

DISEÑO DE UN SECADOR SOLAR DE BORRA DE CAFE

Ernesto S. Crivelli y Wilson R. Weinand
Grupo de Energía Solar, Dto. de Física

Universidade Estadual de Maringá

Resumen

El uso de energía solar unido a sistemas de secado de alto rendimiento termodinámico puede ser en muchos casos una solución de gran rentabilidad. Este trabajo muestra los resultados obtenidos en el diseño de un equipo solar de secado para tratar 20 toneladas/día de borra de café con una humedad media que debe ser llevada desde más del 60% a menos del 15%. El sistema elegido para secar fue el de lecho fluidizado con características determinadas a través de un prototipo.

Para un uso previsto de 180 días/año la inversión inicial es equivalente al costo de combustible que un sistema convencional gastaría en menos de cinco años.

Introducción

La Compañía Iguazú de Café Soluble de Cornelio Procopio (P.R.) posee una planta de tratamiento de borra de café para su transformación en abono; el producto final tiene una humedad variable entre el 60% y el 70%. La producción diaria de este material es de 20 toneladas y, por razones de comercialización, durante 6 meses por año, el producto debe ser vendido con una humedad inferior al 15%.

Debido al bajo valor del material (U\$S 0,04) el costo de secado tiene un peso considerable en el precio final del producto, obligando a un análisis de los sistemas y materiales a elegir.

La Radiación Solar Global media mensual disponible (1) varía entre un máximo de 5.200 Kcal/m² día en enero y un mínimo de 2.800 Kcal/m² día en junio. Trabajando con colectores orientados al N con 15° de inclinación (el terreno dispone naturalmente de esas características) el valor mínimo puede incrementarse en 15% disminuyendo las diferencias entre los meses extremos.

Como en la mayoría de los equipos solares el peso fundamental en el cálculo final de costos estará dado por el sistema de colectores y, por lo tanto será necesario elegir un sistema de secado de alto rendimiento, aún resultando más caros y/o complicados, para minimizar la superficie de colección.

Una limitación extra que debió considerarse fue la potencia disponible para operar los equipos auxiliares (ventilador, transporte de material, etc.)

Análisis de material

A partir de una muestra aleatoria de 30 Kg integrada con material proveniente de diferentes lugares de la planta de almacenamiento se tomaron cinco fracciones de 250 gr de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Contenido medio de agua 62,6%
- Densidad media del material humedo 540 gr/litro
- Densidad media del material seco 340 gr/litro
- Contracción media durante el secado 40,6%
- Absorción de agua del material seco (15 días) 2%

La tabla I muestra los resultados obtenidos del análisis granulométrico del material seco.

mm	0,15	0,15- 0,30	0,3- 0,6	0,6- 1,2	1,2- 2,4	2,4- 4,8	4,8
% en peso	0,5	7,5	36	29	18	6	3
% en n°	23,9	46,6	26,6	2,7	0,2	0,01	0,00

Tabla I

A partir de esa distribución granulométrica se calculó el diámetro medio equivalente como:

$$d = f \frac{\sum D^3}{\sum D^2}$$

donde D es la dimensión de las partículas según la Tabla I y f es un factor de forma tomado como 1 cuando las partículas son esféricas. Suponiendo $f = 0,7$ resulta

$$d = 0,42 \text{ mm}$$

Debido a la contracción de volumen establecida, el diámetro medio equivalente para las partículas del material humedo puede estimarse en

$$d^1 = 0,5 \text{ mm}$$

Estas características granulométricas serán de gran importancia en la elección del sistema de secado.

