

CONSTRUCCION DE UN SECADERO SOLAR EXPERIMENTAL PARA FRUTAS Y HORTALIZAS (*)

Aldo FABRIS, Hugo GROSSI GALLEGOS, Mónica GARCIA y Alejandro ROBERTI
COMISION NACIONAL DE INVESTIGACIONES ESPACIALES
Departamento de Energía No-Convencional
Avda. Mitre 3100 - 1663 - San Miguel - Buenos Aires

Resumen

En este trabajo se describe la construcción de una cámara de secado experimental destinada a ser utilizada en la deshidratación de frutas y hortalizas (1). Se comentan algunos resultados experimentales del envejecimiento de un colector construido en material plástico (PVC) destinado a ser utilizado en el calentamiento del aire de secado. Luego de aproximadamente un año de exposición (mayo/79-abril/80) del calentador de aire, las láminas superiores estaban francamente deterioradas mecánicamente. Las láminas negras inferiores parecen ser útiles aún. Las primeras roturas se produjeron en las soldaduras, que han demostrado ser los puntos más débiles de éste tipo de colectores.

Fué estimada la disminución de la eficiencia del colector con el tiempo.

Se describe un sistema constructivo para colectores plásticos, en el que se está trabajando actualmente. Se realiza una estimación del costo de este tipo de colectores.

Introducción

Para procesos que se realizan a temperaturas menores que 80 °C (lavado, secado, etc.), la energía solar podría suplantar el uso de otros tipos de combustibles en un plazo no muy largo. Si bien este reemplazo es técnicamente posible, resta aún mucho que hacer en el desarrollo de materiales, componentes y sistemas que hagan este tipo de utilización de la energía solar económicamente viable.

Se han realizado numerosos estudios de pequeños secaderos solares familiares que han demostrado la posibilidad de secar ciertos productos agrícolas aún en condiciones climáticas consideradas normalmente como no aptas para el secado al aire libre (secaderos tipo invernáculo, con o sin secadero de aire adosado). Este tipo de secaderos permite la evaporación de aproximadamente 0,5 Kg. de agua por metro cuadrado de superficie captora y por día. (2) (3) y (4).

Para realizar el proceso en mayor escala, se han estudiado teórica y experimentalmente distintos tipos de calentadores de aire (5,6 y 7). Los distintos tipos de calentadores surgen como consecuencia de las condiciones en las que cada producto debe secarse. Fundamentalmente la temperatura a la cual debe llevarse a cabo el proceso.

Existe también experiencia en calentadores de aire en plástico inflable diseñados para ser usados en el secado de granos. (8,9 y 10).

(*) Financiado parcialmente por la Secret. de Estado de Ciencia y Tecnología.

En el campo de los sistemas de secado a escala industrial, las experiencias realizadas son más recientes pero arrojan resultados bastante alentadores. (11,12 y 13)

En la investigación que éste trabajo describe, nos hemos propuesto el diseño, construcción y ensayo de un prototipo semi-industrial de secadero de frutas y hortalizas con el objeto de estudiar el uso de la energía solar en éste tipo de dispositivos. Una descripción más detallada de el proyecto que estamos llevando adelante puede encontrarse en (1).

Cámara de Secado

La cámara de secado que hemos construido puede apreciarse en la figura 1. Se trata de una cámara que permite la circulación del aire de secado a través de las bandejas que contienen el producto a secar. La estructura de la misma es de caño de hierro cuadrado de 60 por 60 mm y está forrada internamente en chapa de hierro galvanizado. La aislación es de poliuretano expandido aplicada mediante spray. Las puertas son de doble contacto con doble burlete para disminuir a un mínimo las pérdidas de aire. La terminación exterior que sirve para proteger la aislación del medio ambiente se ha realizado en resina poliéster reforzada con un velo de terminación de fibra de vidrio.

En la figura 2 puede apreciarse el dispositivo que permite la renovación parcial del aire de secado, que por medio de una manivela acoplada a un reductor de sinfin y corona permite el ajuste del caudal de aire recirculado.

Se prevee para ésta cámara una carga de 300 Kg. de fruta fresca que deberá distribuirse en 26 bandejas de 1 por 1 metro construidas en alambre tejido galvanizado unido a un marco de caño de hierro cuadrado pintado con pintura epoxi blanca especial para recipientes destinados a la industria alimentaria. Ver figura 3. Las bandejas irán colocadas en la cámara agrupadas en dos columnas de 13 bandejas cada una. Ver figura 4. La distancia media entre bandejas es de aproximadamente 10 cm.

Colector Solar

En la figura 5 puede verse el calentador de aire construido con fines experimentales. La descripción del principio de funcionamiento del mismo puede consultarse en la ref. (1). El colector estuvo a la intemperie por un período de aproximadamente un año (11 meses) desde mayo/79 hasta abril/80. De éste período solo fué operativo durante los primeros cuatro meses dado que debido a distintas roturas se consideró que ya no era conveniente continuar con su operación. La causa principal se debió a reiteradas roturas en los puntos lindantes con las soldaduras. A pesar de esto se lo dejó expuesto con el objeto de poder determinar la degradación que sufrirían sus componentes. Al finalizar éste período se evaluó su degradación.

