

# **CAPITULO IV**

## **SECADO**

Es el proceso más antiguo utilizado para conservar económicamente los productos agrícolas, por un tiempo relativamente largo, a condiciones ambientales sin que sufra deterioro el producto.

Básicamente el secado consiste en remover una cierta cantidad del agua contenida en el grano, en el momento de la recolección, hasta dejarla en un nivel en que se garantice un adecuado almacenamiento, evitando el desarrollo de hongos, microorganismos e insectos.

### **4.1 SISTEMAS DE SECADO**

El secado del grano en la planta es el método más usado en los países en desarrollo, por la baja inversión que conlleva.

Sin embargo, presentan un alto porcentaje de pérdidas, ocurridas debido a condiciones meteorológicas variables, acción de pájaros y roedores, ataque de insectos y contaminación entre otros.

La remoción de la humedad se produce por la acción de los rayos solares y las corrientes naturales de aire.

De igual manera, se ha utilizado el secado sobre el terreno, en superficies planas (tierra apisonada, patios de cemento o en madera) albercas y bandejas.

El tiempo de secado, la cantidad y calidad del producto final, dependen de las condiciones climáticas, las cuales varían según la región y la época del año, lo cual hace que las formas de secado anteriormente mencionadas resulten inconvenientes por lo impredecible de los factores que en ellos intervienen.

La utilización de secadores mecánicos que usan altas temperaturas se ha incrementado últimamente, lo cual permite un secado mucho más rápido y un manejo continuo de altos volúmenes de granos.

En la figura 4.1 se muestra un secador tipo alberca, utilizado para secar arroz.

Sin embargo, este tipo de secadores requieren una gran inversión y presentan un alto consumo de energía.

Para el calentamiento del aire de secado, estas secadoras utilizan como fuente de energía dos derivados del petróleo (como A.C.P.M.), la electricidad, el coke, etc. principalmente; este sistema puede calentar el aire de secado a la temperatura deseada, la cual puede estar entre los 50° C y los 120°C.

Desde el punto de vista energético, los procesos de secado solar tradicional (dejar secar el producto en la planta, o colocarlo en patios) y el secado a altas temperaturas son los más opuestos.

El secado solar utiliza como fuente de energía el sol y la capacidad calorífica del aire (entalpía) mientras las secadoras utilizan altas temperaturas y su fuente de energía es la que se mencionó anteriormente (electricidad, A.C.P.M., etc).

En la figura 4.2 se muestra un secador mecánico.

