 m de largo y está compuesto por secciones cuyos anchos varían entre 0,50 m y 1,2 m. El alto también crece desde los 0,40 m a 1 m. Esta variación de ancho y alto permite equilibrar el aumento de presión debido a la suma de los flujos de cada colector, de manera de no tener sobre presión ni variaciones bruscas en la velocidad del aire que circula por su interior, lo cual disminuye las pérdidas de carga.

El caño colector es un cajón rectangular en chapa galvanizada con aislamiento térmico. La cara superior es transparente, se utiliza también policarbonato alveolar de 4 mm de espesor. El caño maestro divide simétricamente el banco de colectores en 5 tiras para ambos lados. Se colocan conexiones circulares de 0,20 m de diámetro a 45 grados respecto de la dirección longitudinal del caño. En éstas se conectan los caños flexibles para unirlos a cada campana y a su correspondiente colector. El caño maestro se une al banco de filtros de aire mediante un acople que lleva la última sección del caño a una sección cuadrada de 1m por 1m, para que coincida con el área recomendada para la descarga de los filtros metálicos.



Figura 5: Vista nordeste del secador. Se observan los dos túneles de secado con sus respectivos bancos de colectores.



Figura 6: Vista posterior del cajón de distribución. Se observa el ventilador centrífugo de 1,5 kw. Delante del mismo, al comienzo del cajón, se colocan los filtros de aire.

Banco de Filtros y Gabinete para el ventilador

El gabinete para el ventilador está compuesto por un cajón de chapa galvanizada aislado térmicamente. Las dimensiones del gabinete son 1,5 m de largo y sección cuadrada de 1 m de lado. Este gabinete contiene a la entrada los filtros de aire, a los que se puede acceder por una pequeña puerta lateral. Aproximadamente a 50 cm de la boca de toma de aire del ventilador, se colocan los filtros de aire del tipo tejido metálico lavable. La fila tiene cuatro filtros cuadrados de 0,50 m de lado y 5 cm de

espesor, que cubren completamente la sección interna del cajón de 1 m². Para ello es necesario construir un bastidor con guías de hierro ángulo, que permiten la fácil colocación y retiro de los filtros. A este bastidor se accede por una puerta metálica de 0,15 m por 0,6 m que se sujeta con tornillos y burletes de goma al cajón. Esto permite el recambio de los filtros sin necesidad de detener el ventilador. Por ser de acero inoxidable los filtros se lavan fácil y rápidamente.

No se ha colocado en esta etapa, pero en una de las caras del gabinete está previsto colocar, de ser necesario, un regulador tipo persiana para permitir el ingreso de aire ambiente para mezclarlo con el aire caliente que proviene de los colectores. En nuestro diseño, esto podría ocurrir en días de verano con temperatura en la cámara por encima de los 60 °C que pueden ser peligrosas para algunos vegetales. Se deben abrir simultáneamente los dos circuitos y regular adecuadamente el caudal para mezclar con aire ambiente filtrado y bajar así la temperatura en la cámara de secado.

El ventilador

Cada cámara utiliza un ventilador centrífugo monofásico, capaz de mover 1,94 m³s⁻¹ de aire con una caída de presión de 25 mm de agua, girando a 1500 rpm. La razón por la que se utiliza un motor monofásico es por que no se dispone de tensión trifásica en la planta. Si bien el ventilador está dentro de un cajón por el que circula aire caliente de los colectores, el motor trabaja a temperatura ambiente por contar con una toma de aire especial.

La cámara de secado y el ventilador se conectan mediante un difusor que tiene una boca de entrada igual a la boca de salida del ventilador y termina en una sección de 1 m². La unión de las partes se hace mediante una manga de plástico reforzado para evitar la conexión mecánica entre el ventilador y la cámara para disminuir las posibles vibraciones. El difusor permite que el aire ingrese a la cámara de secado con mayor uniformidad sobre los carros con producto, permitiendo un secado más parejo entre las bandejas.

Túnel de Secado

El interior del túnel tiene 1,85 m de alto y 2,15 m de ancho. Las paredes y el techo interior están contruidos en chapa galvanizada lisa. Todas las uniones en el interior están perfectamente selladas. Las paredes y el techo exterior están contruidos en chapa galvanizada ondulada. El techo exterior es a dos aguas. Entre paredes y techo se coloca aislamiento térmico en lana de vidrio de 5 cm con papel plastificado como barrera para la humedad. El piso de la cámara es de concreto reforzado y alisado. Tiene el piso aislamiento térmico con placas de poliestireno de 3 cm de espesor, por encima de éstas se coloca malla sima para mejorar la estructura del piso y se construye una carpeta de concreto.

