

SECADO SOLAR DE TABACO: RESULTADOS EXPERIMENTALES

Luis Saravia,* Elvio Alanis,* Erico Frigerio, José Castagnolo y Aldo Fabris* - Grupo de Energía Solar, Departamento de Ciencias Exactas - Universidad Nacional de Salta - 4400 Salta, Argentina.

Resumen

En un trabajo anterior (1) se explicó en detalle el proceso de secado de tabaco Virginia, se estudió el proceso desde el punto de vista térmico así como las posibilidades de utilización de la energía solar, discutiendo un proyecto de prototipo de secadero solar. En esta presentación se describe el prototipo construido, en especial el acumulador de 8 toneladas de piedra y la cámara de secado para 200 kg de tabaco, con recirculación de aire, así como el sistema de control instalado. Este último está basado en dos sensores de temperatura, uno en el acumulador y otro en la cámara de secado, y un sensor de radiación, los que comandan los motores de los ventiladores y compuertas de distribución de aire.

En este prototipo se ha secado tabaco durante los meses de enero, febrero y marzo, obteniéndose datos que son presentados y discutidos.

Por último, se explica un anteproyecto de construcción de secadero solar a escala natural, para 7500 kg de tabaco húmedo.

Abstract

The Virginia tobacco drying process, including the thermal balance, the different alternatives for the use of solar energy and the general description of a prototype, was explained in detail in a previous paper. (1)

In the present work, the built prototype is described, specially the 8 Ton pebble bed accumulator, the tobacco drying chamber and the control system. The control system uses two temperature sensors and one solar radiation sensor which command the fan motors and the air distribution gates.

The data obtained during the 1977-1978 harvesting season are given and discussed.

The general description of a solar drying system for 7500 kg of tobacco is also given.

1. Introducción

En un trabajo previo (1) se ha explicado el proceso de secado del tabaco tipo Virginia, los consumos térmicos involucrados en dicho proceso y las posi

* Investigador de la CNEGH

Dirección actual: CNIE, San Miguel, Provincia de Buenos Aires.

bilidades de adaptación de sistemas solares, describiéndose someramente el proyecto de un prototipo de secadero solar a escala reducida, 200 kg. de tabaco húmedo, que tiene como fin evaluar la posibilidad técnica del proceso propuesto, así como determinar los parámetros físicos necesarios para el diseño del prototipo a escala completa.

En este trabajo se detallan los aspectos constructivos del prototipo no discutidos anteriormente (1) y los resultados experimentales obtenidos durante la cosecha 1977-78. Por último, se describe el anteproyecto de un secadero a escala completa, diseñado sobre la base de los resultados experimentales obtenidos.

2.- Descripción del prototipo

El prototipo está constituido por tres elementos: la cámara de secado propiamente dicha, el acumulador de calor y el colector solar. El esquema de la conexión de los ductos de aire, sensores y controles de flujo se muestra en la Fig. 1.

El colector, del tipo de matriz porosa y con una superficie de 25 m^2 , ha sido descrito en un trabajo previo (1, 2).

El acumulador está constituido por un lecho de piedra de cantos rodados con diámetros que oscilan entre los 2 y los 4 cm. El lecho tiene una altura de 1,3 m., su sección es circular, con un diámetro de 2,4 m., y contiene alrededor de 8000 kg. de piedra. Dos cámaras de aire, con una altura de 30 cm. cada una, permiten uniformizar la distribución de aire a la entrada y salida del acumulador. El recipiente está construido con paredes en chapa galvanizada ondulada Nº 26, colocada verticalmente y zunchada con dos tiras de acero. El techo es de chapa, de forma cónica y con una capa de plástico tipo "alkatene" que evita las pérdidas de aire. El piso está cubierto por una capa de hormigón y en él se clavan perfiles de hierro sobre los cuales se apoyan dos mallas metálicas con agujeros de distinto tamaño, las que soportan el lecho de piedra. Una capa de poliestireno expandido de 2,5 cm. de espesor colocada entre las piedras y la chapa aísla al acumulador.

La cámara de secado fue construida con caños cuadrados y chapa galvanizada, siendo aislada con una capa de lana de vidrio de 2,5 cm. y otra de poliestireno expandido de 8 cm. Las dimensiones de la cámara son: ancho de 1,45 m., altura de 1,8 m. y profundidad de 0,9 m. Ellas permiten instalar cuatro soportes con pinchos, de los utilizados en las estufas de curado en bulto para colgar las hojas de tabaco. Cada soporte carga alrededor de 50 kgs. de tabaco húmedo. Dado el pequeño tamaño de la estufa, una aislación térmica adecuada es necesaria para evitar pérdidas excesivas de calor. También se tomó especial cuidado en evitar fugas de aire caliente sellando todas las juntas con goma siliconada y utilizando burletes de tipo heladera en la puerta de carga.

Una resistencia eléctrica de 2,5 kw permite calentar el aire de la cámara en el caso en que no se disponga de energía de origen solar. Se eligió un calentamiento eléctrico con el fin de simplificar la medida de la energía entregada.

Dos ventiladores mantienen el flujo de aire en las diversas partes del sistema. El ventilador 1 mueve el aire caliente del colector al acumulador o al secadero según se necesite. El ventilador 2 mantiene una circulación constante de aire sobre las hojas de tabaco en la cámara.

Las tres compuertas permiten regular la marcha del flujo de aire, obteniéndose 5 tipos básicos de circulación, de acuerdo a las condiciones de radiación solar^H, temperatura ambiente T_a , temperatura de la cámara de secado T_c y temperatura del acumulador T_{ac} . Estas opciones se explican en la Fig. 2. La cámara de secado debe estar a una temperatura T_0 , que va variando de acuerdo a la etapa en que se encuentra el proceso de secado. Si la temperatura de la cámara T_c es mayor que T_0 , el ventilador 2 simplemente recircula aire en la cámara. Si T_c es menor que T_0 se requerirá el calentamiento de la cámara, ya sea desde el colector, desde el acumulador o con energía convencional según las condiciones. La radiación solar pone en marcha el colector. Se han fijado dos niveles de radiación, H_1 y H_2 , para los cuales la compuerta de salida del colector está semi abierta o completamente abierta, lográndose una mayor constancia en la temperatura de salida durante todo el día.