En la figura 6 puede observarse la disminución del espesor de la aislación inferior de poliéstireno expandido, donde se la compara con una plancha no expuesta. Puede sacarse como conclu-

sión que su espesor no ha disminuido a más de la mitad de su valor original.

En las tablas I y II, puede observarse la disminución del coeficiente de transmisión de las láminas translúcidas superiores para distintos procesos de limpieza a que fueron sometidas.

En la tabla I puede observarse el porcentaje de transmisión de las láminas transparentes solas y en conjunto. Este porcentaje se midió utilizando un solarímetro de celda fotovoltaica de silicio como sensor y como fuente de luz una batería de dos tubos fluorescentes blancos de 40 W ubicados a una distancia de aproximadamente 60 cm de la celda detectora. Se interponían entre el solarímetro y la fuente de luz las láminas y haciendo el cociente entre el valor de la lectura sin la lámina en cuestión con el valor de la lectura con la lámina, se obtenía el porcentaje de transmisión buscado. En este dispositivo se medía la transmisión total de la lámina para un ángulo de incidencia de la radiación de aproximadamente 40° .

En la tabla II puede observarse el porcentaje de transmisión relativo a una lámina nueva del mismo material para distintos métodos de limpieza de la muestra envejecida. Este ha sido medido utilizando un espectrofotómetro U.V. visible de acuerdo a las condiciones especificadas en la referencia (14). Estos valores corresponden al porcentaje transmitido de radiación directa.

De acuerdo a estos datos se estimó utilizando las ecuaciones aproximadas de la referencia (15) pag. 164 d, con $c_G = 20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $U_c = 15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, $h_1 = h_2 = 20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ y $h_r = 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ la eficiencia del colector nuevo (curva 1, figura 7). La eficiencia del colector luego de 11 meses de uso (curva 2). La eficiencia del colector a los 11 meses si su aislación se hubiese conservado intacta (curva 3) y la eficiencia del colector luego de igual período si se hubiese podido lavar a fondo con detergente la lámina superior.

De la figura 7 puede verse que la disminución de la transmisión óptica de las láminas plásticas es por mucho el factor dominante de la caída de la eficiencia. Son responsables de esta pérdida de transmisión, el polvo depositado y la degradación óptica del material, siendo la primera la causa más importante cuantitativamente. Las curvas de la figura 7 permiten apreciar cuantitativamente la importancia de cada uno de los factores. Es probable que una limpieza razonable desde el punto de vista práctico permita colocar la curva de eficiencia del colector después de un año de uso entre las rectas 2 y 4 de la fig. 7.

Otro efecto limitante sobre la duración del colector es el de la rigidización de las láminas plásticas, que nosotros hemos observado en algunas zonas muy localizadas. Pensamos que éste problema puede impedir que la vida útil del calentador pueda extenderse mucho más allá de un año.

Las láminas negras inferiores se encontraban en excelente estado, pensamos que éstas podrían seguir siendo útiles todavía.

Líneas Actuales de Trabajo

Los problemas mencionados en el punto anterior nos ha llevado a repensar los problemas de éste tipo de colectores. Se determinó que sería interesante desarrollar un sistema constructivo de colectores plásticos que eviten las soldaduras, que permitan la renovación parcial de las láminas deterioradas prolongando la utilización de las que se encontraren en buen estado, y que de ser posible permita la construcción de colectores plásticos híbridos (compuestos por capas de distintos materiales de acuerdo a sus condiciones particulares de uso).

En la figura 8 puede verse un corte del burlete diseñado para tal efecto, a ser construido en caucho sintético. Se introducen las láminas plásticas envolviendo un perfil que calza en la cavidad triangular, luego se coloca el perfil cerradura superior que impide que por efecto de las fuerzas actuantes, las láminas plásticas sean arrancadas de su alojamiento.

En la figura 9 puede verse un perfil de PVC que serviría para igual propósito.

Actualmente estamos trabajando en desarrollo de los dispositivos mencionados.

Costos

Con el fin de tener una idea aproximada del posible costo de éste tipo de colectores hemos hecho un cómputo de materiales y de su costo para distintos anchos de colector. En la tabla III pueden verse los resultados. En la misma puede apreciarse una sensible disminución del costo al aumentar el ancho de los colectores. Esto se debe a la menor incidencia por unidad de área de los elementos de unión y fijación entre las láminas.

Para ésta tabla se ha supuesto que cada m^2 de colector necesita de 4 láminas plásticas de una superficie de $1,3 m^2$ c/u, debido a las pérdidas de material.