Elección del sistema de secado

A fin de determinar el sistema más adecuado fueron calculados y/o estimados los siguientes valores:

- Cantidad de agua a ser evaporada/día	11.200 Kgr
- Calor de evaporación aprovechable	6×10^6 Kcal
- Temperatura máxima del aire	120°C
- N° de horas/día de uso del secador	12 horas
- Calor máximo aprovechable en 1 hora	10^6 Kcal
- Temperatura de entrada del aire	20°C
- Flujo mínimo de aire	$3,6 \times 10^4$ m ³ /hora

A partir del flujo mínimo estimado (F) se establece la siguiente relación entre el mismo, la sección de circulación (S) y la velocidad del aire (v)

$$F = S.v$$

para velocidades moderadas o altas la sección será pequeña pero gran parte del material será arrastrado por el flujo, para velocidades pequeñas gran parte del material no será arrastrado pero la sección será considerable.

Este primer resultado determinó la eliminación, como posibilidad, de los equipos convencionales (comerciales) de secado existentes en Brasil, ya que con las velocidades normales de trabajo arrastraría más del 50% del material para ser recuperado en un ciclón. Las modificaciones que serían necesarias para adecuar los equipos aumentarían considerablemente el costo final.

La bibliografía consultada (2), (3) y (5) determinó una primera selección, quedando como los métodos más razonables los de levitación y fluidización, finalmente fue elegido este último como el más adecuado.

Las razones fundamentales para la elección fueron las siguientes:

- Alto rendimiento termodinámico.
- Bajo costo operativo (instalación, mantenimiento, etc.)
- Fácil construcción y operación de un prototipo de laboratorio.

Diseño de un prototipo y resultados obtenidos.

La primera consideración a tener en cuenta para la construcción del prototipo de ensayo en laboratorio fue el dimensionamiento del diámetro mínimo necesario para que los problemas de borde no enmascararan el comportamiento general.

El 90% de la masa total corresponde a partículas con diámetro inferiores a 2 mm, por tanto, pareció razonable construir un prototipo con un diámetro del lecho de 20 cm, es decir, dos ordenes de magnitud mayor que el valor considerado.

La Figura 1 muestra las características generales del prototipo. Los módulos de tubos encima del soporte poroso eran de chapa y de diferentes longitudes, uno de ellos, de 30 cm de altura, era

de vidrio transparente.

En los puntos A, B y C fueron instalados sensores de presión y temperatura y en D un sensor de temperatura.

El soporte poroso podía ser intercambiado usando varias diferencias de presión (P_{ab}) entre A y B.

Fueron realizadas un buen número de experiencias variando P, temperatura en A y altura de la columna del material de secado.

Los resultados obtenidos pueden resumirse en lo siguiente:

- Cuando $P_{ab} < \frac{1}{2} P_{bc}$ se formaban innúmeras vías de aire, no aparecía fluidización y la eficiencia termodinámica era inferior al 60%, aún con material completamente húmedo.
- Cuando $\frac{1}{2} P_{bc} < P_{ab} < P_{bc}$ el número de vías de aire se reducía considerablemente y las mismas, en general, no se mantenían en un lugar fijo. La eficiencia termodinámica aumentaba paulatinamente al aumentar P_{ab}/P_{bc} .
- Cuando $P_{bc} < P_{ab}$ raramente se formaban vías de aire, y si aparecían, eran pequeñas e inestables. La eficiencia termodinámica era superior al 90% aún para material con humedades inferiores al 10%.
- Columnas de material con alturas entre 30 cm y 60 cm daban una mejor fluidización que para alturas inferiores o superiores a estos valores.
- La velocidad del aire mínima para comenzar la fluidización fue de 0,20m/seg, no se observan diferencias notables aumentando la misma hasta 0,65m/seg (límite alcanzado con el ventilador disponible).
- Desniveles superiores al 10° en el soporte poroso determinaban la aparición de vías de aire.

Diseño del sistema operativo de secado.

En función de los datos obtenidos con el prototipo se dimensionó un sistema operativo de secado el lecho fluidizado con una sección útil de 16,7m² y un soporte poroso capaz de producir una caída de presión de 25 cm de C.A.. En estas condiciones se podrá trabajar con una altura de material en el lecho de hasta 60 cm.

La entrada y salida de material en el lecho será continua con relación automática del flujo en función de la temperatura del aire en la entrada.