La detección de las distintas situaciones se realiza mediante tres sensores, uno de radiación y dos de temperatura, colocados según se indica en la Fig. 1. El control de compuertas, ventiladores y calentador convencional se efectúa mediante el circuito eléctrico que se esquematiza en la Fig. 3.

Se han instalado circuitos de medida para el registro de las magnitudes de importancia en el proceso de secado. La radiación solar se mide con un detector de termopila, tipo Kipp y Zonen. Las temperaturas se determinan con termocuplas de cobre -constantán, habiéndose instalado a la salida del colector, a lo largo del acumulador y en la entrada y salida de la cámara de secado. Las temperaturas de bulbo húmedo se miden con las termocuplas sumergidas en un fieltro mojado continuamente y colocado en corrientes de aire que aseguren una medida correcta. La energía consumida por el calentador convencional es determinada por un medidor de energía eléctrico trifásico marca Siemens. Las hojas de tabaco son controladas por pesada directa .

3.- Resultados

Con el prototipo descrito se realizaron 7 ciclos de secado, entre el 26/12/77 y el 15/3/78. En los tres primeros ciclos se cargaron alrededor de 100 kilos de tabaco, mientras que en los últimos cuatro esta cantidad se elevó a 200 kgs. El tabaco fue suministrado por la estación experimental del INTA, en Cerrillos, Salta. En dos de los ciclos, el 1º y el 4to., se utilizó exclusivamente energía convencional, eléctrica, con el fin de medir con precisión el consumo térmico del proceso. En las otras cinco se utilizó una mezcla de energía convencional y solar, en distintos porcentajes determinados por los circuitos de control, según las condiciones ambientales y de radiación solar.

Los registros de temperatura de bulbo seco y húmedo en la cámara de secado se muestran en la Fig. 4, para dos de los ciclos, uno eléctrico y otro con intervención solar. Los otros ciclos no muestran variaciones de importancia res

pecto a estos dos. Se han agregado, a título de comparación, las curvas recomendadas por una de las compañías constructoras de secaderos de tabaco para un caso típico.

Como puede apreciarse, el programa de ascenso de temperatura de la cámara ha sido bien reproducido por el control automático de la cámara. Existen algunas variaciones de ciclo a ciclo, que dependen del estado de la hoja de tabaco (humedad, madurez, etc.).

La diferencia entre las temperaturas de bulbo húmedo y seco indica el grado de humedad en la cámara. Este parámetro se maneja manualmente, controlando la apertura de las ventanillas de entrada del aire externo. En los primeros tres ciclos, de los cuales aquí se muestra el ciclo 2, se obtuvo una humedad menor que la aconsejada, tal cual se ve claramente en la curva de temperatura de bulbo húmedo. Esto se debió a un intercambio de aire con el exterior por filtraciones, bastante mayor del necesario. Ello fué corregido en los últimos cuatro ciclos, tal cual puede apreciarse en la Fig. 4.

En todos los ciclos se midió la entrega de energía convencional con el fin de obtener, por diferencia con los resultados para un ciclo con calentamiento exclusivamente eléctrico, la cantidad de energía solar suministrada a la cámara. No se intentó medir directamente este parámetro, por no poder obtener valores para el flujo de aire a la entrada de la cámara en forma sencilla y con un mínimo de precisión. La Fig. 5 muestra el consumo acumulado de energía convencional, expresado por kg. de tabaco seco obtenido, para cuatro de los ciclos realizados que presentan características particulares.

Dos de ellos con calentamiento convencional, nos dan el consumo total esperable, que resulta ser el orden de 25.000 kilojulios por kg. de tabaco seco (5000 Cal/kg.).

Debe tenerse cuidado al extrapolar esta cifra a secaderos de mayor tamaño, ya que en hornos pequeños las pérdidas porcentuales por conducción y fugas de aire son mayores. Sobre la base de las medidas realizadas se ha estimado por cálculo el porcentaje de energía consumida por cada rubro. Para el ciclo 1 se estimó que la energía efectivamente utilizada en la vaporización de agua corresponde al 43% del total, la pérdida como calor sensible del aire caliente que deja al sistema es de 41% y la debida a conducción térmica vale 16%. Se espera que al agrandar el secadero la segunda cifra baje al 30% y la tercera al 10%, por lo que el consumo total se ubicaría entre los 20.000 y 25.000 kilojulios por kilo de tabaco (5000 a 5500 Cal/kg.). Se han tratado de recoger cifras estimativas de este consumo a nivel de productores. Ellas varían en mucho debido al estado de los quemadores e intercambiadores así como la forma en que cada uno maneja las ventanillas de entrada de aire. Usualmente se tienen valores que oscilan entre 1 y 1,5 kg. de gasoil por kilo de tabaco (de 10.000 a 15.000 Cal/kg.). El fabricante ha realizado medidas en condiciones muy controladas llegando a consumos del orden de 0,7 kg. gasoil/kg. (7000 Cal/kg.). Teniendo en cuenta el rendimiento de quemadores e intercambiadores, esta cifra es compatible con la medida en el prototipo.

Las curvas de consumo acumulado de los dos ciclos eléctricos muestran algu

na diferencias debido a que en el ciclo 4 se controlaron mejor las fugas de aire, y al utilizarse una mayor masa de tabaco las pérdidas pesaron menos. Ello permite apreciar mejor el consumo horario, que se muestra en la Fig. 6 para el ciclo 4. El consumo horario muestra el aumento producido por el comienzo de evaporación una vez que el amarillamiento termina, y el descenso final cuando la mayor parte del agua ya ha sido evaporada. Es este consumo desparejo el que exige una instalación solar de mayor superficie.