La aislación inferior se eligió de poliestireno expandido de 40 mm de espesor.

Los elementos de sujeción se han calculado en base al costo de los burletes o elemento equivalente que se ha estimado en 12.000 \$ el metro lineal.

Para la preparación del terreno se ha supuesto un costo de hormigicidas y herbicidas de 925 \$ por metro cuadrado.

El costo anual de mantenimiento se ha estimado en base al costo de dos láminas plásticas.

La duración de los elementos de sujeción se ha estimado en alrededor de 10 años de exposición continua a la intemperie.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada por el Sr. Eduardo WEBSTER en todos los trabajos vinculados con este proyecto, especialmente durante la construcción de la cámara de secado.

Bibliografía

1. SECADERO SEMI-INDUSTRIAL PARA FRUTAS Y HORTALIZAS: INFORME PRELIMINAR. Actas de la 5ta Reunión de Trabajo de la ASADES Cordoba-ARGENTINA- JULIO/79.
2. A SURVEY OF SOLAR AGRICULTURAL DRYERS. Technical Report T-99. Brace Research Institute. Mc Gill University. Diciembre/75.
3. Selcuk, K. "A Solar Cabinet Dryer" Solar Energy. Vol.10 N°4. (1966) pp 158-164.
4. Jaoand, A. et al "Informe del Progreso del Grupo de la U.N.Lu sobre secaderos de frutas y hortalizas". Actas de la 3ra reunión de Trabajo de Energía Solar. ASADES Mendoza.) octubre/1977.
5. Whillier, A. "Black Painted Solar Air Heaters of Conventional Design". Solar Energy. Vol. 11 N°1 (1964) pp 31-37.
6. Gupta, C.L. y Garg, H.P. "Performance Studies on Solar Air Heaters" Solar Energy. Vol.11 N1 (1967) pp 25-31.
7. Niles, P.W. et al "Design and Performance of an Air Collector for Industrial Crop Dehydration" Solar Energy. Vol 20 (1977) pp 21-31.
8. Saravia, L. Y Fabris, A. "Ensayo de un Calentador de Aire de Matriz Porosa". Idem referencia 4 pp 101-107.
9. Catania, P. "Overview of Solar Crop Dryers in North America". Trabajo presentado en el 2do congreso Latinoamericano de Energía Solar - Joao Pessoa - Paraiba- Brasil- Febrero/1980.
10. Stork, A. "Survey of the Development of Solar Flat Plate Air Collectors in Germany" Abstract N140 Extended Abstract Vol 2 International Solar Energy Congress- New Delhi- Enero/1980.
11. Research on the Application of Solar Energy to Industrial Drying or Dehydration Processes". Final Report 2nd Phase. California polytechnics State University. San Luis Obispo. California.
12. Carnegie, E.J. et al "Operation of an Industrial Solar Drying System" Int. ISES Congress Mayo/1979 Atlanta. Georgia. USA.
13. Saravia, L. et al "Secado de Tabaco: Resultados Experimentales" 4ta reunión de Trabajo de la ASADES. La Plata-Julio/1978-
14. Grossi Gallegos, H. "Sobre la Transmitancia del Cloruro de Poli-Vinilo". Actas de la 5ta Reunión de trabajo de la ASADES. Córdoba- Julio/79.

‡ TRANSMISION

| MUESTRA ESTADO | Lam. Inferior (sola) | Lam. Superior (sola) | Lam. Inferior + Lam. Superior | Producto Transmisión Absorción $0^\circ - \alpha = 0,9$ |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Sin Exponer | 93 | 93 | 86 | 77 |
| Envejecidas (sin limpiar) | 90 | 74 | 66 | 59 |
| Envejecidas (limpias) | | 89 | 80 | 72 |

TABLA I - Porcentaje de transmisión de las láminas plásticas transparentes del colector plástico ensayado. Envejecimiento de 11 meses. Ver texto.

‡ TRANSMISION RELATIVA

| LONGITUD DE ONDA (μm) MUESTRA | 350 | 400 | 500 | 800 |
|---|-----|-----|-----|-----|
| Sin Lavar | 9 | 11 | 14 | 18 |
| Lavado Suave | 25 | 36 | 48 | 61 |
| Lavado a Fondo | 62 | 73 | 83 | 90 |

TABLA II - Porcentaje de transmisión relativa a una muestra del material sin envejecer para distintos estados de la muestra. Ver texto.

| E L E M E N T O \ A N C H O | 1 m | 2m | 4 m |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Láminas Plásticas | 13.900 (7,6) | 13.900 (7,6) | 13.900 (7,6) |
| Aislación Inferior | 5.600 (3,0) | 5.600 (3,0) | 5.600 (3,0) |
| Elementos de Sujección | 24.000 (13) | 12.000 (6,5) | 6.000 (3,2) |
| Preparación Terreno | 925 (0,5) | 925 (0,5) | 925 (0,5) |
| Mano de Obra | 1.850 (1,0) | 1.850 (1,0) | 1.850 (1,0) |
| TOTAL | 46.275 (25,1) | 34.275 (18,6) | 28.275 (15,3) |
| Mantenimiento | 6.950 (3,8) | 6.950 (3,8) | 6.950 (3,8) |

TABLA III- Costo estimado de los colectores plásticos por metro cuadrado. Los costos son en pesos argentinos (15/6/80). Los números entre paréntesis son los costos en dólares estadounidenses.

