

SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE POSCOSECHA DE FRUTILLAS¹

Ricardo Echazú², Graciela Mansilla³ y Carlos Cadena²

INENCO - Instituto UNSa - CONICET
Universidad Nacional de Salta
Calle Buenos Aires 177
4400 Salta, República Argentina
FAX 54 387 4255489 - e-mail: echazur@inenco.net

RESUMEN: Se presenta el diseño y ensayo de un prototipo de equipo para acopio de frutillas, acondicionado térmicamente por medio de un sistema de circulación de aire húmedo.

El sistema construido y ensayado, con una capacidad máxima de 1500 Kg. de frutillas, consta de un recinto de 50 m³ en cuyo interior se acopian los cajones de frutillas formando un túnel, por el cual se hace circular aire impulsado por un ventilador conectado a paneles fotovoltaicos. La corriente de aire atraviesa una malla de tela de algodón que se mantiene húmeda por medio de un sistema de goteo.

Se puso en marcha el equipo con los paneles acoplados directamente al motor y se caracterizó experimentalmente el sistema de circulación de aire.

Palabras clave: frutillas, energía solar, fotovoltaico, poscosecha.

INTRODUCCION

La zona de Perico, en la provincia de Jujuy, dedicada hasta hace algunos años al cultivo de tabaco es actualmente una importante productora de frutillas, además de flores y otros cultivos.

Los productores de frutillas deben acopiar la fruta luego de cosechada y envasada, por períodos de hasta 12 horas, hasta la entrega a los transportistas. En verano, con la temperatura ambiente superando los 30 C, la tasa de respiración es extremadamente alta, siendo suficiente ese lapso para que las frutillas disminuyan su firmeza y se tornen delicadas para el transporte. (Folquer, 1986)

Como además estas condiciones favorecen la proliferación de enfermedades, las pérdidas de poscosecha por razones climáticas, pueden llegar al 40 % de la producción bruta (Kirschbaum, 1999)

La frutilla se envasa directamente en el campo, a medida que se cosecha, en pequeños cajones de madera de 500 mm de largo, 300 mm de ancho y 110 mm de altura. Estos cajones se acopian en algún lugar sombreado, a la espera del transporte, pero cuando la temperatura es muy alta, la frutilla se deteriora rápidamente. Este problema se ha resuelto en otras regiones mediante el uso de equipos de acondicionamiento, los que emplean aire previamente enfriado que se hace circular entre los cajones de frutilla, por medio de ventiladores.

Estos equipos (Fraser, 1998) enfrían el aire hasta 10 C, por lo que resulta suficiente utilizarlos en períodos de unas dos o tres horas, pero su costo es muy alto y como además, los productores no disponen de energía eléctrica en la zona de cultivo, se planteó el uso de un sistema con aire húmedo impulsado por un ventilador fotovoltaico.

Con este sistema, el aire solo puede enfriarse hasta la temperatura de bulbo húmedo, lo cual en clima seco representa varios grados de diferencia. Además, en contacto con aire húmedo, la pérdida de agua de las frutas asociada con la respiración es más lenta, lo que favorece su conservación, (Howard, 1984).

De todos modos, debe considerarse que tampoco es conveniente que el aire alcance niveles de humedad muy altos, que permitan la proliferación de patógenos. El punto óptimo de humedad relativa, se obtendrá experimentalmente, como resultado de los ensayos de verano del equipo.

Para el diseño, se consideraron los promedios mensuales (Saravia et. al., 1981) de las variables meteorológicas de los meses

¹ Financiado por PROINDER

² INENCO, Instituto de Investigación en Energía no Convencional UNSa-CONICET

³ Fundación Cerro Azul, San Salvador de Jujuy

de octubre a diciembre, que se detallan en la tabla 1:

	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura Máxima Absoluta	39.7 C	41.7 C	40.7 C
Promedio Mensual	21 C	23 C	24.2 C
Humedad relativa Máxima	68 %	75 %	79 %
Promedio Mensual	53 %	56 %	62 %
Radiación Solar Diaria Sobre Planos a 30 ° al Norte	19.5 MJ/m ²	19 MJ/m ²	18.5 MJ/m ²

Tabla 1: Promedios mensuales de las principales variables meteorológicas involucradas

CÁMARA DE CONSERVACIÓN

En el sistema diseñado y ensayado por la Fundación Cerro Azul y el INENCO, los cajones se trasladan a una cámara refrescada con aire húmedo donde permanecen algunas horas hasta que son entregados al transportista.