La Fig. 5 también muestra el consumo parcial de los ciclos 2 y 3. El ciclo 3 corresponde a una situación de radiación solar media buena durante el secado. El ahorro energético fue del 70%. El ciclo 2 corresponde a una sucesión de días más nublados, con un ahorro del 28%. Los otros ciclos presentan situaciones intermedias. Estos porcentajes pueden considerarse como buenos, teniendo en cuenta que el colector no entrega temperaturas mayores de 60°C y no se cuenta con recirculación. En lo que corresponde al aprovechamiento de la energía solar colectada por el sistema, el porcentaje es bajo, del orden del 50%. Esto se debe fundamentalmente a que el colector trabaja sin recirculación, por lo que la energía acumulada con temperaturas comprendidas entre la de la cámara y la ambiente, no es aprovechada. Al trabajar con recirculación, el acumulador parte con una temperatura de base igual a la de la cámara, y la energía recogida pasa a ser aprovechada casi totalmente. Naturalmente, en este caso se necesita de un colector más sofisticado, que permita trabajar a eficiencias aceptables en el rango de temperaturas impuestas por la recirculación.

El funcionamiento del colector ha sido ilustrado en otro trabajo (2), por lo que no se discute aquí.

El acumulador ha trabajado sin problemas. Se ha constatado que la distribución de aire y temperatura en una sección normal al flujo es cuasi-uniforme. No se han encontrado filtraciones mayores de aire. Se ha medido el descenso de temperatura a lo largo del acumulador durante una noche en la que no funcionó, encontrándose que la energía perdida durante 15 horas fue del 14% de lo acumulado, que es lo esperado teniendo en cuenta su tamaño y la aislación usada.

En lo que se refiere a la calidad del tabaco obtenido, es de indicar que las condiciones de temperatura y humedad en la cámara son similares a las de las estufas comunes, por lo que no son de esperar cambios importantes. El tabaco obtenido fue normal, con un tinte ligeramente limón, probablemente producido por una humedad algo menor en el período de amarillamiento. Las partidas obtenidas desde el 4to. ciclo en adelante fueron más desparejas en su calidad, pero ello fue producido por un cambio en el método de colocación de las hojas en los pinchos, no tan parejo como antes, lo que produce una ventilación desigual. Los porcentajes en peso de tabaco seco obtenido, referidos al húmedo inicial, oscilaron entre el 12 y el 15%. Debe destacarse que en esta cifra influye el estado del tabaco seco en el momento en que se pesa, ya que se debe humidificar para su manejo. También importa el contenido inicial de humedad por lluvias, etc.

4.- Anteproyecto de secadero solar a escala natural

Los resultados recogidos a escala piloto han permitido encarar el proyecto de un sistema solar adaptado a las estufas de "secado en bulto" ya instaladas en el noroeste argentino. Estas estufas cargan unos 7500 kg. de tabaco húmedo por ciclo.

Se ha encarado este proyecto sobre la base de un sistema de calentamiento de aire, similar al experimentado en el prototipo, basando la elección en el costo sensiblemente menor del colector de aire respecto al de agua, a no tener problemas de corrosión y una vida útil predecible mayor, y a no necesitar de intercambiador agua-aire para calentar la cámara de secado. Como contrapartida, debe indicarse que el calentador de aire necesita de mayor potencia eléctrica para lograr el movimiento del fluido, sus sistemas de acumulación suelen ser mas voluminosos y su eficiencia de colección puede ser un poco menor. El diseño a realizar debe contemplar y minimizar estos problemas.

Se mantendrán las líneas generales de diseño del prototipo, introduciéndose como modificación mayor la adopción de un colector con recirculación de aire, lo que permitirá obtener temperaturas en el orden de los 65-70°C satisfaciendo las necesidades de todo el ciclo de secado. La recirculación también permitirá una utilización mas racional del calor acumulado al tener como temperatura de base la de recirculación y no la ambiente. Se seguirá usando un colector de matriz porosa debido a su bajo costo, fácil recambio del material absorbedor de la radiación solar y caídas de presión bajas. Las matrices se colocarán en ductos aislados de 20 mts. de largo y 1.20 mts. de ancho, los que se conectarán en paralelo sobre los dos ductos, el de ida y el de retorno de aire, según se esquematiza en la Fig. 7.

Las dimensiones generales están establecidas por el terreno disponible en las cercanías del secador a utilizar, instalado en la estación experimental del INTA en Cerrillo, Salta. El ancho de cada ducto queda establecido por el de los materiales disponibles para su construcción. Estos se eligen en función de su duración, precio y facilidad de construcción en serie. Se han seleccionado dos tipos que están en ensayo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el prototipo se necesitará una superficie comprendida entre los 300 y 400 m² para alcanzar una sustitución del 85% de la energía convencional en un solo secadero. La carga térmica despareja de un solo horno obliga a instalar una superficie mayor de la necesaria para una carga media a lo largo de los 5 días que dura el proceso. Si se trabajan tres secaderos debidamente combinados, la superficie necesaria solo crece a 700 m².

De cualquier manera, la instalación inicial será para un solo secadero. Las cifras dadas son estimativas, necesitándose una simulación numérica por computadora para afinar los resultados. La decisión final sobre el grado de sustitución dependerá del estudio económico, planeándose un grado de sustitución alto en este prototipo, con el fin de recoger información que permita realizar la mejor elección.

La circulación de aire en el colector será de alrededor de 400 m³/min, es-

timándose necesario un ventilador de 4 HP.

El acumulador, con una construcción tipo silo, tendrá una capacidad de 120 ton. de piedra.

La interconexión entre los distintos elementos se muestra en la Fig. 8, mientras que en la Fig. 9 se aprecia una vista de conjunto del sistema.

Agradecimientos

Se agradece la ayuda prestada por la Estación del INTA en Cerrillos, Salta, quien ha obtenido el material para los ensayos y prestado su asesoramiento, y en especial al Ing. Arias de dicha Institución, quien ha prestado una continua colaboración, en los distintos aspectos de obtención del tabaco, carga, transporte y control de calidad del material producido.

Este trabajo se ha realizado con la financiación parcial de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación.