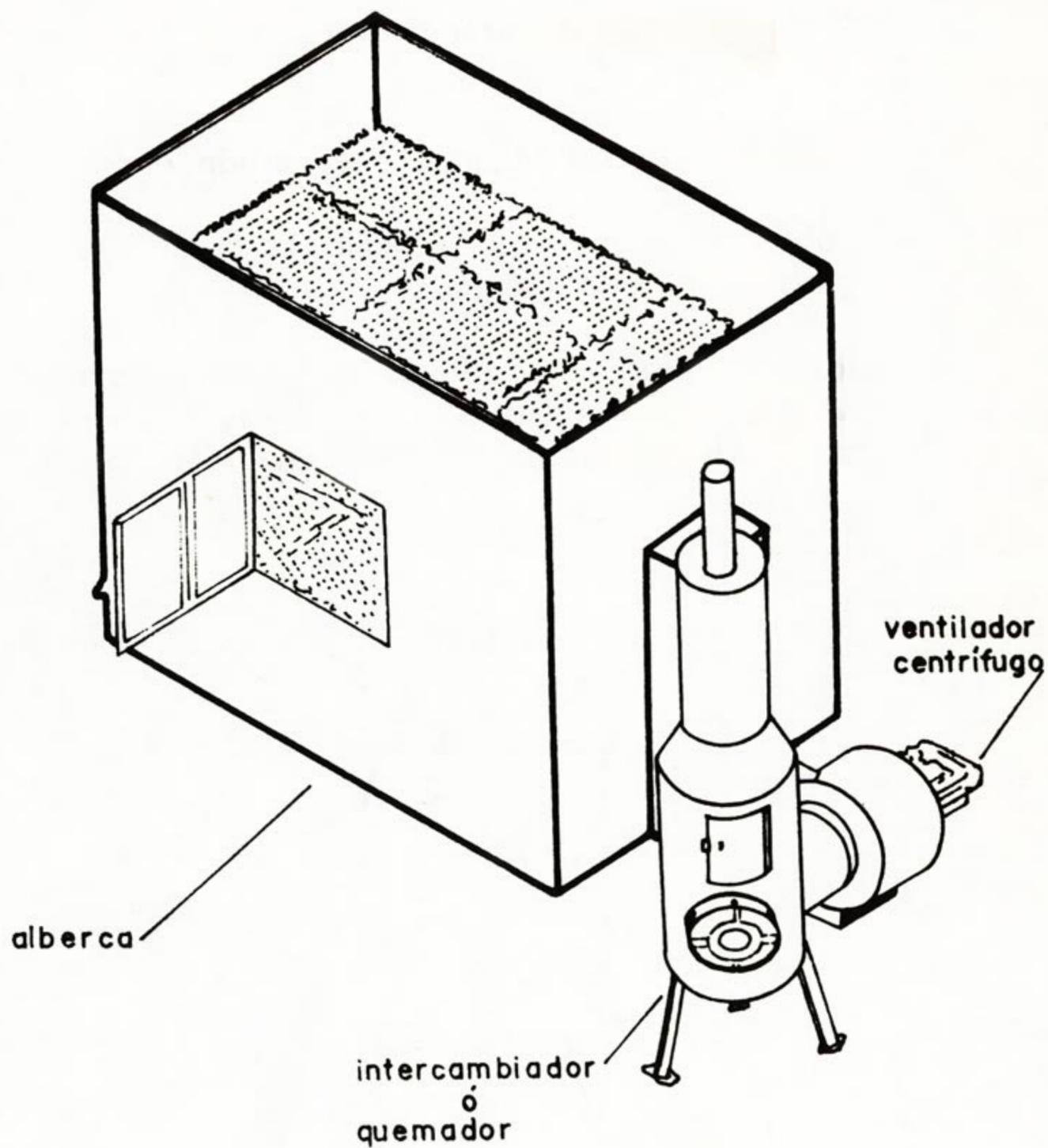


FIG. 4.1 ESQUEMA DE UNA ALBERCA UTILIZADA PARA SECAR ARROZ.

Posee un quemador tipo cuya fuente de energía es A.C.P.M. ó coke.

## 4.2 FUENTES DE CALOR

### 4.2.1 QUEMADORES

Es el equipo que contiene la fuente de calor utilizada para aumentar la temperatura del aire, para que el aire succionado por el ventilador pase por allí y luego llegue al secador, en donde va a arrastrar o evaporar el agua que contiene los granos.

Estos quemadores trabajan con A.C.P.M., gas, coke, carbón, etc.

En la figura 4.3 se observa un quemador sencillo. En la tabla 4.1. se muestra el valor calórico de algunas fuentes de energía.

Es importante que los quemadores utilizados en el secado de granos cuenten con controles para garantizar uniformidad o mantener la temperatura constante del aire de secado y además lograr una gran eficiencia en la relación aire-combustible.

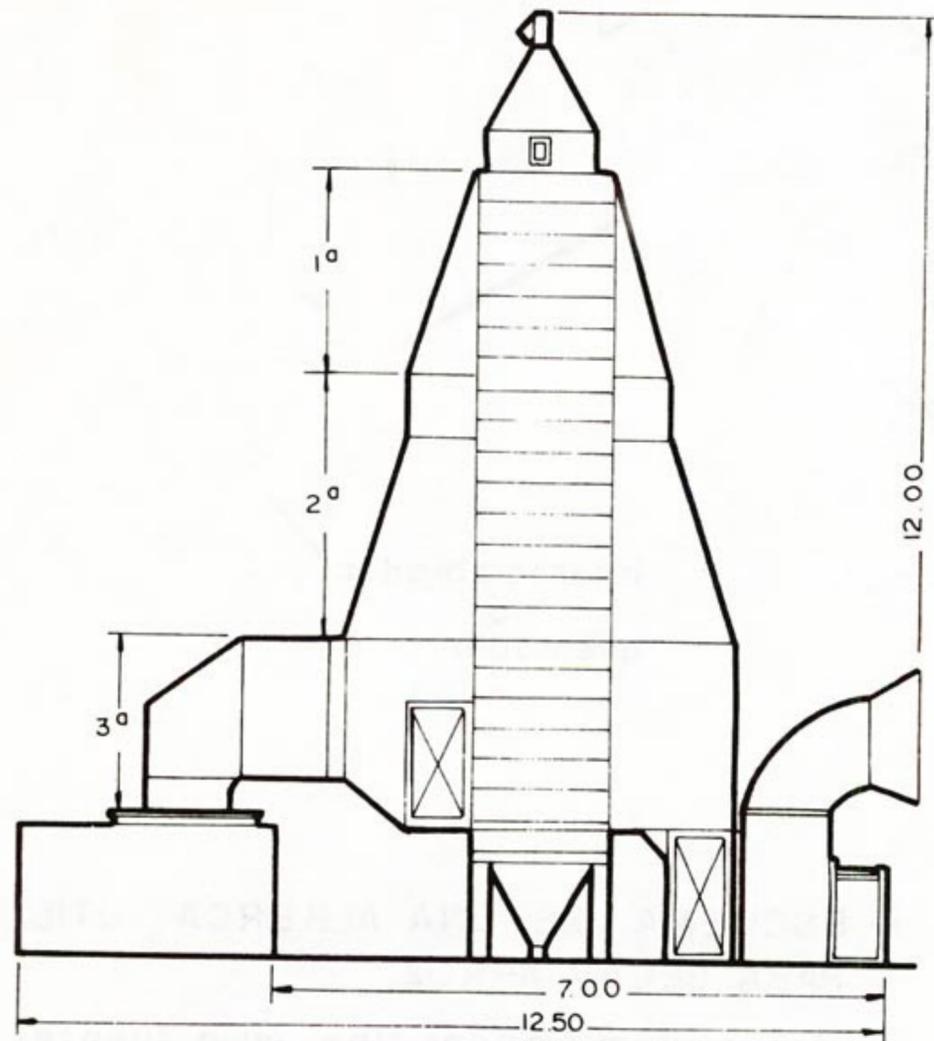


FIG. 4.2 ESQUEMA DE UNA SECADORA DE TORRE, QUE TRABAJA CON UN QUEMADOR CUYA FUENTE DE ENERGIA ES ACP.M.