La cámara, como se muestra en la figura 1, es un galpón, con paredes de adobe, techo de chapa y cielorraso de telgopor. Sus dimensiones interiores son: largo 5.50 m, ancho 3.10 y altura media 3 m.

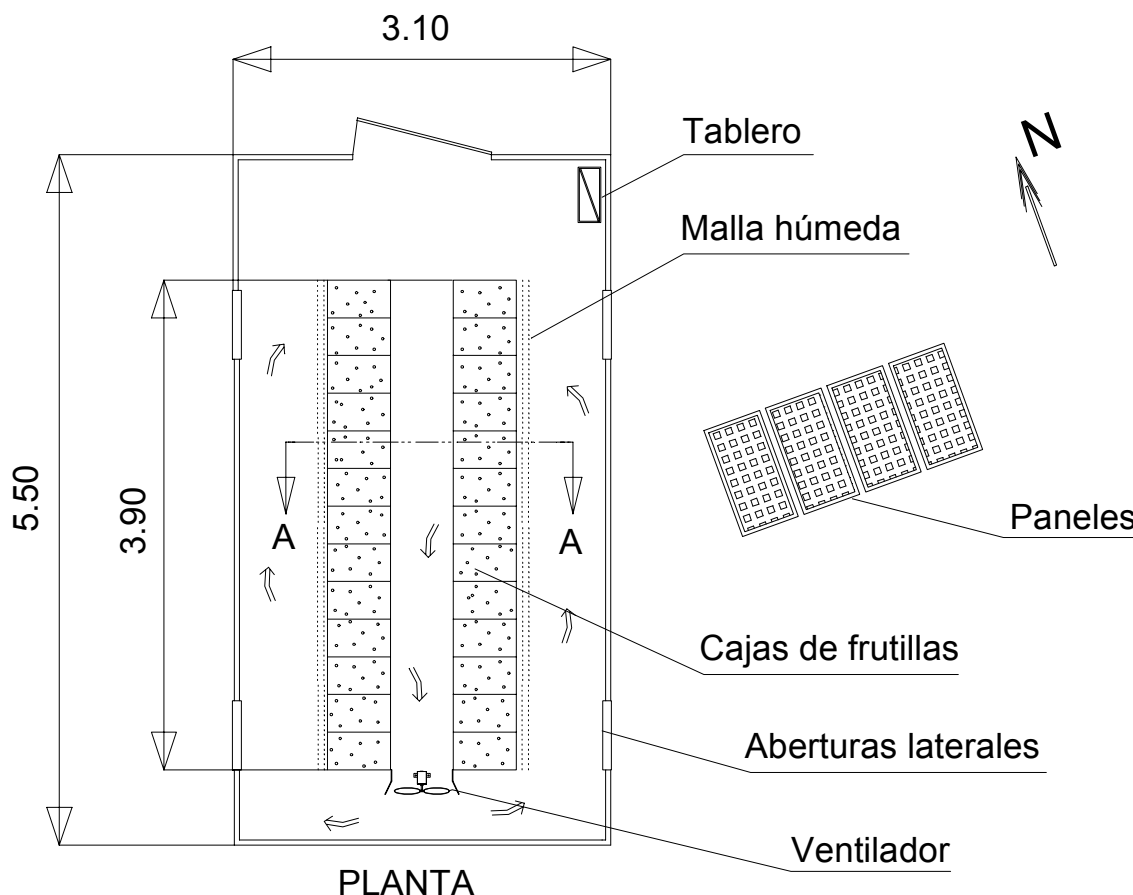


Figura 1: Vista en planta de la cámara de conservación

Los cajones con un contenido aproximado de 6 Kg cada uno, se disponen en esta cámara, formando dos bultos de 13 cajones de largo y 6 a 12 cajones de altura, como se indica en la figura 1. Esto representa un total de 1250 Kg en 208 cajones cuando se disponen 8 cajones en altura.