Bibliografía

- 1) Saravia, L, Fabris A., Guerrero, L. y Alanis E., - Secado de tabaco con Energía Solar. Actas de la 3° Reunión Trabajo de la ASADES, Octubre 1977, Mendoza.
- 2) De Paul, Irene - Frigerio Eric y Saravia, Luis - Simulación numérica de un secadero solar, a ser presentado en la 4ta. Reunión de trabajo de ASADES, Agosto 1978, La Plata.

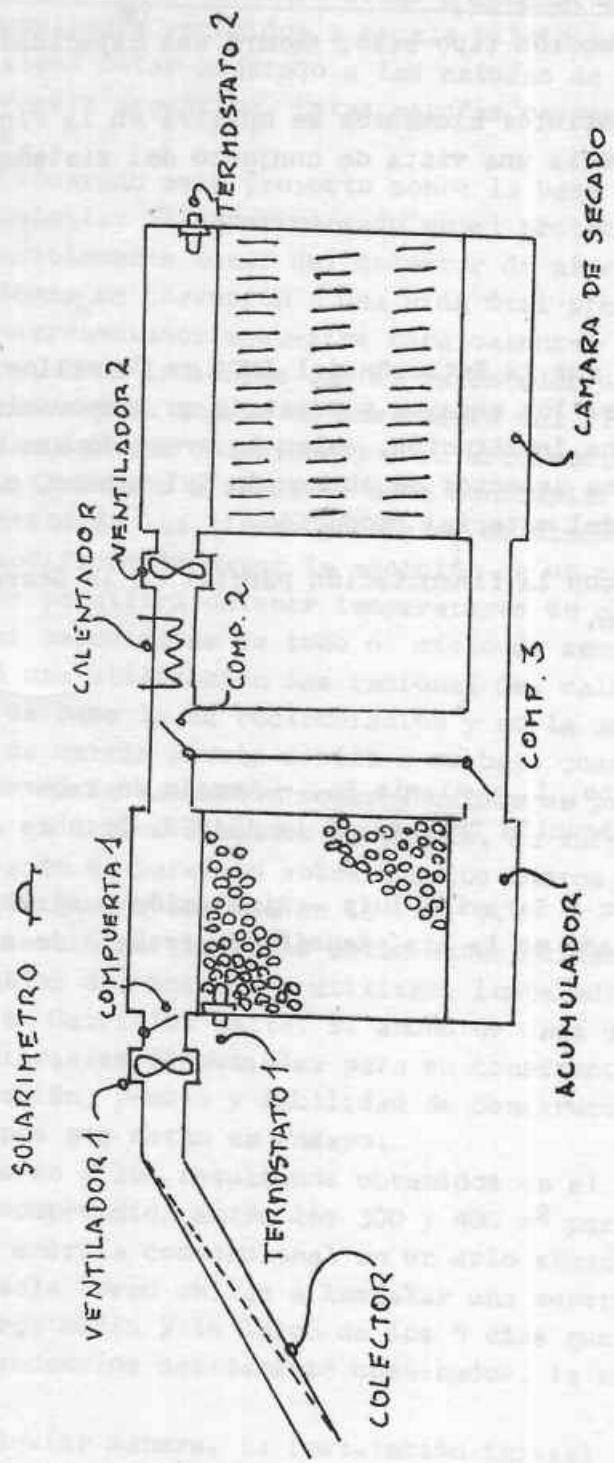


FIG.1 - Esquema del prototipo de secadero solar de tabaco.

	FLUJOS	RADIACION SOLAR SUFICIENTE	TEMPERAT. ACUMULADOR SUFICIENTE	TEMPERAT. CAMARA SUFICIENTE
a		SI	-	SI
b		SI	-	NO
c		NO	-	SI
d		NO	SI	NO
e		NO	NO	NO