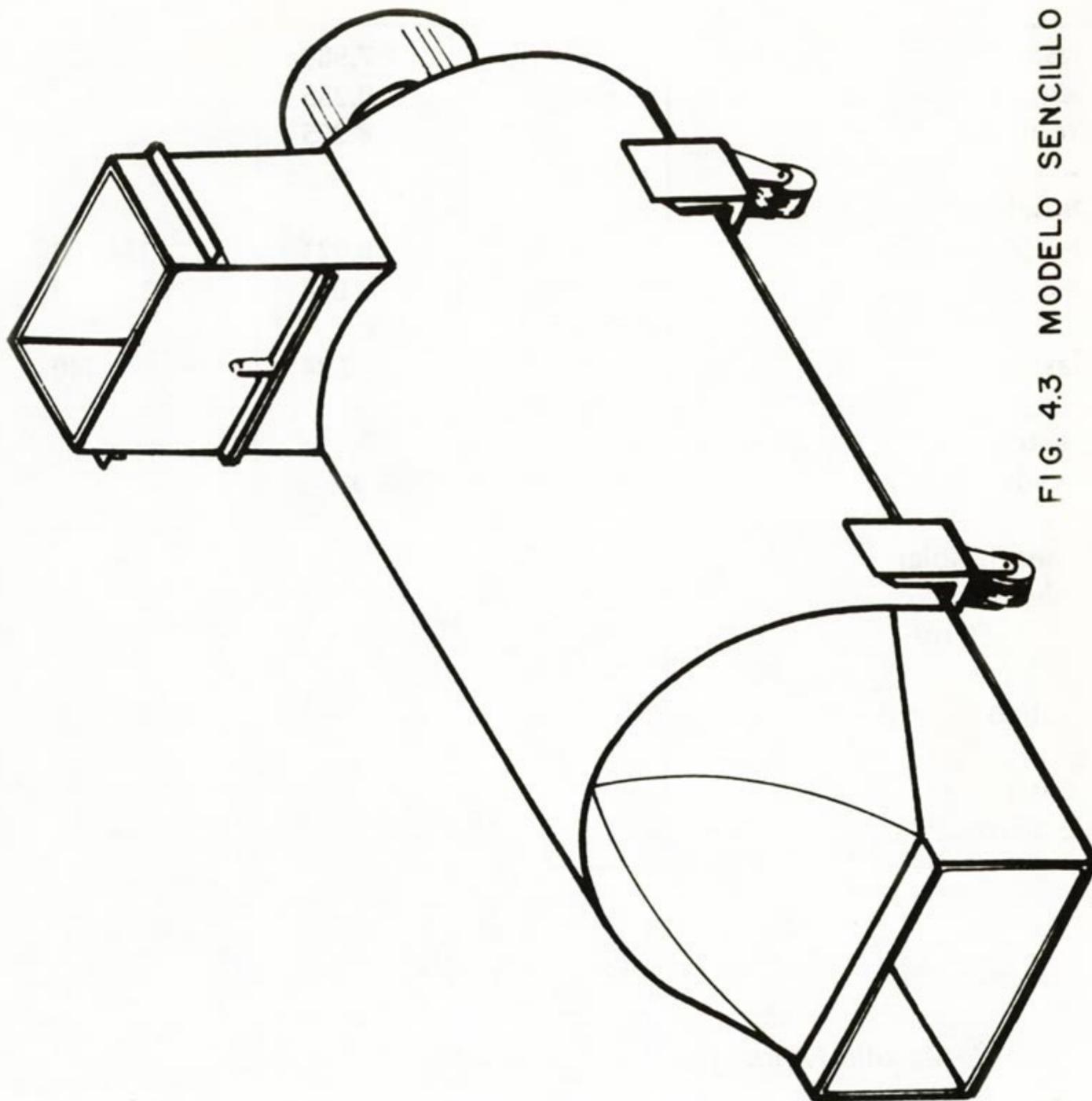


FIG. 4.3 MODELO SENCILLO DE QUEMADOR.

**TABLA 4.1 PODER CALORICO DE ALGUNAS FUENTES DE ENERGIA COMUNMENTE USADAS.**

COMBUSTIBLE	PODER CALORICO -	
	KCAL/1TR.	BTU/GALON
Gasolina blanca	7.989	120.000
Regular	8.255	124.000
Premium	8.255	124.000
Diesel		
D-1 (A.C.P.M.)	8.921	134.000
D-2	9.054	136.000
Gas	9.34	140
Electricidad		
1 Kwh	861 Kcal	3.415 BTU
*Energía solar		
Colector		
Piedra 50 m <sup>3</sup>	5.0	75.7
Colector		
Plástico 640 m <sup>3</sup>	8.522	128.000
*Cascarilla		
de arroz	3.300 Kcal/kg	13.095 Btu/kg

\*Tomado de Castillo Niño:

“Acondicionamiento de granos, secamiento, almacenamiento y costos”, 1980

El uso de quemadores requiere especial cuidado, porque al menor descuido el grano se puede contaminar por efectos de mala combustión.

### 4.3 ENERGIA SOLAR

Ultimamente se ha venido haciendo énfasis en la utilización de la energía solar como fuente de energía para secar granos, debido al alto costo de las fuentes derivadas del petróleo.

En los países tropicales, como el nuestro, es de suma importancia utilizar este recurso pues resulta económico y funcional en el secado de pequeñas cantidades de granos a bajas temperaturas.

Existen diversos tipos de secadores con colector solar, muchos de los cuales dependen de la inventiva de agricultor o del técnico agrícola.

En la figura 4.4 se muestra un esquema de un secador con un colector solar el cual es hecho en madera con cubierta plástica.