Cada bulto se cubre con una lona por su parte superior y los dos extremos, mientras que las caras externas se cierran con una cortina de tela de algodón que se mantiene húmeda por medio de un sistema de distribución de agua similar a los empleados para riego por goteo. Para la provisión de agua de este subsistema, se instaló un tanque elevado de 500 Lts a 3.50 m de altura y una pequeña bomba a diafragma de 12 V (Shurflo 2088)

Entre los dos bultos queda un pasillo de 0.50 m de ancho y entre cada bulto y la pared de la cámara, hay un pleno de 1 m de ancho. En el extremo del pasillo central se ubica el ventilador. En la figura 2 se aprecia un detalle en corte de la ubicación del ventilador y de los bultos.

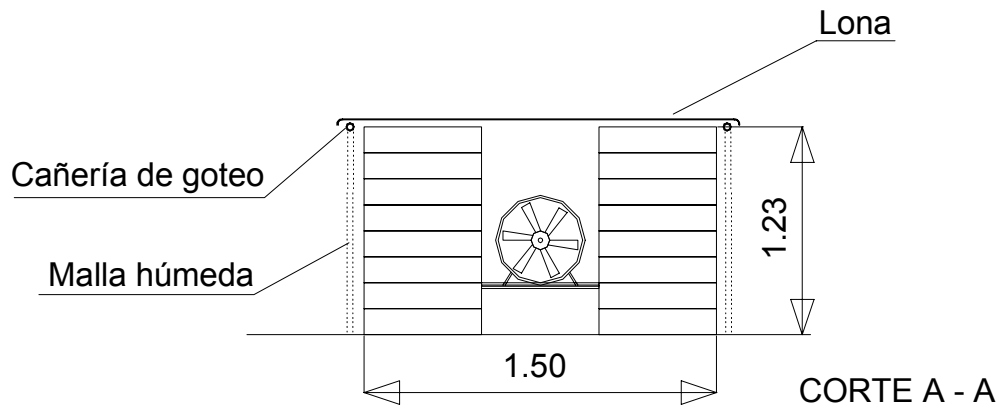


Figura 2: Vista en corte transversal de la estiba

El ventilador impulsa el aire proveniente del pasillo central, hacia los plenos exteriores, desde donde ingresa a las pilas de cajones con frutilla, después de atravesar las cortinas laterales. Estas cortinas, están en contacto en la parte superior con los dosificadores de agua conectados a una cañería de distribución, por lo que se mantienen húmedas. El aire en contacto con las cortinas, aumenta su humedad relativa y disminuye su temperatura, antes de atravesar la carga de frutillas y volver al pasillo central, cerrando el circuito.

En cada pared lateral del galpón, se dispusieron dos registros de $0,125 \text{ m}^2$ cada uno, para expulsar al ambiente una parte del aire, mientras que el ingreso de aire del exterior, se realiza por la puerta de entrada del galpón, la que no se cierra totalmente durante la operación del sistema.

Para el acondicionamiento, se requiere un caudal del aire de $0,4$ a $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para el cual se mencionan caídas de presión de 7 a 9 mm de columna de agua (Fraser, 1998) en sistemas similares pero con mayor densidad de carga.

Puede estimarse la caída de presión, considerando las dimensiones de los cajones, usando una expresión para acumuladores de piedras (Duffie, 1991), considerando un factor de huecos de $0,45$, teniendo en cuenta la forma y el nivel de llenado de los cajones, se calcula una caída de presión de 4 a 7 mm de agua, entre la entrada y la salida de los bultos.

Para estas condiciones, se seleccionó un ventilador axial helicoidal en disposición de presión. (multi-wing, 2002). Sus características son:

Número de palas: 6; material P.P.O.; diámetro : 430 mm ; ángulo 35° ; potencia absorbida: 90 W a 1800 R.P.M.

Para el montaje de los paneles, se instaló un mástil de 4 m de altura con un sencillo dispositivo de abrazaderas que permite variar la inclinación.

ENSAYOS DEL MOTOR DE CC

Considerando las condiciones de operación del ventilador, se encargó un motor de CC de 24 V , con una potencia de 250 W ($1/3 \text{ HP}$) a 2500 RPM . En la tabla 2 se presentan los datos del ensayo de fábrica del motor.