El túnel tiene una estructura soporte contruida con caño estructural de 40x40x1,2 mm, que está fijada al piso mediante tirafondos y se asegura un buen cierre con el piso colocando burletes de goma. La estructura considera las puertas de acceso y la colocación de un techo a dos aguas. Las dimensiones externas para el túnel de secado son: 2,25 m de ancho, 2,2 m de alto y 4,5 m de largo. En éste se puede ubicar cómodamente 2 filas de 3 carros de 1 m x 1 m de área de bandeja.

Puertas de salida y entrada de carros

Los carros entran al túnel por el extremo por donde también sale el aire humedecido, es decir el opuesto a la entrada de aire caliente. Este acceso contiene las aberturas para la salida del aire que son dos ventanas de 0,5 m² cada una. La puerta consiste de dos hojas de 1,07 m por 1,85 m cada una, donde la mitad inferior es ciega y la mitad superior contiene la ventana para la salida del aire. Allí se coloca un filtro sintético para evitar la entrada de insectos y de polvo. La salida de los carros con producto seco se hace por una puerta colocada en uno de los costados del túnel. Esta puerta de descarga es una sola hoja ciega y se evitan las pérdidas de aire mediante la colocación de burletes de goma, ya que en este extremo existe una sobre presión del aire al salir del pleno y chocar con la fila de carros. Las dimensiones de la puerta permite la salida de los carros y es de 1,10 m por 1,85 m. La puerta de descarga está contruida de la misma forma que el túnel con caño estructural, chapa galvanizada y aislamiento térmico en lana de vidrio.

Carros

En cada cámara se colocan 6 Carros para 15 bandejas de 1 m x 1 m. La construcción de los carros es con caño estructural y hierro ángulo. Los mismos tienen ruedas para facilitar su desplazamiento y la altura total de los carros es de 1,80 m incluidas las ruedas. Tienen guías con chapa ángulo para facilitar la carga de las bandejas. Con estas dimensiones, una vez colocadas las dos filas de carros la separación entre ellos y entre las paredes de la cámara de secado es del orden de los 5 cm.

Los carros tienen una base metálica con ruedas sobre la cual se colocan las bandejas. Las bandejas se apilan con separadores apropiados para permitir la circulación del aire y deben estar bien sujetas ya que el carro se mueve a lo largo del túnel. Es importante que las bandejas sean de un material reticulado o perforado para permitir la circulación adecuada del aire a través del producto. En nuestro caso se ha utilizado malla plástica de distintos tramados de acuerdo al producto a secar.

DATOS TÉCNICOS

En la siguiente Tabla se muestran los datos técnicos que se tuvieron en cuenta para el diseño del secador. Para la obtención de estos valores se ha considerado un día medio del año. Los resultados fueron obtenidos mediante simulación computacional utilizando el programa SECASOL, confeccionado por uno de los autores.

RECURSO METEOROLÓGICO		
Radiación diaria: 24 MJ	Radiación media: 550 W/m ²	Presión: 756 HPa
Temperatura media: 17 °C	Humedad media: 50 %	Altura: 2400 m
Temperatura noche: 1,40 °C	Velocidad viento: 18 km/hr	Latitud: -23.27
Albedo: 0,2	Longitud: 65,2	
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO		
Horas por día: 10 hr	Horas sol por día: 10 hr	Ahorro Solar : 100 %
Agua evaporada: 389 kg	Energía Requerida: 2366 MJ	Temperatura secado: 50 °C
CÁMARA DE SECADO		
Ancho: 2,15 m	Humedad salida: 70 %	Caudal: 1,5 m ³ /s
Largo: 4,50 m	Puerta carga: 1,10x1,85 m	Caída Presión: 66 Pa
Alto: 1,90 m		Velocidad del aire: 0,78 m/s
PRODUCTO		
Peso fresco: 500 kg	Porcentaje inicial agua: 80 %	Densidad carga: 6.6 kg/m ²
Peso seco: 110 kg	Porcentaje final agua: 10 %	Temperatura Máxima: 50 C
CARROS		
Ancho bandeja: 1 m	Alto del carro: 1,8 m	Bandejas por carro: 15
Largo bandeja: 1 m	Número: 5 (6)	Filas de carros: 2
Área total bandejas: 90 m ²	Carros extras: 1	Carros por fila: 3
COLECTORES		
Ancho: 1 m	Número: 10	Caudal: 600 m ³ /hr
Largo: 10 m	Área Total: 100 m ²	Velocidad: 1,5 m/s
Alto lateral: 0,10 m	Eficiencia: 0,50	Inclinación media: 23 °
VENTILADOR		
Caudal: 7000 m ³ /hr	Caída de Presión: 250 Pa	Potencia: 1,5 kW
RPM: 1500	Acople: directo	Monofásico
CAÑO MAESTRO		
Diámetro: 0,50 – 1,20 m	Largo: 7 m	Número conexión: 10
Diámetro Conexión: 0,20 m		
FILTRO		
Número: 4	Filas: 1	Lado: 0,50 m

Tabla 1: Datos técnicos tenidos en cuenta en el diseño de los secadores y obtenidos mediante el programa SECASOL.