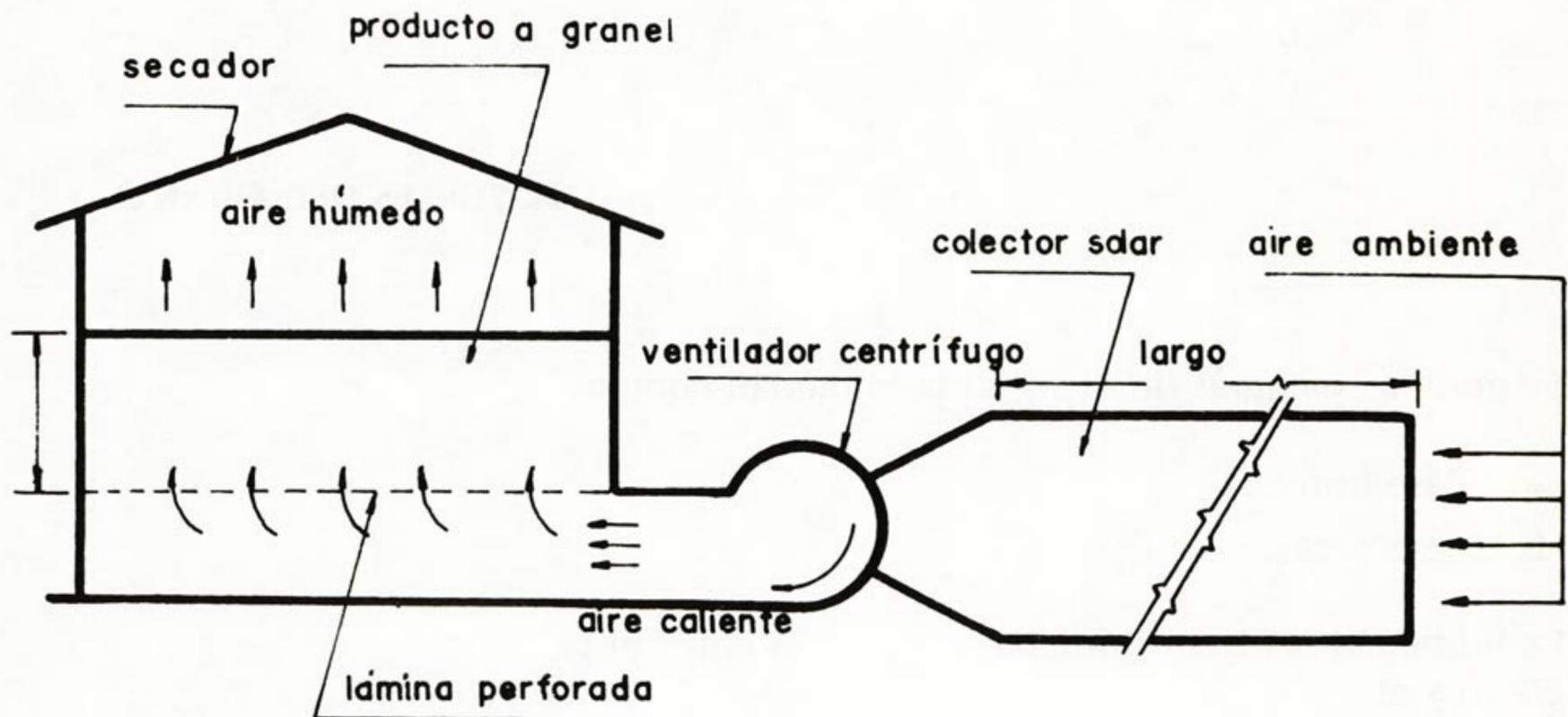


FIG. 4.4 SISTEMA SECADOR - COLECTOR SOLAR.

Dependiendo de las características específicas de cada grano y de su destino final (semilla o grano comercial), el método de secado a emplear puede variar.

Las altas temperaturas pueden reducir la germinación, provocar cocimiento en el producto y cambiar sus características químicas, físicas y biológicas.

## 4.4 ELEMENTOS TEORICOS DE IMPORTANCIA EN EL PROCESO DE SECADO

### 4.4.1 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Un grano está compuesto básicamente de dos partes: materia seca y agua.

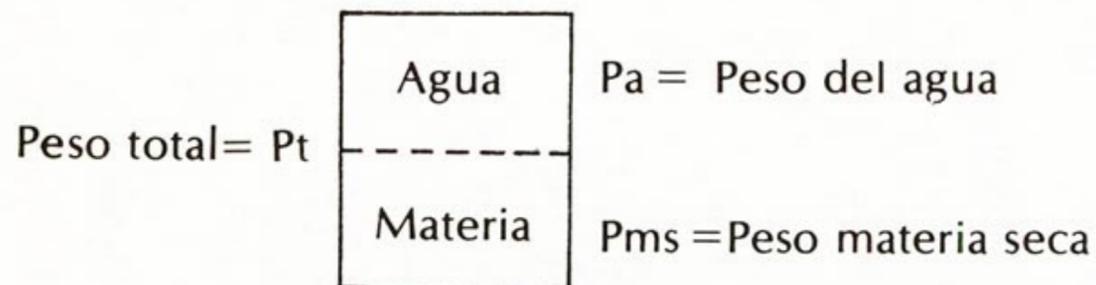


Figura 4.5

### FIGURA Nº 4.5 DIAGRAMA DE LAS PARTES CONSTITUYENTES DEL GRANO

Existen dos maneras de expresar la humedad contenida en un producto:

- a. Base húmeda
- b. Base seca

La humedad en base húmeda es la razón entre el peso del agua contenida en el grano y el peso total del mismo.

$$H \text{ (hb) \%} = \frac{Pa}{Pa + Pms} \times 100 \quad (4.1) \text{ donde:}$$

Hbh = Humedad en base húmeda (%)

Pa = Peso del agua (gramos) (gr.)