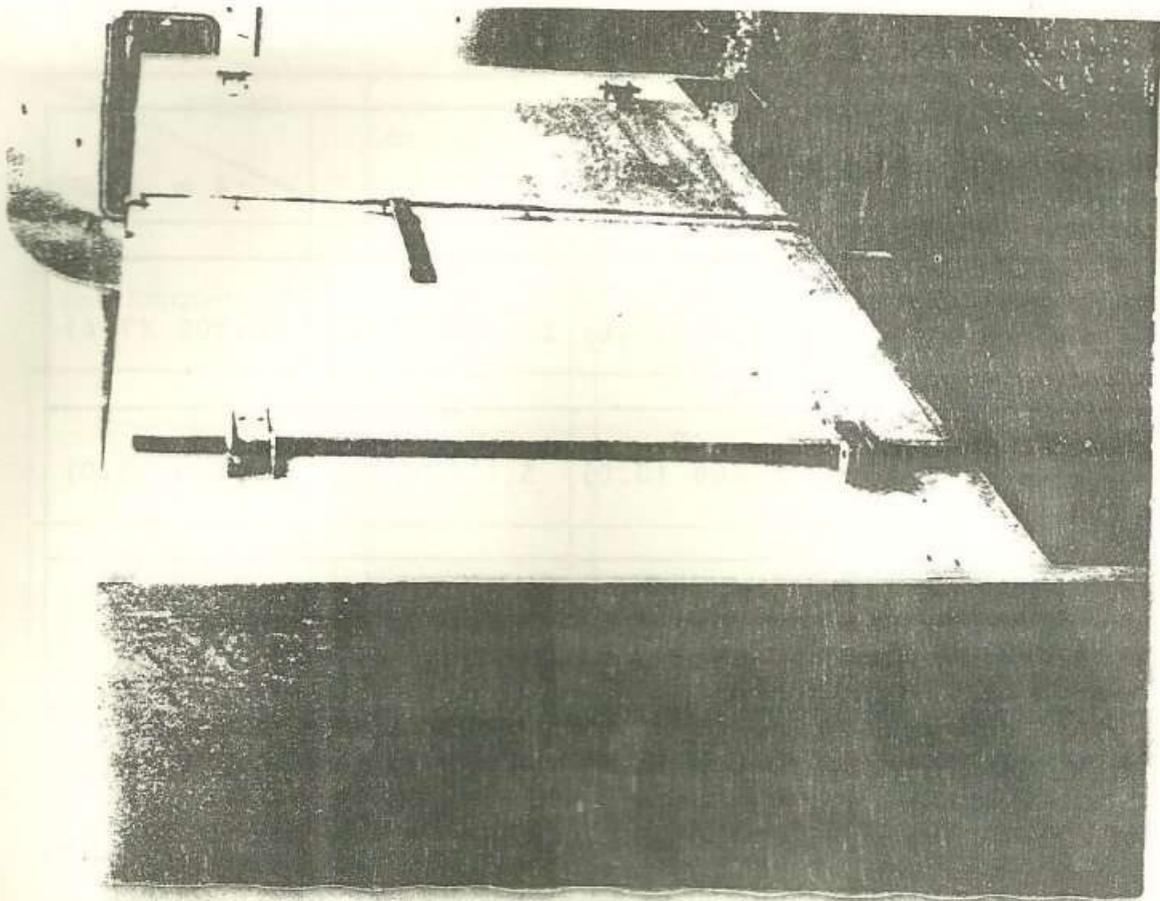


Figura 1 - Muestra la cámara de secado.