Tipo: Shunt C.C.	No. 210828
Potencia: $1/3 \text{ HP}$	Tensión inducida: 24 V
Corriente inducida: 10 A	Tensión Excitación: 24 V.C.C.
Corriente Excitación: 0.8 A	Aislación Clase F
Forma Constructiva: IP23 dia= 23 mm	Ensayo de Aislación: P Shunt a masa 1800 ohm

Tabla 2: Ensayo de fábrica del motor de C.C

Previo al montaje, se ensayó el motor acoplado al ventilador, en condiciones de boca abierta, sucesivamente alimentado por 4 paneles SR 75 y por baterías de plomo ácido.

Se ensayó el motor conectado a 4 paneles de 75 W , inclinados 30 grados al norte, el 27 de mayo, en Salta. Se midió la radiación solar global sobre el plano de los paneles, con un pirheliómetro LI-COR 250. La velocidad del motor se midió con estroboscopio. En la tabla 3 se presentan los resultados para los paneles conectados en serie-paralelo 2 a 2, (24 V nominales sobre el motor) y con los 4 paneles en paralelo (12 V nominales)

Paneles conectados en 24 V (Hs. 12:00)	Paneles conectados en 12 V (Hs. 12:10)
Temperatura ambiente: 23,3 C	Temperatura ambiente: 23,3 C
Radiación solar global: 921.5 w/m ²	Radiación solar global : 874 w/m ²
Tensión circuito abierto: 38.7V	Tensión circuito abierto: 18.5 V
Corriente de corto circuito: 8.46 A	Corriente de corto circuito: 15.4 A
Corriente en motor: 8.4 0A	Corriente en motor: 11,2 A
Tensión en el motor: 7.6 V	Tensión en el motor: 16,2 V
Potencia entregada: 63.8 W	Potencia entregada: 181 W
Velocidad: 1400 RPM	Velocidad: 1850 RPM
Paneles conectados en 24 V (Hs. 12:50)	Paneles conectados en 12 V (Hs. 13:00)
Temperatura ambiente: 24,2 C	Temperatura Ambiente: 24,2 C
Radiación solar global: 890.5 w/m ²	Radiación solar global: 892 w/m ²
Tensión circuito abierto: 38.76V	Tensión circuito abierto: 18.8 V
Corriente de corto circuito: 9.18 A	Corriente de corto circuito: 16.8 A
Corriente en motor: 8.70 A	Corriente en motor: 12,2 A
Tensión en el motor: 10.10 V	Tensión en el motor: 16.3 V
Potencia entregada: 87.8 W	Potencia entregada: 199 W
Velocidad: 1350 RPM	Velocidad: 1900 RPM

Tabla 3: Ensayos del motor conectado a 4 paneles de 75 W el 27 de mayo en Salta

Se observa claramente, que la potencia entregada es mayor con los 4 paneles en paralelo, lo que indica que los paneles no alcanzan a proveer la corriente requerida por el motor, por lo que se procedió a repetir el ensayo con baterías.

Para este ensayo, se conectaron dos baterías de auto de 12 V, 65 A-H, los resultados se muestran en la tabla 4:

2 Baterías en serie (24 V)	1 Batería (12 V)
Tensión circuito abierto: 25.7V	Tensión circuito abierto: 12.8 V
Corriente en motor: mas de 20 A	Corriente en motor: 10 A
Tensión en el motor: 23 V	Tensión en el motor: 12 V
Velocidad: mayor que 3500 RPM	Velocidad: 1760

Tabla 4: Ensayos del motor con baterías de auto.

El motor alimentado con 24 V y sin limitación de corriente, alcanza una velocidad y una potencia muy superiores a las requeridas. El dato de " corriente: más de 20 A", significa sencillamente que ese era el límite del instrumento empleado. Puesto que los paneles no pueden proveer esa corriente y que las condiciones de operación, con mucha vibración y aumento de temperatura del motor, no parecen seguras, se decidió utilizar los 4 paneles en paralelo.

Finalmente, se mantuvo el motor en funcionamiento durante tres horas, con los 4 paneles en paralelo y una radiación solar en el plano de los paneles, cercana a los 1000 W/m². En estas condiciones no hubo calentamiento de la carcasa y la velocidad se mantuvo estable alrededor de las 1800 R.P.M. y se verificó que el motor arranca sin inconvenientes, con una radiación solar de 600 W/m² medida sobre el plano de los paneles con lo cual se procedió a instalar el sistema.