Pms = Peso de la materia seca (gramos)

Pt = Pa + Pms (Peso total)

La humedad en base seca es la razón entre el peso del agua contenida en el grano y el peso de la materia seca.

$$H \text{ (bs) \%} = Pa/Pms \times 100 \quad (4.2)$$

donde:

Hbs = Humedad en base seca (%)

Pa = Peso del agua (gramos)

Pms = Peso de la materia seca (gr.)

El contenido de humedad en base húmeda, siempre es menor en valor al contenido de humedad en base seca.

También se tendrá en cuenta que cuando no se hace aclaración sobre la base de medición de la humedad, ésta se asume como base húmeda, que es la más usada comercialmente.

## **4.5 METODOS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD**

El contenido de humedad presente en los granos es un factor de gran importancia en operaciones tales como secado, almacenamiento y transporte.

Los métodos para la determinación de la humedad de los productos se dividen en:

- a. Métodos directos
- b. Métodos indirectos

### **4.5.1 METODOS DIRECTOS**

Los métodos directos son los más precisos y se usan generalmente para calibrar los métodos indirectos.

#### **4.5.1.1 Método de la Estufa**

Habida cuenta que cada grano tiene un comportamiento particular, el método general consiste en colocar dos o tres muestras representativas del material (15 a 30 gr.) en el horno a una temperatura dada dependiendo del tipo de grano y por un tiempo determinado según la tabla siguiente:

**TABLA 4.2 TEMPERATURA DEL HORNO Y TIEMPO DE PERMANENCIA DE LA MUESTRA, PARA LA DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE ALGUNOS GRANOS.**

GRANO	TEMPERATURA + 1°C	TIEMPO hr.
Arroz	105-120-130	16-4-1
Sorgo	130	18
Trigo	130	19
Maíz	103	72
Fríjol y Soya	102-105	2-3

### Ejemplo

Peso Inicial muestra: 30 gr.

Peso final de la muestra seca: 25 gr.

Peso del agua = 30 gr. - 25 gr. = 5 gr.

$H(bh)\% = (Pa/P + Pms) \times 100 = (5/5 + 25) \times 100$

$H(bh) = 16.7\%$

$H(bs)\% = (Pa/Pms) \times 100 = (5/25) \times 100$

$H(bs) = 20\%$

#### 4.5.1.2 Método de destilación

La humedad es removida por el calentamiento de los granos en aceite mineral cuya temperatura de ebullición debe ser superior a la del agua.

En este proceso el vapor del agua proveniente del calentamiento de la muestra es condensado y recogido en un recipiente.

El contenido de humedad se determina directamente observando cuidadosamente la medida volumétrica del agua evaporada y condensada en la probeta de medición. En la figura 4.6 se ilustra el método.