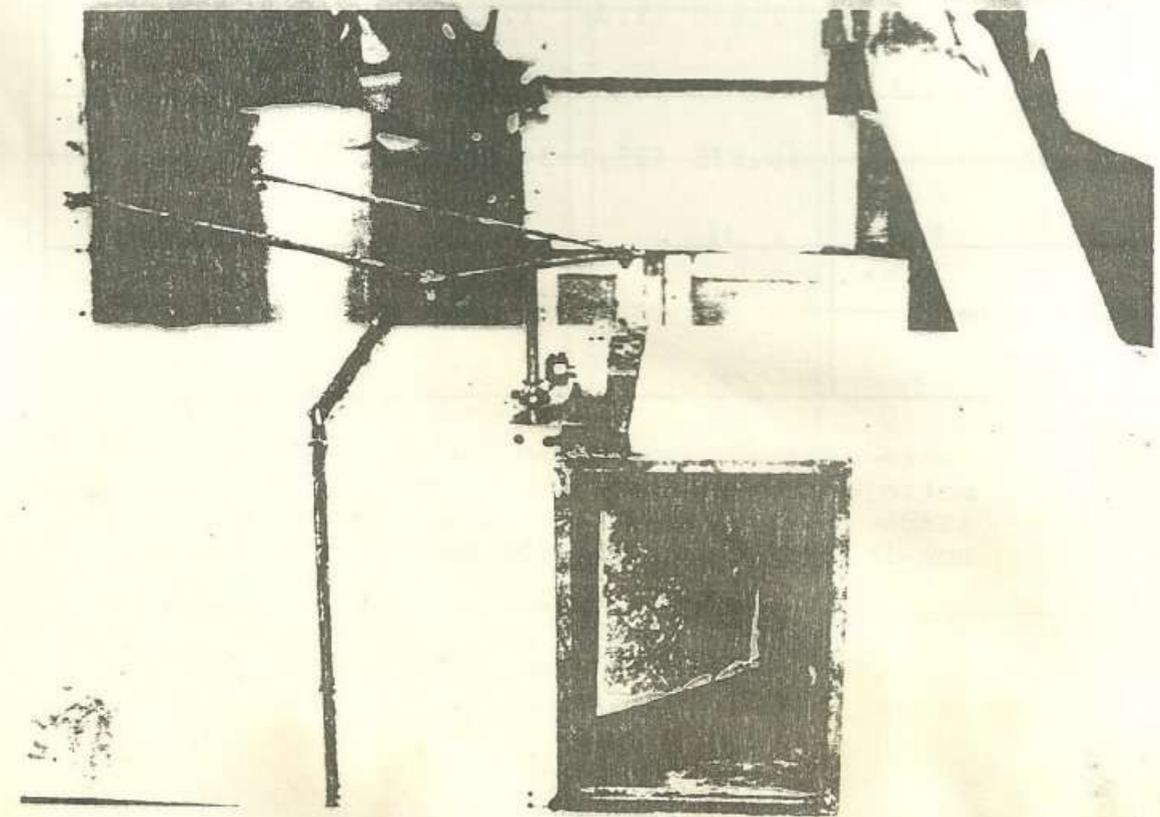


Figura 2 - Muestra el dispositivo para la renovación de aire.

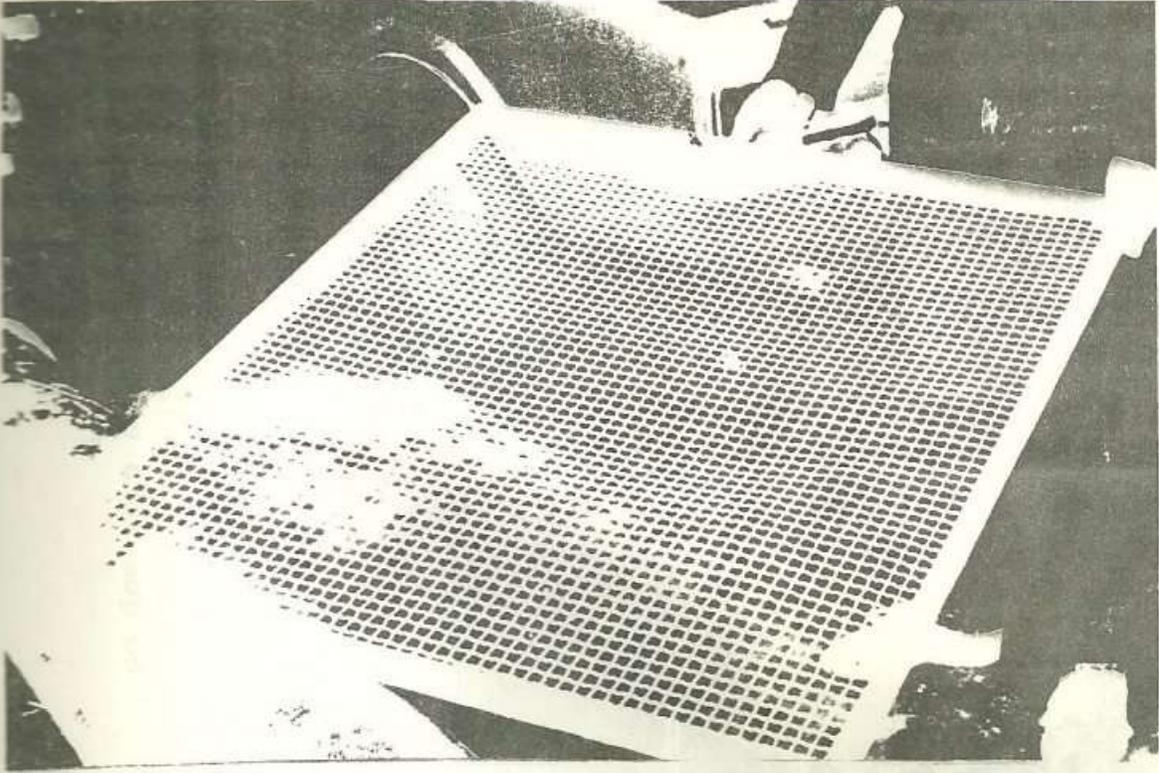


Fig. 3 - Muestra las bandejas para el producto a secar.