El material arrastrado por la corriente de aire será recuperado mediante un ciclón después del cual el aire pasará por un intercambiador térmico entregando energía al aire frío, antes de que éste pase por el sistema de calentamiento (colectores solares).

El aire será impulsado a través del sistema por un ventilador, provisto de un motor de 120 H.P. capaz de mover hasta 40.000 m³/hora de aire con una caída de presión total en el sistema de 70 cm de C.A.

La Figura 2 muestra el esquema operativo y la Figura 3 la disposición física de los elementos mencionados,

Diseño del sistema de colectores solares.

Las características del sistema ya analizadas determinan algunas peculiaridades del sistema de colección, por ej., debe alcanzar temperaturas superiores a 100°C y por lo tanto la cubierta transparente superior deberá ser de vidrio.

A fin de alcanzar rendimientos razonables se decidió utilizar cubierta de vidrio doble, Los precios de los materiales disponibles en Brasil indicaron la conveniencia de construir los soportes del colector en fibrocemento, los conductores en mampostería y la aislación con lana de vidrio.

Las Figuras 4 y 5 muestran un corte transversal y otro longitudinal de uno de los módulos de colección, la placa colectora es de metal pintada de negro mate en su cara superior. La Figura 6 muestra la disposición de un módulo de colección donde A y B son conductos de mampostería con aislación térmica que traen el aire frío desde el intercambiador (A) y después de pasar por los colectores lo llevan al sistema de secado (B).

El rendimiento medio de los colectores fue estimado en 45% de acuerdo a la bibliografía disponible (5). Esto determina una superficie total de colección de 3.500 m² orientada al N con 15° de inclinación de acuerdo con la variación disponible mencionada y las pérdidas estimadas en el sistema de conducción y secado.

Costo del sistema operativo.

El presupuesto para la construcción del sistema operativo fue calculado sobre la base de cotizaciones de diferentes empresas para la provisión de materiales y/o ejecución de las diferentes partes del sistema, con administración por parte del propio usuario y dirección de obra a cargo del Grupo de Energía Solar de la Universidad Estadual de Maringá con la siguiente discriminación:

COLECTORES.	10 U\$S
Módulos de fibrocemento	24,2
Placas de vidrio	78,6
Aislación	17,8
Chapas de Absorción	10,7
Varios (pegamentos, pinturas, etc.)	14,5
Mano de obra	6,8
TOTAL:	152,6

SILOS Y SISTEMAS DE CONDUCCION.

Hormigón armado	12,6
Ventilador con motor	8,4
Conductos de mampostería	6,3
Aislaciones	3,2
Varios	10,6
TOTAL	46,1

Reserva técnica (5%)	10,0
Dirección de obra (15%)	31,3

TOTAL GENERAL 240,0

Es importante señalar que el sistema de colección representa casi el 77% del costo total (excluyendo reserva técnica y dirección de obra).

Conclusiones.

Desde el punto de vista técnico el sistema no parece presentar dificultades tanto para su construcción como para su mantenimiento.

- Con los costos actuales del petróleo en Brasil y el uso previsto por la empresa (180 días por año) el capital invertido es equivalente al costo de combustible que sería necesario quemar en cinco años si se usaran calefactores convencionales.
- El secado de materiales menos húmedos y/o con otra granulometría que permitan trabajar con temperaturas más bajas aumentará el rendimiento de los colectores mejorando aún más la rentabilidad del sistema.

Nota.

Este trabajo fue realizado por convenio entre la Universidad Estadual de Maringá y la Compañía Iguazú de Café Soluble de Cornelio Procopio (P.R.), Brasil.

Mayores detalles acerca del dimensionamiento de las diferentes partes del sistema, costos y cálculos efectuados pueden ser solicitados a los autores en el Departamento de Física de la Universidad Estadual de Maringá.

Bibliografía citada.