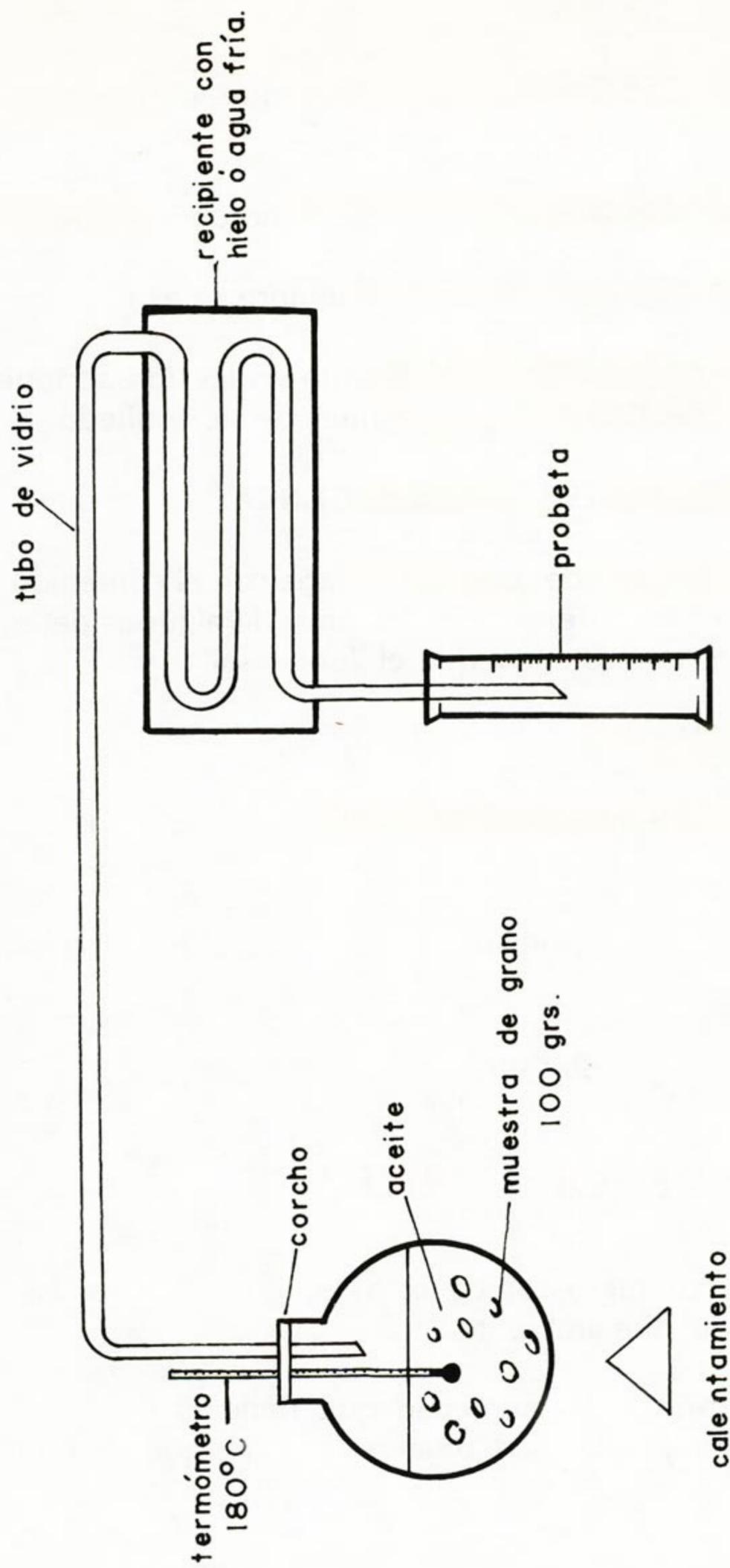


FIG. 4.6 METODO DE DESTILACION PARA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN GRANOS.

## **4.5.2 METODOS INDIRECTOS**

Estos métodos utilizan una propiedad del grano que varía con su contenido de humedad.

Los equipos utilizados son calibrados con base en uno de los métodos directos.

La humedad indicada por el método directo siempre se expresa en base húmeda.

Los métodos indirectos son usados generalmente en las transacciones comerciales y centros de almacenamiento debido a la rapidez de su resultado.

### **4.5.2.1 METODO DE LA RESISTENCIA ELECTRICA**

La conductividad eléctrica de un material varía con el contenido de humedad, principio que es utilizado en la construcción de algunos determinadores de humedad, entre los que se encuentra el “universal”.

### **4.5.2.2 Método Dieléctrico**

Las propiedades dieléctricas de los productos biológicos dependen especialmente de su contenido de humedad.

Entre los aparatos cuyo principio de funcionamiento se basan en estas propiedades se tienen:

Motomco, Steinlite, Radson, Burrows digital.

## **4.6 HUMEDAD DE EQUILIBRIO**

El grano es un producto higroscópico esto es, puede ceder o absorber agua según las condiciones del aire ambiente.

La humedad de equilibrio es la humedad que tiene el grano cuando estando a la misma temperatura y humedad relativa del aire que lo rodea, ni gana ni pierde humedad.

Gráficamente la humedad de equilibrio se representa mediante una curva sinusoidal, donde se relaciona la humedad relativa del aire en porcentaje y el contenido de humedad del grano en porcentaje.

El concepto de EQUILIBRIO no significa que el contenido del agua del grano sea igual a la del aire.

Por ejemplo, 1 kg. de maíz con 15% de contenido de humedad, está en equilibrio con el aire cuyas condiciones son 16°C y 60% de humedad relativa.

El maíz tiene 105 gramos de agua y el aire tiene 0.0068 gr. de agua. Luego el maíz posee 15441 veces más de agua que el aire cuando están en equilibrio.

En el proceso de secado, el valor del contenido de humedad de equilibrio, determina el valor final del contenido de humedad hasta el cual se puede secar el producto.

En el almacenamiento, la humedad de equilibrio es importante porque según las condiciones medias de humedad relativa y temperatura del aire del lugar, nos determina el tiempo máximo permisible de almacenamiento sin que el producto se deteriore.

## **4.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO**

- a. Temperatura y humedad relativa del aire
- b. Temperatura del grano
- c. Tipo y variedad del grano

Los valores de humedad de equilibrio difieren de un grano a otro hasta en un 5% bajo las mismas condiciones del aire; esta diferencia se atribuye principalmente a la constitución química y características específicas de cada grano.

Por ejemplo: en condiciones de 25°C., y 60% de humedad relativa el maíz tiene 13.45% de humedad de equilibrio mientras que el arroz está en 15% como se muestra en la figura 4.7

En la Tabla 4.3 se muestran algunos valores del contenido de humedad de equilibrio en función de la humedad relativa y la temperatura del aire.