FIG. 2 Alternativas de funcionamiento

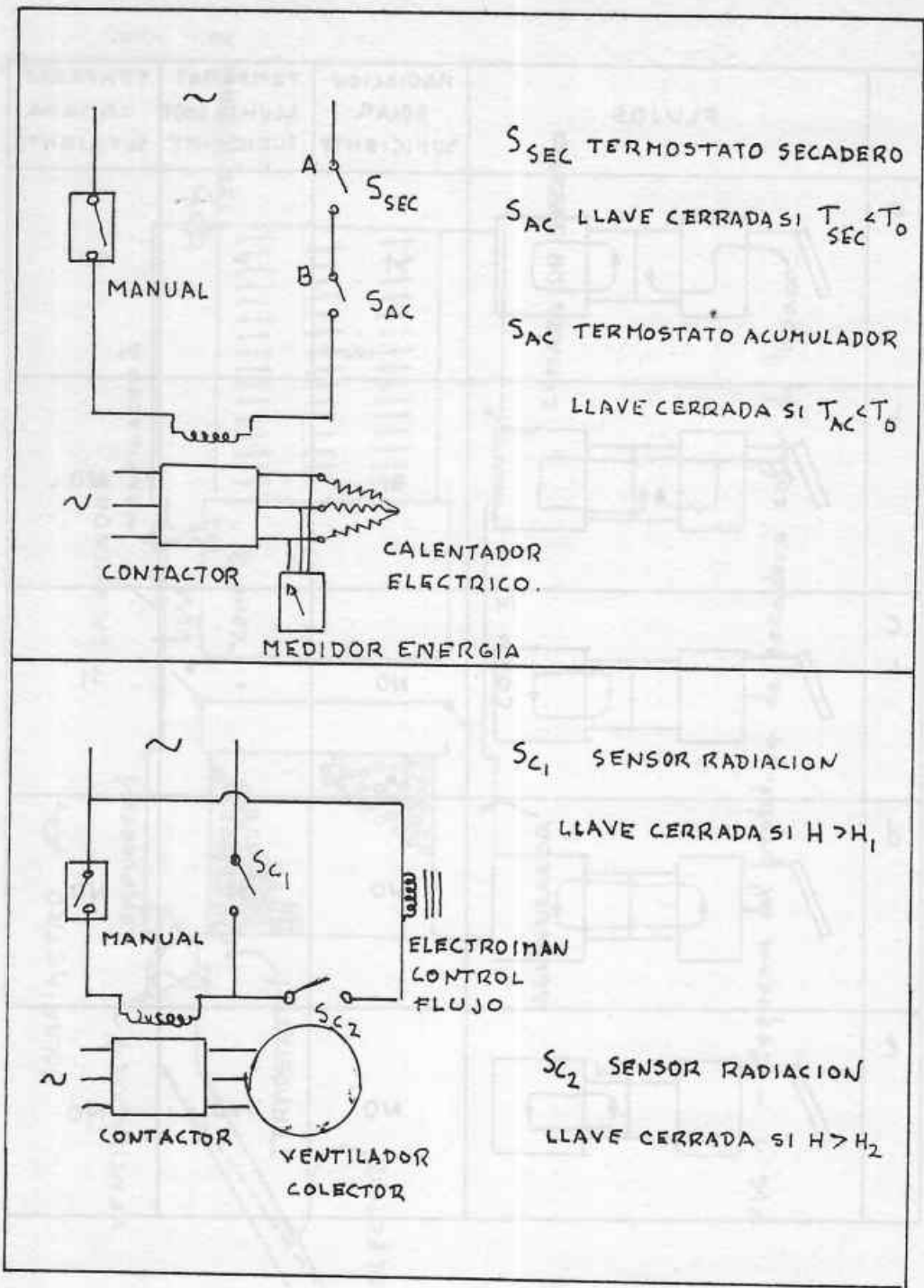


FIG. 3.- Controles calentador y flujo colector solar.

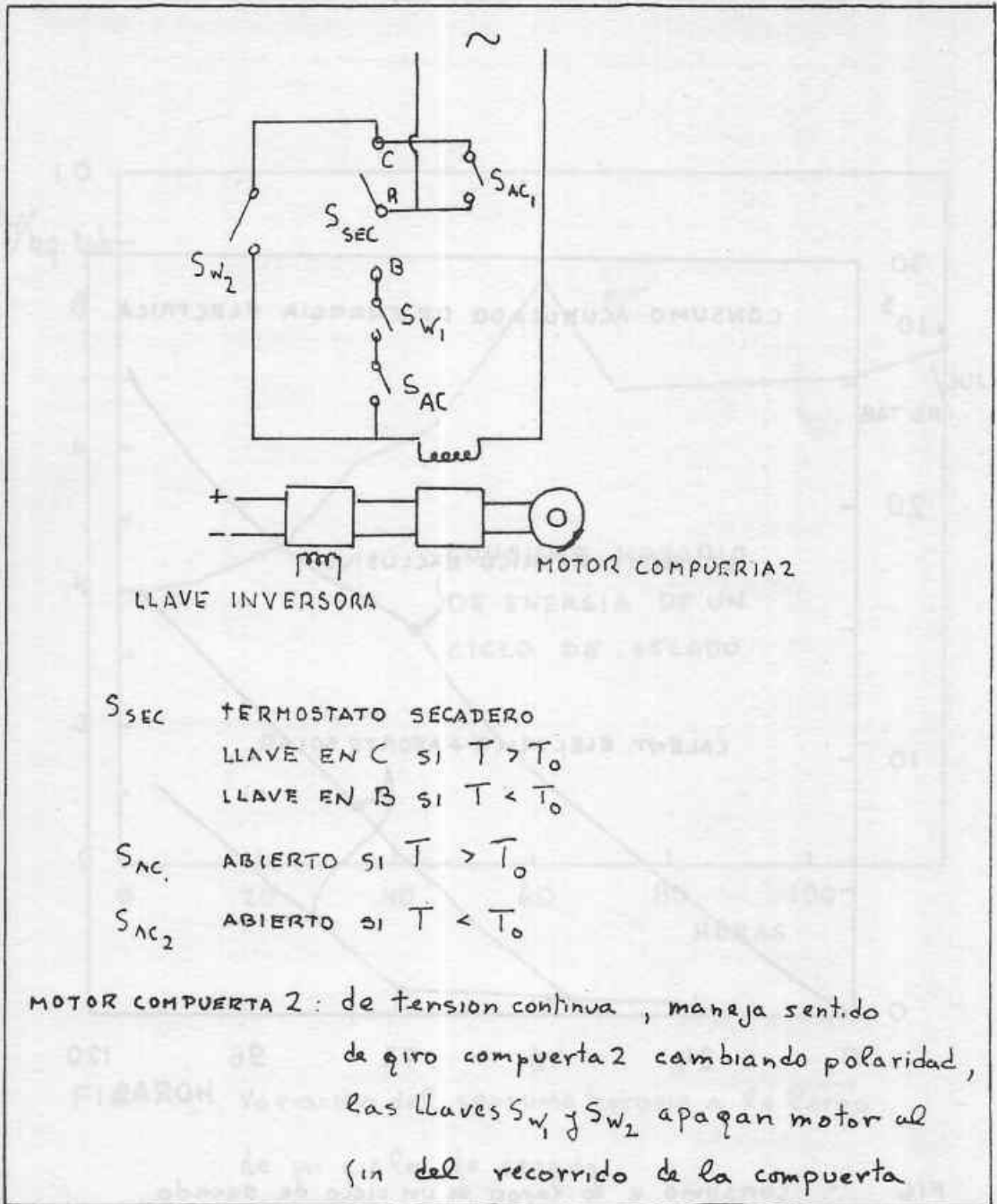


FIG. 3 - Control de la compuerta 2.