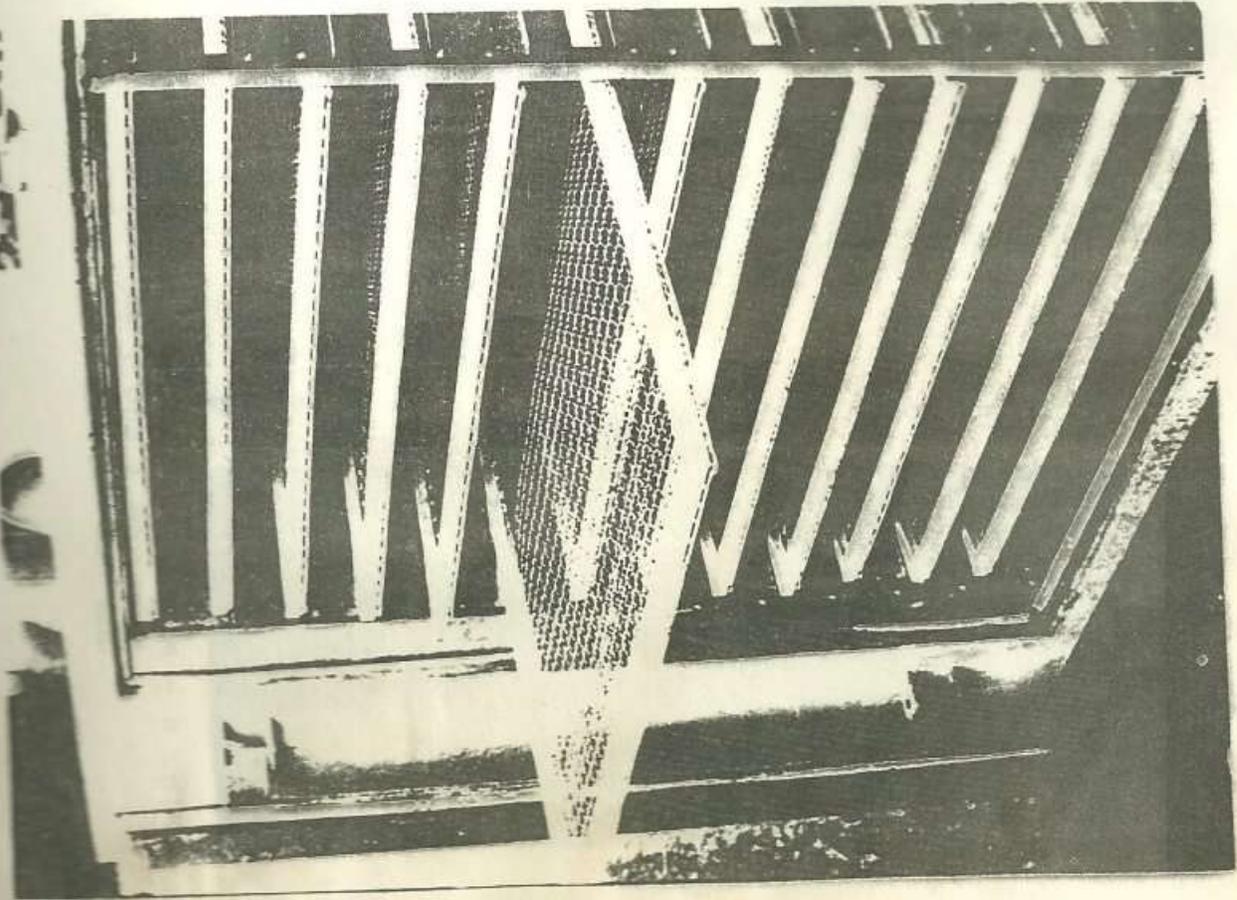


Fig. 4 - Muestra la cámara de secado abierta.