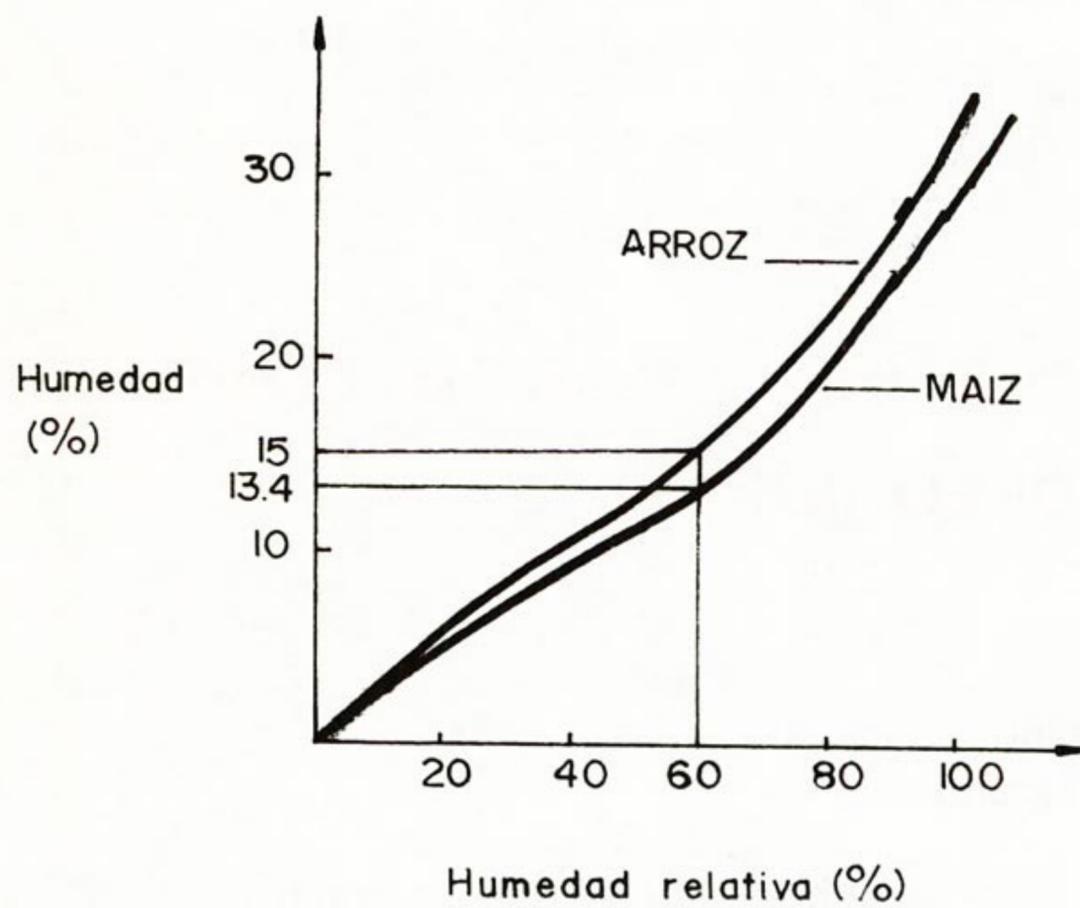


figura 4.7 CURVAS DE EQUILIBRIO DEL ARROZ Y DEL MAIZ.

**TABLA 4.3** Contenido de humedad de equilibrio de granos (base seca %)

Grano	Temperatura °C	Humedad relativa (%)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Cebada	25	4.7	6.9	8.4	9.6	10.6	11.9	13.4	15.7	19.2	26.5
	10						13.6	15.3	18.1		
	25	5.5	7.4	8.5	9.5	11.0	12.6	14.9	18.2		
	38						12.0	14.2	17.1		
Arroz con cáscara	20		7.5	9.1	10.4	11.4	12.5	13.7	15.2	17.6	
	23	4.9	7.3	8.7	8.7	10.9	12.4	13.5	15.9	19.0	
	25	4.6	6.5	7.9	9.4	10.8	12.2	13.4	14.8	16.7	
	27					10.2	11.7	13.2	14.9	17.2	
	32						11.2	12.9	14.6	16.8	
	44						10.3	12.3	14.3	16.5	
Maíz	4										
	10	6.4	8.6	9.9	11.2	12.6	13.9	15.6	17.7	21.4	
	16	6.6	8.0	9.3	10.8	12.2	13.8	15.2	17.5	21.8	
	21		4.9	7.2	9.0	10.7	12.3	14.1			
	25				8.4	9.8	11.5	13.2			
	27	5.0	7.1	8.8	10.0	11.0	12.4	14.0	16.1	19.0	23.9
	32	4.2	6.4	7.9	9.2	10.3	11.5	12.9	14.8	17.5	
	38			5.3	7.1	8.7	10.1	11.6	13.3		
Sorgo	4	6.8	8.5	9.7	11.0	12.3	13.7	15.3	17.3		
	16	5.4	7.7	9.5	10.7	11.9	13.0	14.1	15.2		
	21	6.0	7.7	9.1	10.4	11.5	12.8	14.2	16.0		
	32	5.0	7.0	8.4	9.6	10.8	12.0	13.2	14.7		
	49		6.5	8.2	9.5	10.7	11.7	12.9	14.1		
	Soya	5	5.2	6.3	6.9	7.7	8.6	10.4	12.9	16.9	22.4
15		4.3	5.7	6.5	7.2	8.1	10.1	12.4	16.1	21.9	
25		3.8	5.3	6.1	6.9	7.8	9.7	12.1	15.8	21.3	
35		3.5	4.8	5.7	6.4	7.6	9.3	11.7	15.4	20.6	
45		2.9	4.0	5.0	6.0	7.1	8.7	11.1	14.9		
Trigo	10		8.7	9.9	10.9	12.0	13.3	14.8	16.9		
	16		6.0	8.2	9.7	11.3	12.6	13.9	15.6		
	20	5.5	7.0	8.2	9.6	10.9	12.0	13.4	14.8	17.1	
	25		7.0		9.4	10.4	11.7	13.2	14.5	17.0	
	40			7.4	8.6	9.7	11.0	12.3	14.0	16.3	

\* Tomado de Agricultural Engineers year book - 1984.  
(American Society of Agricultural Engineers).

## 4.8 TIPOS DE SECADO

Los tipos de secado se clasifican según sea movida la masa de grano durante el proceso de secado, en estático y dinámico.

### 4.8.1. SECADO ESTÁTICO

#### 4.8.1.1. Secado en Silos

##### a. SECADO EN SILO COMPLETAMENTE LLENO

En este sistema de secado, el silo está completamente lleno con una altura máxima o espesor de capa de grano de 5 m, los flujos de aire utilizados son bajos y su rango es de 15-30 m<sup>3</sup>/min-ton.