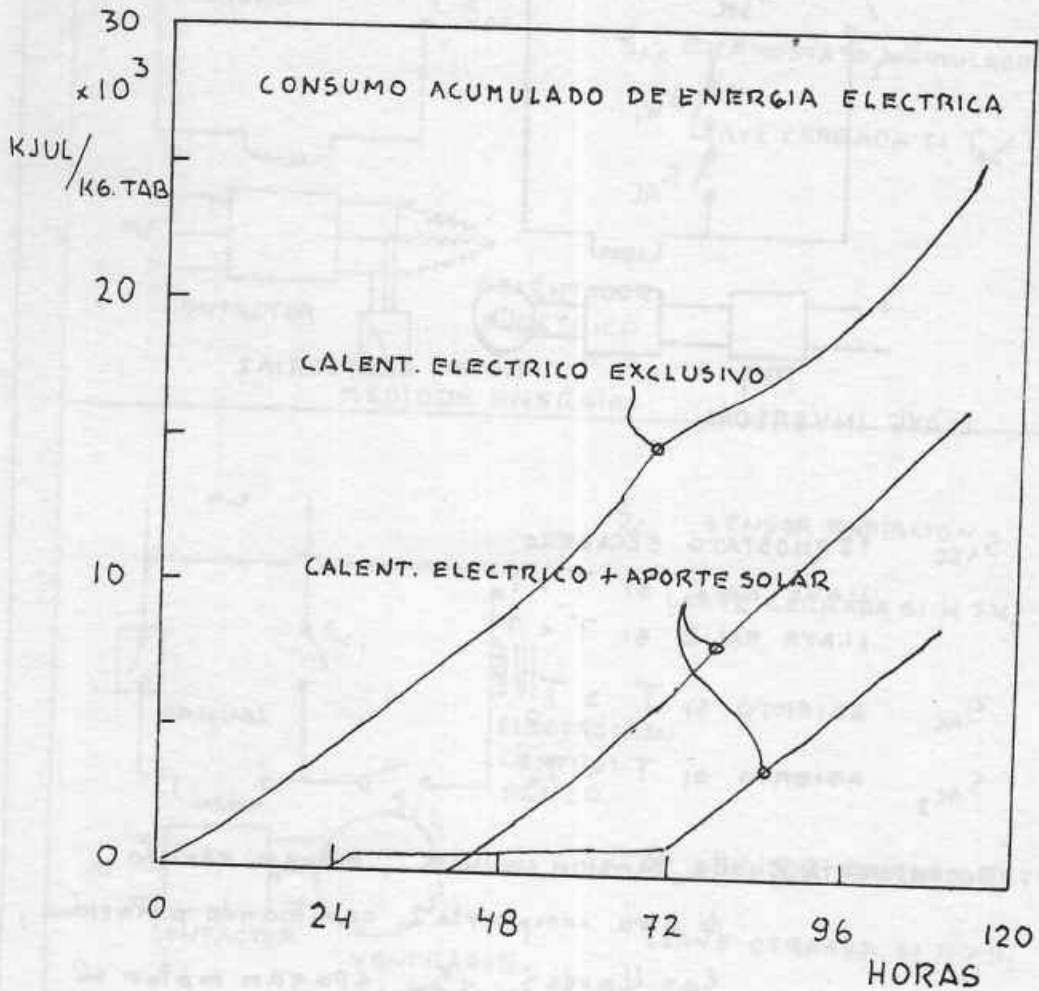


FIG .- Consumo a lo largo de un ciclo de secado.

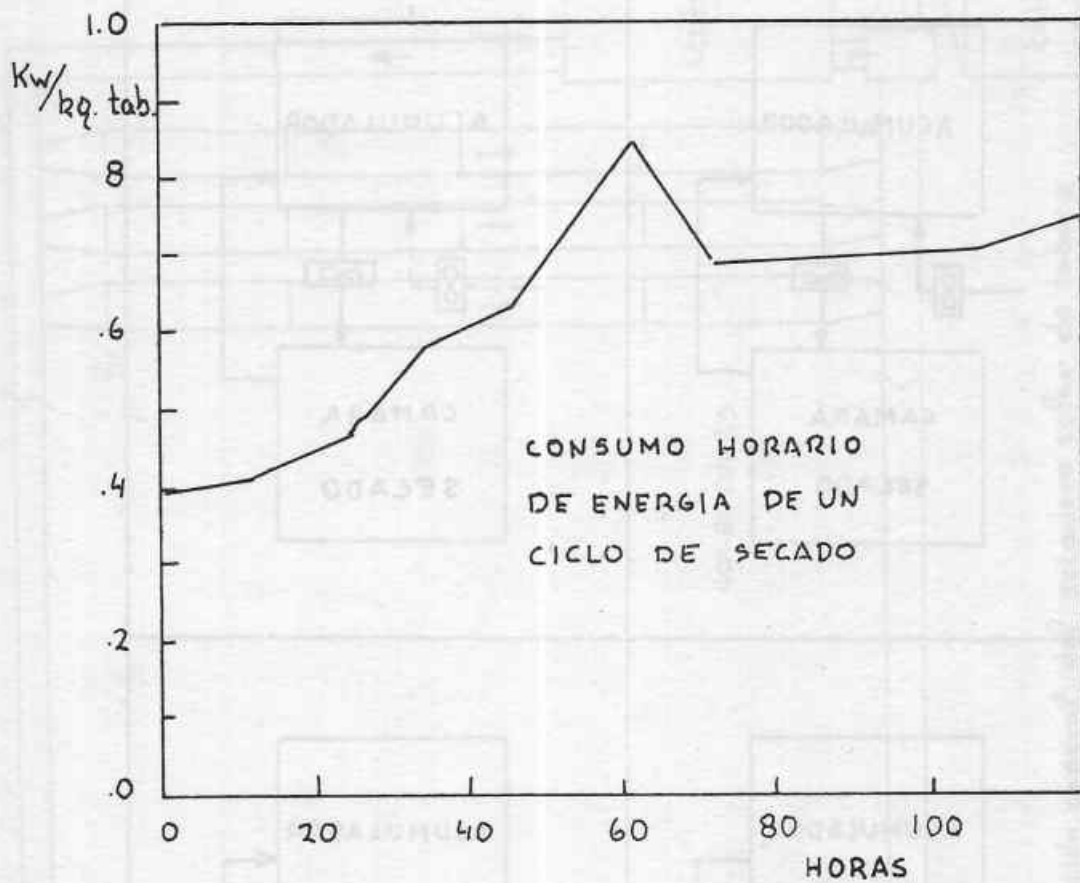


FIG. - Variacion del consumo horario a lo largo de un ciclo de secado.