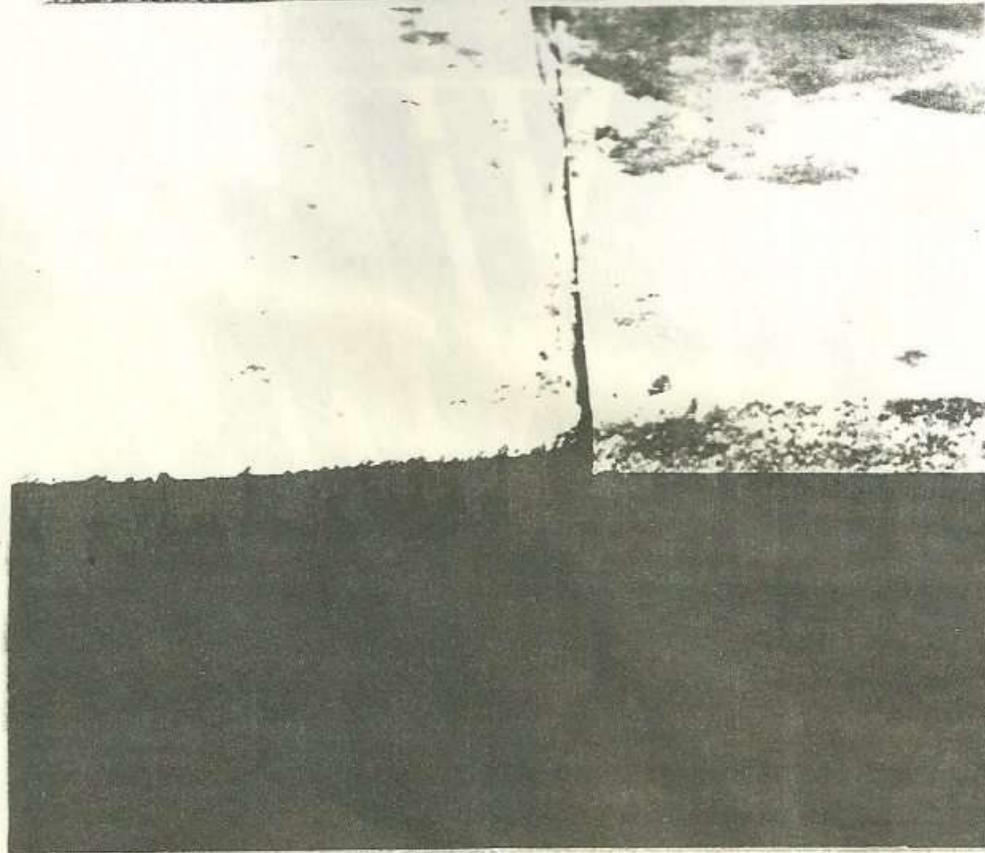


Fig. 6 - Muestra el estado de la aislación luego de 1 año , se compara con una nueva.



Fig. 5 - Muestra el colector de aire plástico que será utilizado.