Con el equipo cargado, se conectó el ventilador a los paneles, tomándose medidas con distintos ángulos. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Paneles inclinados a 36 °	Paneles inclinados 18 ° (Hs. 14:02)
Hora 13:52	Hora 14:02
Temperatura ambiente 20.5 C	Temperatura ambiente 21 C
Radiación solar global: 988 w/m ²	Radiación solar global: 921 w/m ²
Tensión circuito abierto: 19,3V	Tensión circuito abierto: 19,6 V
Corriente de corto circuito: 16.8 A	Corriente de corto circuito: 17.5 A
Corriente en motor: 12,1 A	Corriente en motor: 13 A
Tensión en el motor: 17.1 V	Tensión en el motor: 16.8 V
Potencia entregada: 207 W	Potencia entregada: 218 W

Tabla 5: Ensayos del sistema en Perico, el 16 de agosto de 2002

En la figura 3 se representa gráficamente la relación corriente tensión de los paneles para los puntos de funcionamiento medidos. En el mismo gráfico se muestran tres curvas $V \times I = Cte.$ correspondientes a potencias de 180, 200 y 220 W.

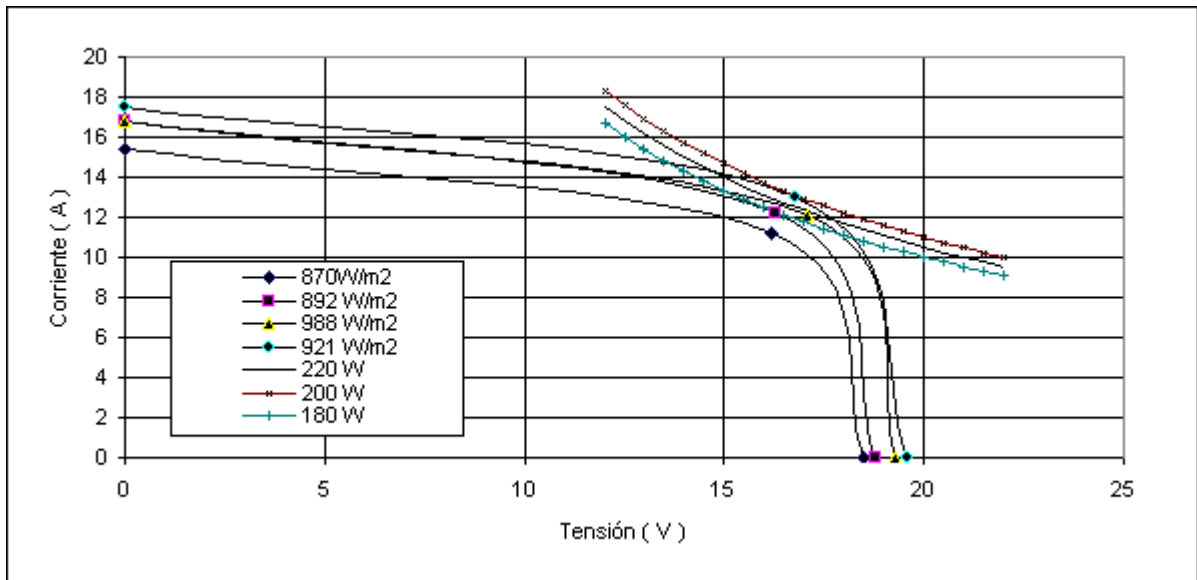


Figura 3: Puntos de funcionamiento del motor acoplado a los paneles con distintos niveles de radiación solar

ENSAYOS PRELIMINARES DEL SISTEMA

Se realizó un primer ensayo del sistema, con el ventilador montado en la cámara, la que se cargó con dos bultos iguales de 8 cajones a lo largo por 11 de altura cada uno (176 cajones), midiéndose la caída de presión con un manómetro de agua de columna inclinada entre distintos puntos el pasillo central y el centro de uno de los pasillos laterales. La caída de presión máxima, medida entre los dos plenos es de 2 mm de agua, correspondiente a un punto cercano al ventilador.