1. E. S. Crivelli. La Radiación Solar en Sudamérica, Nuevos Aspectos para su determinación como fuente de Energía. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Buenos Aires (1979).
2. B R. Keey. Drying Principles and Practice. Pergamon Press, New York (1972).
3. A. Dascalescu. Le Séchage. Dunod. París (1969).
4. J. H. Perry. Chemical Engineer's Handbook. Mc Graw Hill Book Co. New York (1963).
5. P. J. Catania. Solar Drying of Agricultural Products. Actas Asociación Argentina de Energía Solar, 4ta. Reunión de Trabajo, La Plata, (1978).

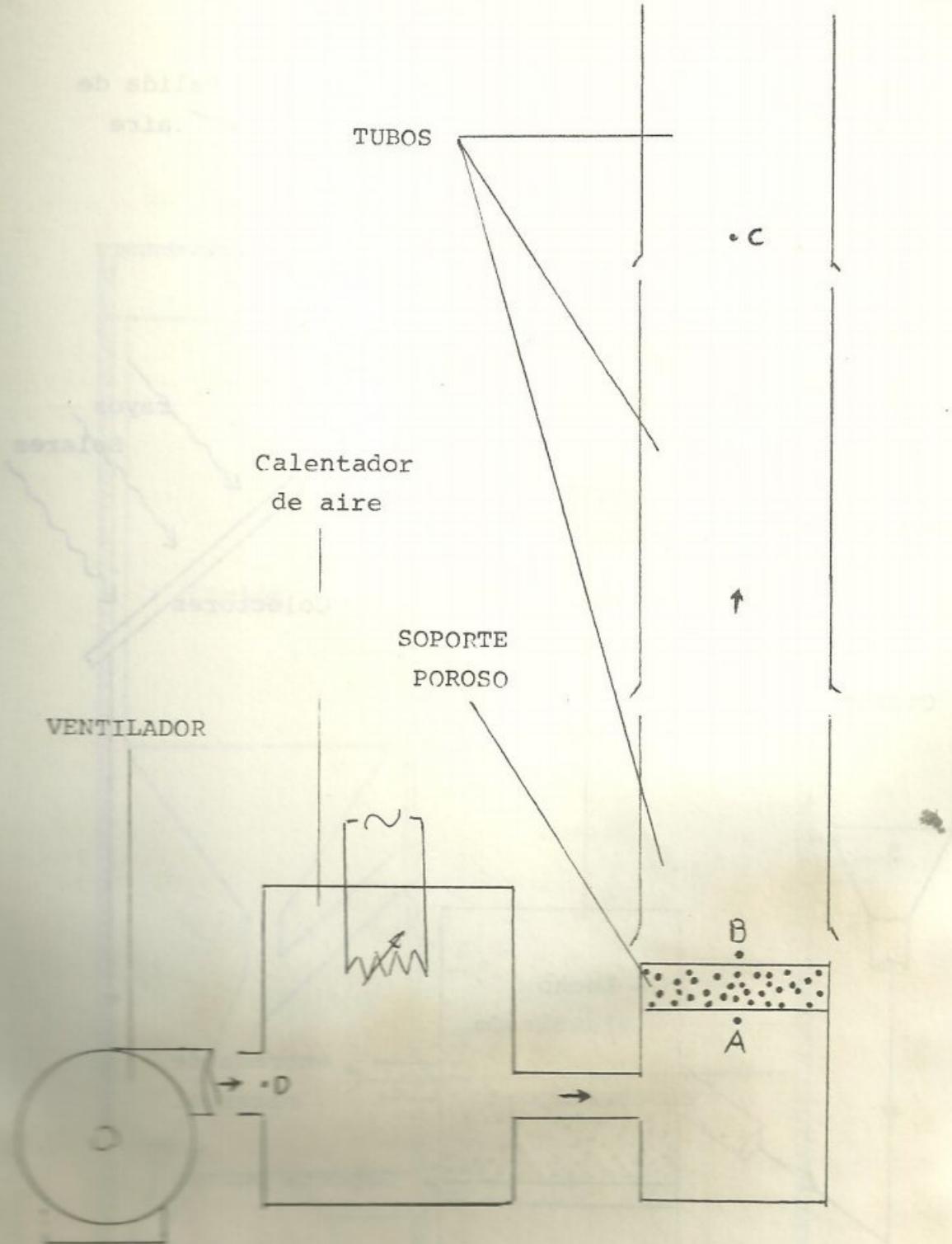


Fig. 1

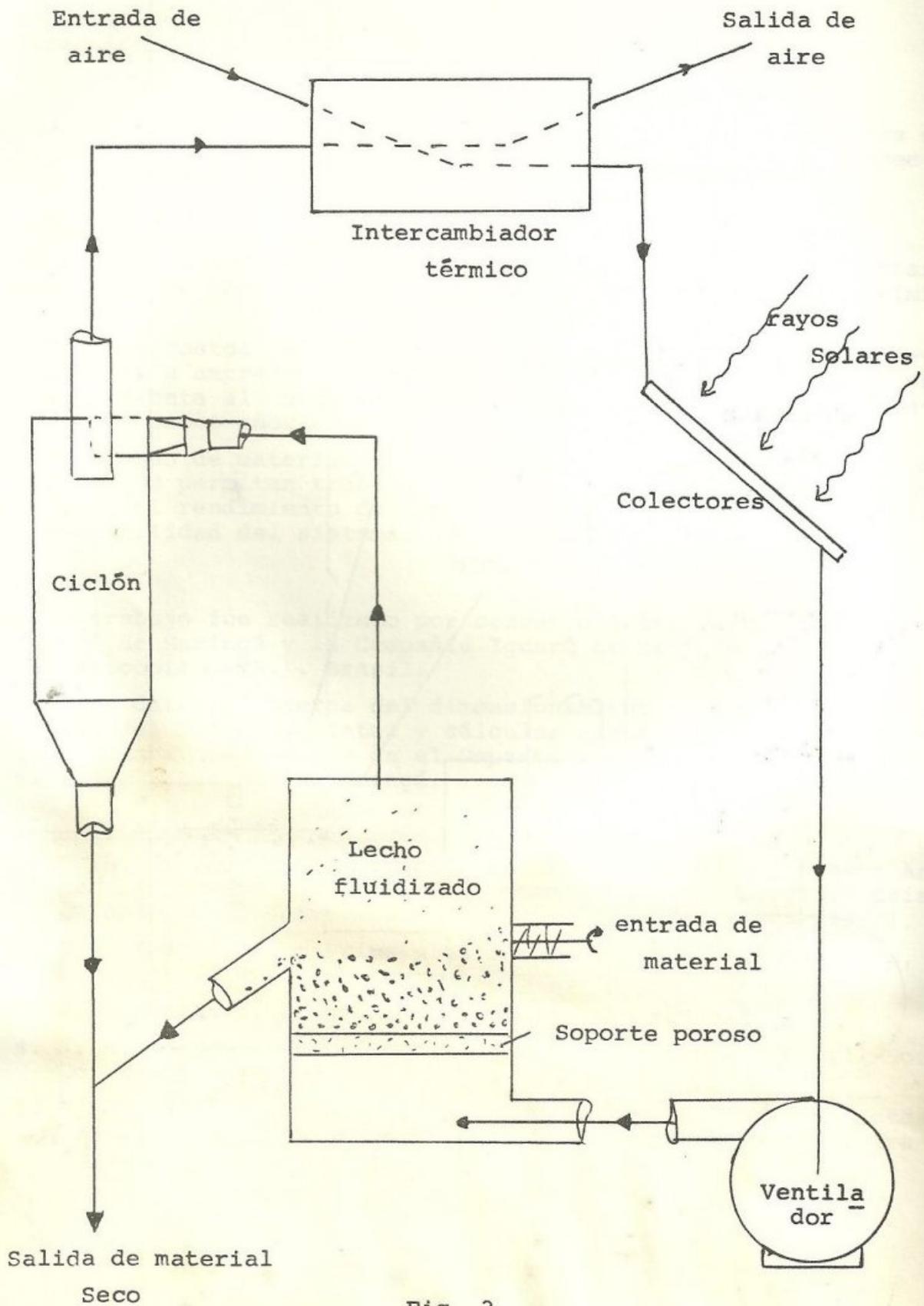


Fig. 2

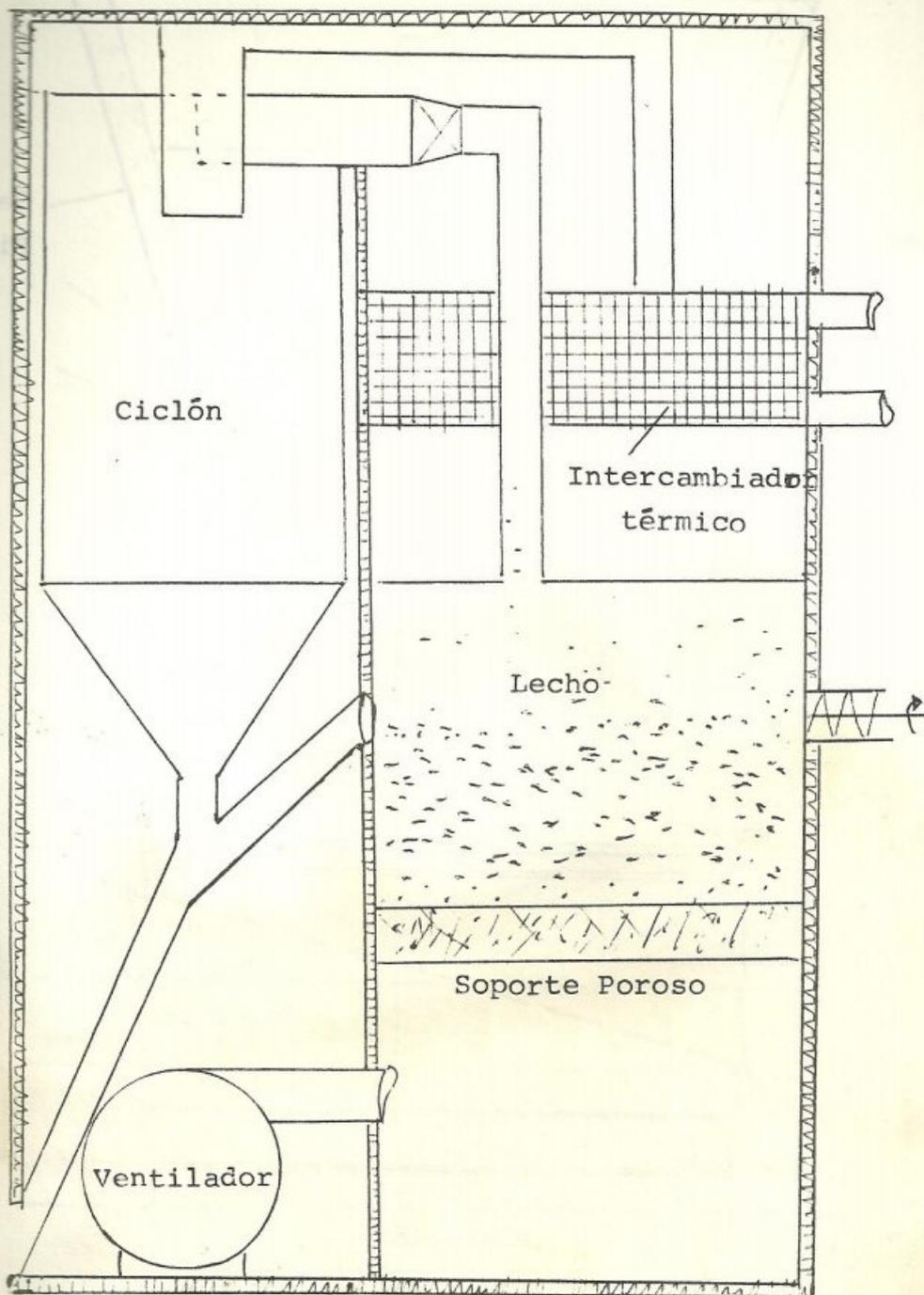