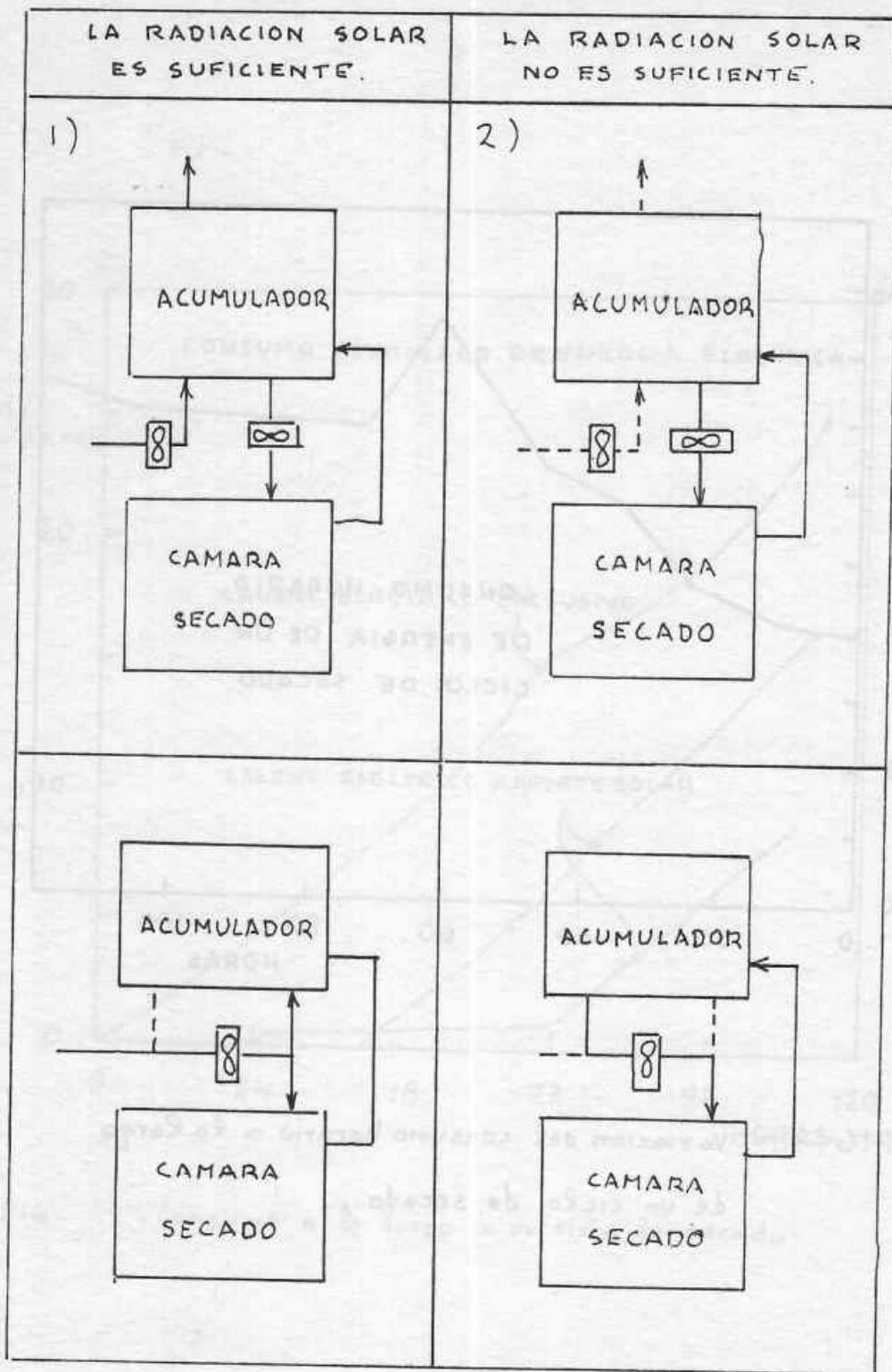


FIG. - Muestra dos alternativas de conexión entre las partes del sistema.