RESULTADOS PRELIMINARES

El secador se puso en marcha al comienzo del invierno, tomándose algunas medidas con instrumental de campo para una evaluación del funcionamiento. El instrumental empleado fue un piranómetro LI-250 para la radiación solar, un psicrómetro de mercurio para la humedad y temperatura del aire, un anemómetro TSI para la velocidad del aire y termómetros digitales PHYWE para las mediciones de temperatura.

Para un día soleado típico del invierno de la quebrada, se midió una temperatura ambiente máxima de 22 °C. La temperatura de la cámara alcanzó los 55 °C y la radiación solar a mediodía llegó 690 Wm⁻² sobre plano horizontal y 970 Wm⁻² en el plano de los colectores. Hasta el presente se ha ensayado con cargas parciales de zanahoria rallada y cortada en cubos de 5 mm de lado, cebolla cortada en rebanadas de 3 mm de espesor, ajo cortado en cubos de 3 mm de lado y hojas y tallos de espinaca por separado, con muy buenos resultados tanto en tiempo de secado como en la calidad final del producto.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido dos secadores solares del tipo indirecto y actualmente están operando adecuadamente en la región de la quebrada de Humahuaca de acuerdo a los parámetros de diseño. Las dos cámaras de secado juntas permiten procesar 1 Tonelada de producto fresco por día, obteniendo aproximadamente 200 kg de producto seco por día. El banco de colectores puede cambiar su pendiente para que trabajen cada mes con la mejor orientación respecto a la altitud del sol al medio día solar. Esto permite optimizar la eficiencia de trabajo de los colectores a lo largo del año y reducir el área de colección que se hubiera requerido con una posición horizontal.

Los materiales utilizados son de larga duración, en el orden de los diez años, lo que permite mejorar la tasa de retorno de la inversión inicial. El mantenimiento requerido por el equipo tiene que ver fundamentalmente con la limpieza y con la reorientación de los colectores. Con filtros sintéticos colocados a la entrada de los colectores la necesidad de limpieza se reduce considerablemente, estimándose que sólo será necesario realizar una limpieza anual. En cuanto a la cubierta transparente debido a la rigidez del policarbonato, se limpia fácilmente con agua cada día de trabajo del secador. La estructura es firme y resiste adecuadamente la fuerza de los fuertes vientos nocturnos característicos de la zona.

Hasta ahora los secadores no han trabajado a pleno, debido a que se está en la búsqueda de un producto factible de comercializar, estudiando el proceso de secado de distintos vegetales de la zona. Pero están siendo ensayados con distintas y crecientes cantidades de cargas, demostrando trabajar satisfactoriamente con los distintos vegetales que se cultivan en la Quebrada de Humahuaca en diferentes épocas del año. El secador ha sido ensayado con zanahoria, cebolla, espinaca, ajo,

etc., mostrando la versatilidad del equipo. El producto seco final es de muy buena calidad y está libre de contaminación de polvo.

REFERENCIAS

Ashrae Handbook (1988). *Equipment Volume*

Corvalan R., Horn M, Roman R. y Saravia L. (1999). Ingeniería del Secado Solar. Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía. Capítulo 8. CYTED-D.

Duffie J., Beckman W. (1980). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & sons., New York.

Rabl, A. (1985). *Active Solar Collectors and their Applications*. Oxford Univ. Press, New York.

Mujundar A. (editor). (1987). *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker inc., New York.

Reconocimientos: Este trabajo está parcialmente financiado por el CIUNSa, CONICET y COFECYT.

ABSTRACT

Two solar driers have been designed and build for a solar dehydration plant in Huacalera, Quebrada de Humahuaca, north of Argentine. The designed equipments are of the indirect solar radiation type and works with forced airflow. Each one of them has a recline bank of collectors with 100 m² of soil area. The drier chamber, 10 m² of soil area, has a load capacity around 500 kg of fresh product and approximately a daily production of 100 kg of dried product. The driers allow a drying process under controlled conditions of hygiene and temperature, obtaining a very good quality in the final product. The driers have been used in the production of carrots, spinach, onion, garlic and other dehydrated vegetables. In this work, the technical data and the constructive characteristics of these equipments are presented.

Keywords: Solar dryer, air solar collector, drying chamber, Quebrada of Humahuaca.