Fig. 3

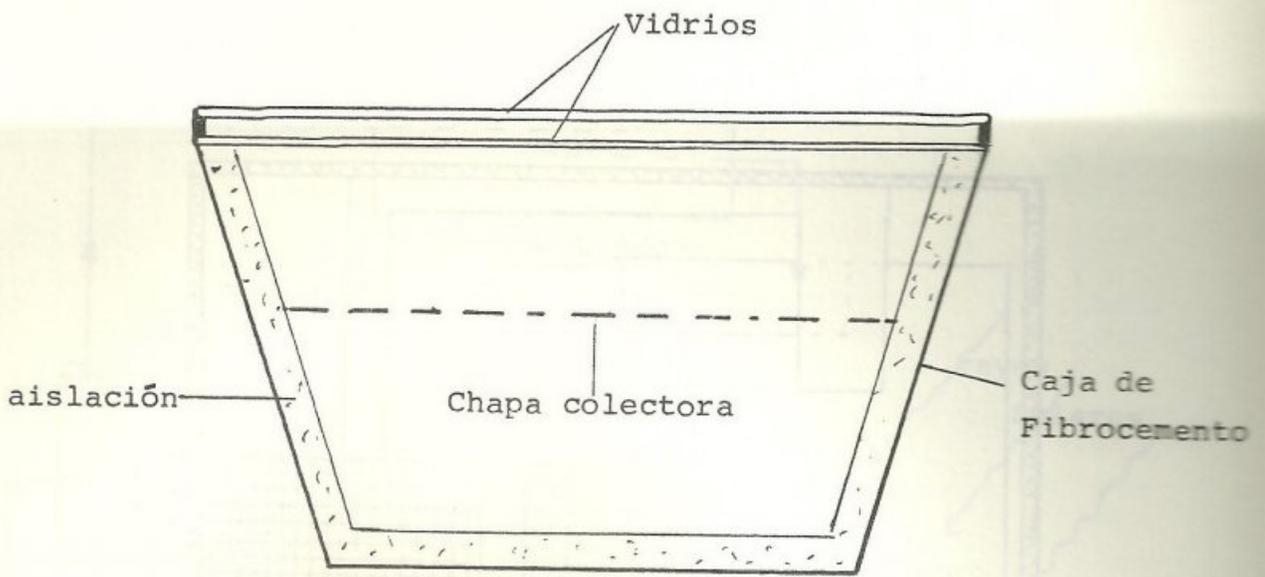


Fig. 4

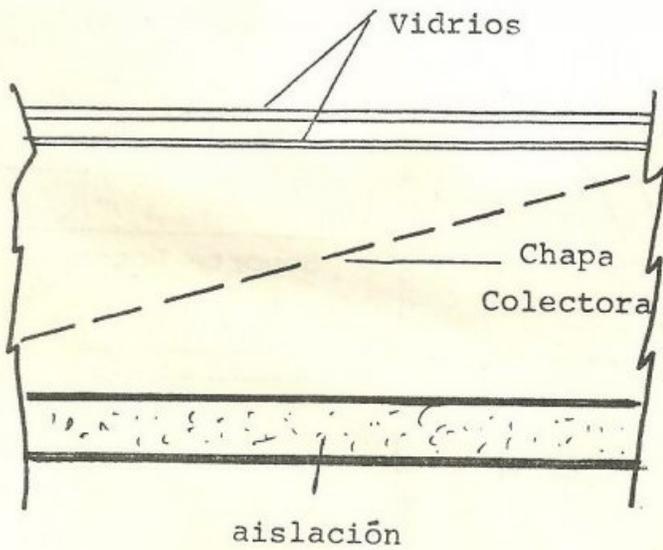


Fig. 5

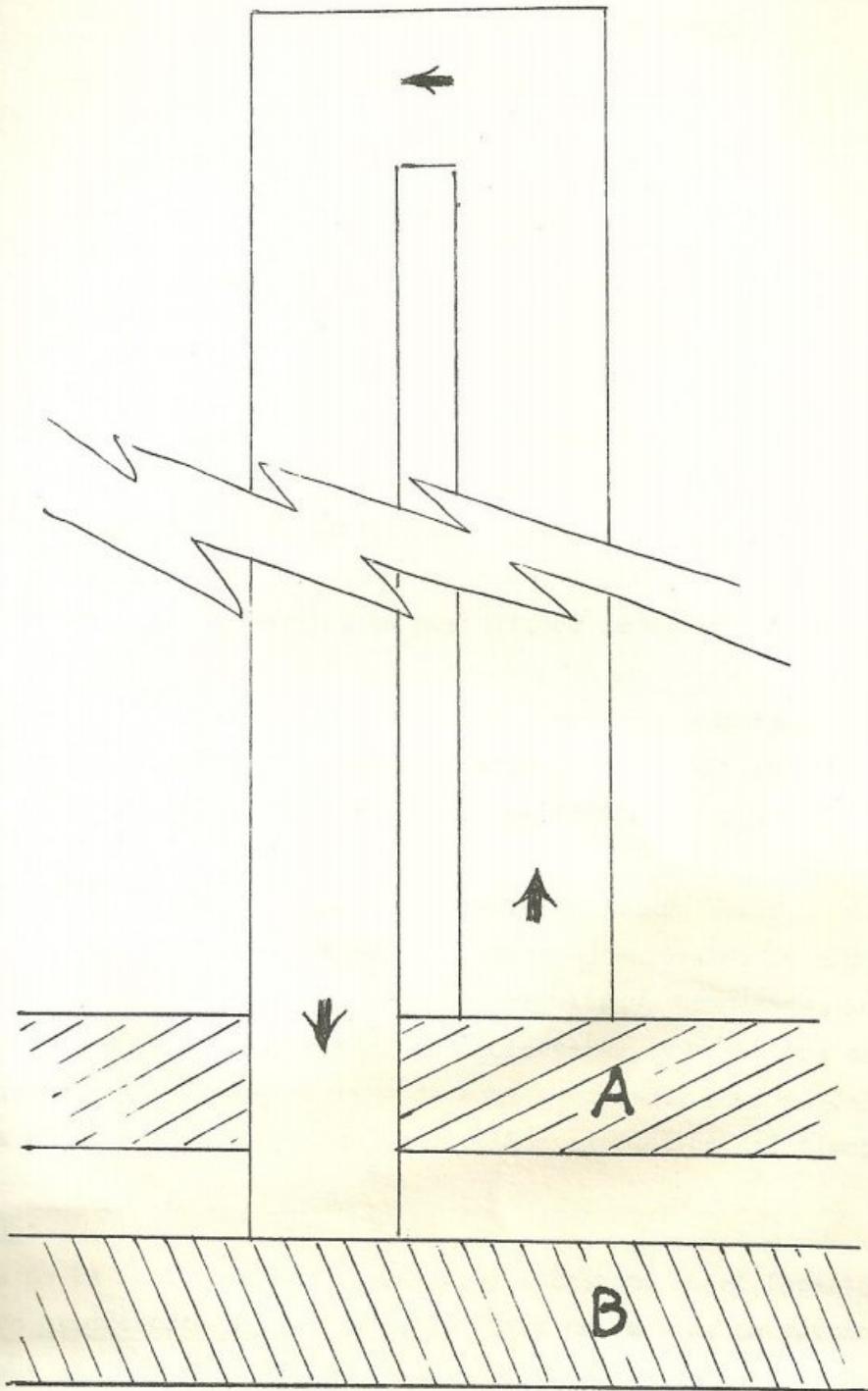


FIG. 6