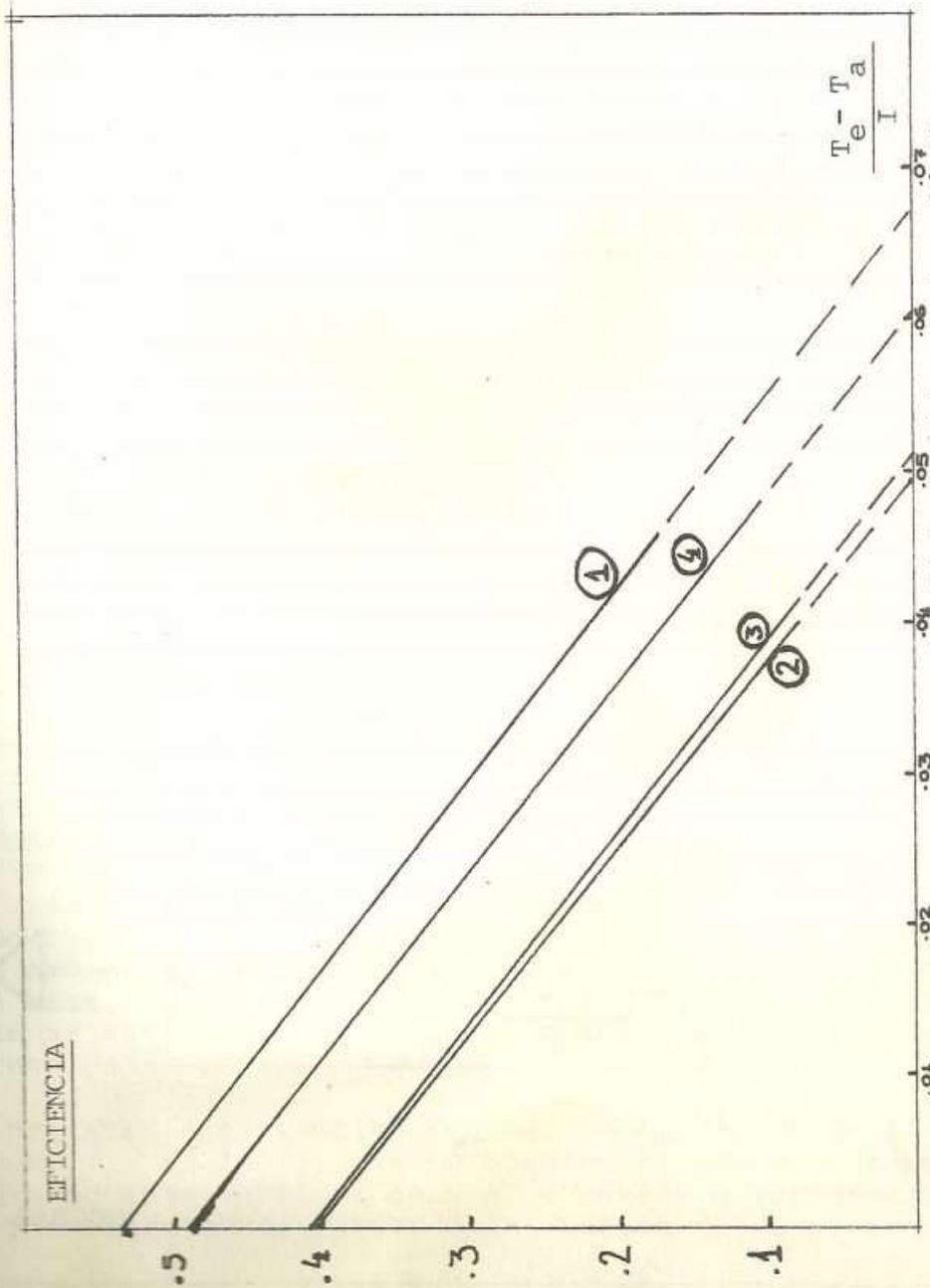


FIGURA 7 - Muestra distintas curvas de eficiencia del colector plástico.
Para comentarios, ver texto.

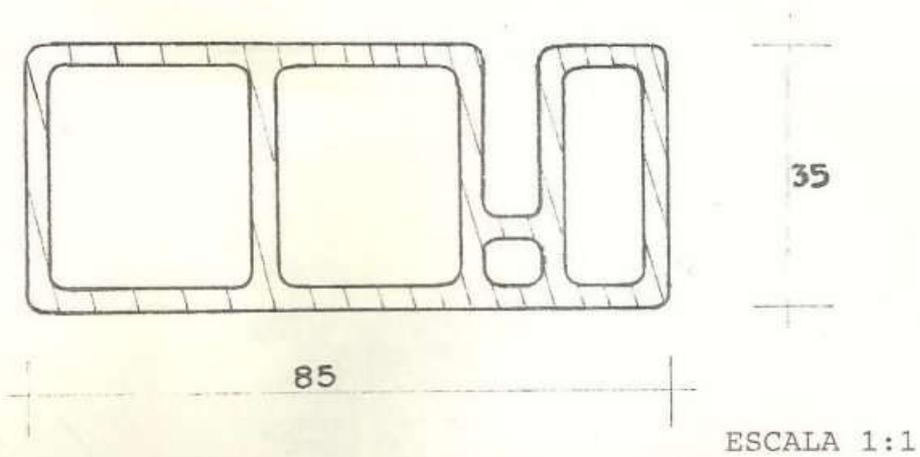


FIGURA 9 - Corte de un perfil de PVC que puede ser utilizado para sujetar las láminas plásticas.

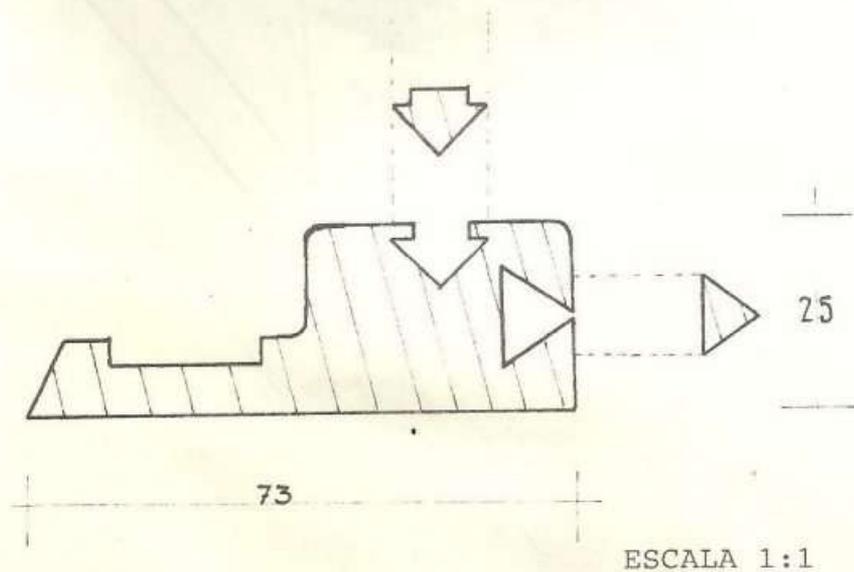


FIGURA 8 - Corte de un burlete en caucho sintético que puede ser utilizado para la sujección de las láminas plásticas.