Para calcular el flujo de aire, se midieron los perfiles de velocidad en tres puntos a lo largo del pasillo central con un anemómetro de hilo caliente TSI con fondo de escala de 2 m/s. La tabla 6 muestra las velocidades medidas y el caudal calculado, considerando una sección del pasillo, de 0.62 m²

Distancia desde el ventilador	0.30 m	1.20 m	1.90 m
Velocidad a 1.05 m de altura	0.2 m/s	0.75 m/s	0.6 m/s
Velocidad a 0.80 m de altura	0.3 m/s	1.5 m/s	1.8 m/s
Velocidad a 0.25 m de altura	0.4 m/s	1.10 m/s	Fuera de rango
Caudal medio	0.18 m ³ /s	0.69 m ³ /s	Fuera de rango

Tabla 6: Medidas de velocidad de aire

Los caudales medidos son similares a los previstos en el dimensionamiento previo y la caída de presión notablemente menor.

La diferencia de caudales entre un extremo y el otro del pasillo central, se debe a la diferencia de longitud en el recorrido del aire.

CONCLUSIONES

Se construyó y se puso en marcha un prototipo de cámara de acondicionamiento térmico para frutillas, con un diseño adecuado para las condiciones agroecológicas de la zona de Perico, Jujuy.

Las primeras medidas realizadas, indican que el sistema de movimiento de aire puede operar con el motor conectado directamente a los paneles fotovoltaicos, sin batería ni regulador.

No obstante, se agregará al sistema una batería de 12 V, 65 A-h, y un regulador de carga, para que el ventilador trabaje durante los períodos de nubosidad intermitente y las últimas horas de la tarde.

Las medidas de los parámetros de operación del equipo, permitirán diseñar con mayor precisión otros sistemas de mayor capacidad.

Las tareas de estiba, cerramiento de los bultos y puesta en marcha del equipo, resultan muy sencillas y durante la operación solamente se requiere un operario cerca para el control manual del motor. Esto último no será necesario con el regulador de carga instalado.

Puesto que la instalación del equipo se concluyó en invierno, no pudo aún ensayarse con las condiciones de temperatura ambiente más críticas, por lo que se planea completar esta experiencia en el período octubre-diciembre de este año.

En la ocasión se medirá además la temperatura y humedad del aire en distintos puntos de la cámara y se realizará una evaluación de la calidad de la frutilla, en comparación con testigos estibados a temperatura y humedad ambiente.

REFERENCIAS

Folquer F. (1986) La Frutilla o Fresa Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires

Kirschbaum, D. S. (1999) Curso de Producción de Frutilla en el NOA. INTA Famailá, Tucumán,

Fraser H.W. (1998) Tunnel Forced Air Coolers for Fresh Fruits & Vegetables. Factsheet ISSN 1198-712 X, Queen's Printer, Ontario

Howard, C. M., and Albrechts, E. F.. 1984. Compendium of Strawberry Diseases. J. L. Maas, co. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Saravia L. et. al. (1981) Estudio del Bioclima y de la Vivienda Rural Tradicional en el Noroeste Argentino. Actas de la 7ª. Reunión de ASADES, Rosario, Argentina

Thompson, J.F.(1996) Forced-air cooling. Perishable Handling Newsletter. Issue No.88. November.

Duffie J. And Beckman J. (1991) " Solar Engineering of Thermal Processes " Jhon Wiley & Sons, N. York

MultiWing (2002), www.multi-wing.org

RESUMEN: Se presenta el diseño y ensayo de un prototipo de equipo para acopio de frutillas, acondicionado térmicamente por medio de un sistema de circulación de aire húmedo.

El sistema construido y ensayado, con una capacidad máxima de 1500 Kg. de frutillas, consta de un recinto de 50 m³ en cuyo interior se acopian los cajones de frutillas formando un túnel, por el cual se hace circular aire impulsado por un ventilador conectado a paneles fotovoltaicos. La corriente de aire atraviesa una malla de tela de algodón que se mantiene húmeda por medio de un sistema de goteo.

Se puso en marcha el equipo con los paneles acoplados directamente al motor y se caracterizó experimentalmente el sistema de circulación de aire.

ABSTRACT: On this paper is showed the design and test of an experimental postharvest strawberry storage thermally conditioned by wet air.

The built and tested system consists of a 50 m² enclosure of 1500 Kg capacity were strawberry are kept in boxes organized as a tunnel into wich air is blowed by a photovoltaic electric fan.

Air gets wet by passing through a humid cloth.

Also initial tests by a direct connection to motor-PV and experimental results are reported.

Keywords: strawberry, solar energy, postharvest,