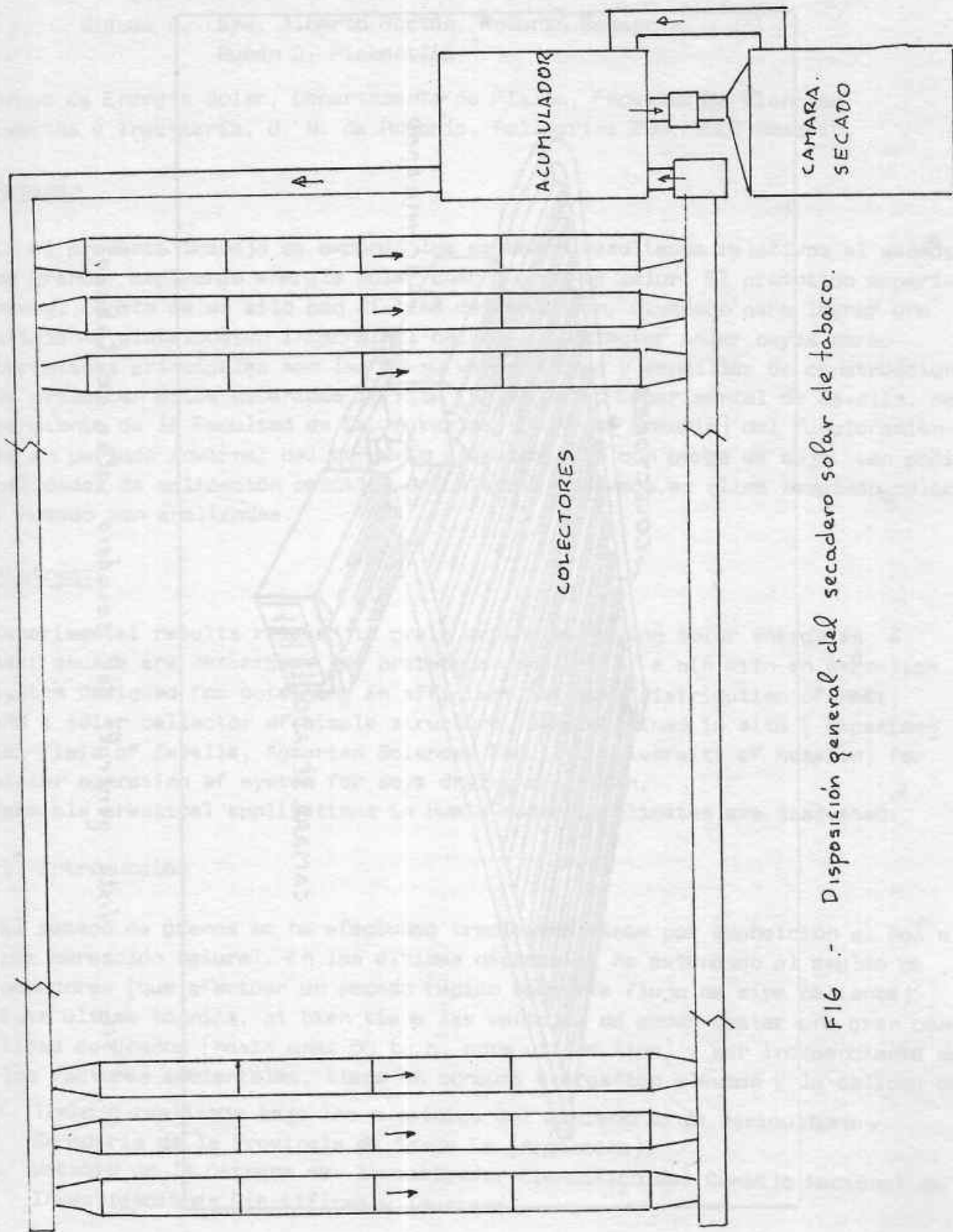


FIG .- Disposición general del secadero solar de tabaco.

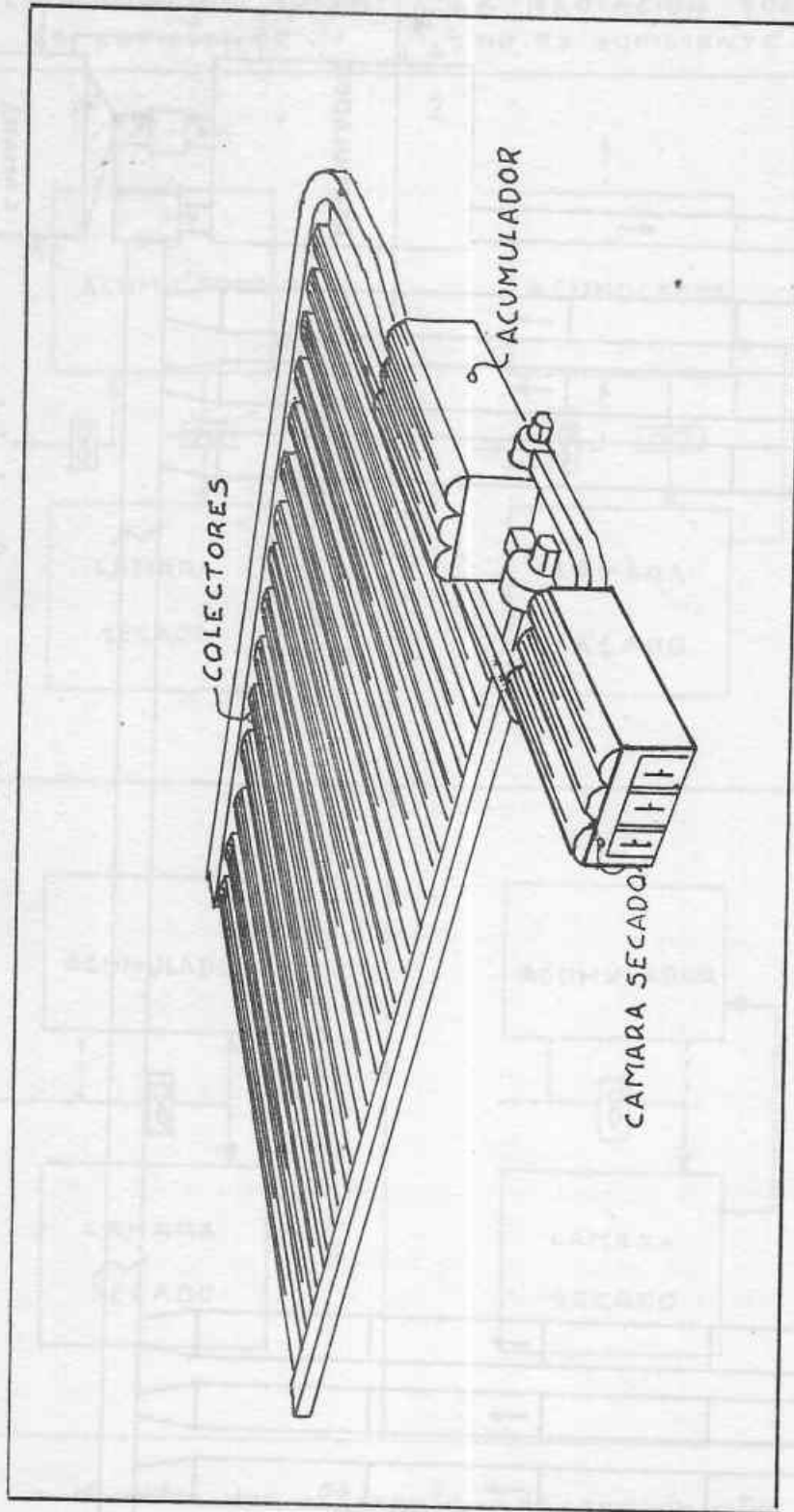


FIG. :- Vista general del secadero solar de tabaco.-