Las variaciones de temperatura cuando se usan quemadores, no pasan en promedio de 5°C. El secado es de abajo hacia arriba y a baja temperatura, con una humedad relativa máxima de 75%. En este sistema de secado, la parte superior del grano siempre está húmeda, por migración de la humedad, al desplazarse ésta de las capas inferiores del grano a las capas superiores del silo (ver figura 4.8).

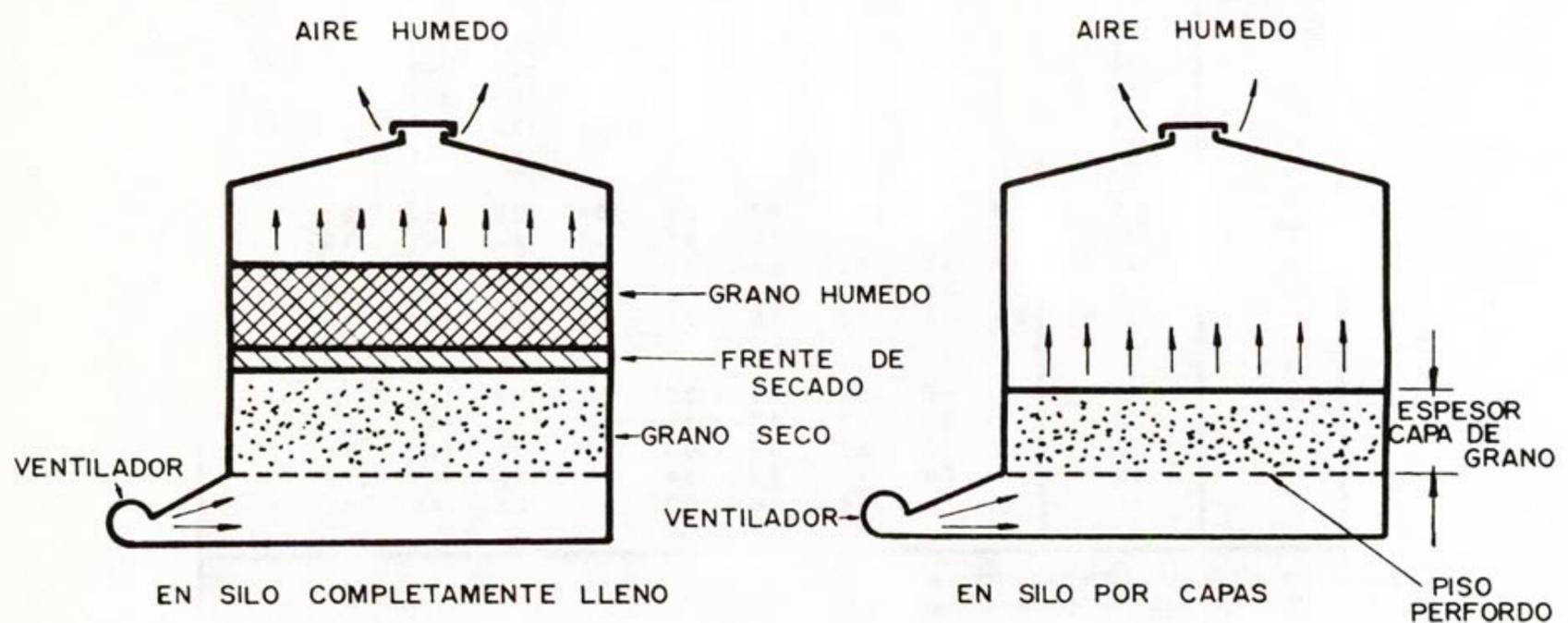


FIG. 4.8 - SISTEMA DE SECADO EN SILO LLENO Y POR CAPAS.

### *Ventajas*

El grano no sufre resecamiento. El sistema de secado es ideal para el procesamiento de semillas, las cuales deben ser secadas a bajas temperaturas (menores de 40°C).

### *Desventajas*

No es recomendable para secar granos con contenidos de humedad mayores del 20%. El secado es prolongado y por lo tanto existe el riesgo de infestación por hongos, por lo que se aconseja examinar los granos periódicamente.

## b. SECADO EN SILOS POR CAPAS

El sistema es muy similar al anterior. Se usa el mismo rango de temperatura del secado en silo completamente lleno, el espesor de la capa de grano recomendado es de 30 cms.

### *Ventajas*

El manejo de los granos es reducido al mínimo.

Pueden secarse granos con contenidos de humedad superiores al 20%.

El tiempo de secado es menor que en silos completamente llenos.

Se adapta muy bien para el secado de semillas debido a las bajas de temperaturas usadas.

### *Desventajas*

Exige operarios bien entrenados que examinen el proceso de secado.

**TABLA 4.4 RESUMEN DE LAS TEMPERATURAS, FLUJOS DE AIRE Y ESPESORES DE CAPA DE GRANOS UTILIZADOS EN SISTEMAS DE SECADO ESTACIONARIO.**

SISTEMA DE SECADO	TEMP. ° C	FLUJO AIRE	ESPESOR, m m <sub>3</sub> /min	HUMEDAD GRANO %
En silo comp. lleno	40	15-30	5	20
En silo por capas	40	10-15	.3	20
Por lote (batch) en silos	50-60	8-15	1-1.25	20
En columna	50	100	0.3 - 05	20

## 4.8.2 SECADO DINAMICO

### 4.8.2.1 Secadores de flujo continuo

Los secadores de flujo continuo se caracterizan por la dirección relativa del grano y del aire en el secador (ver figura 4.9).

#### a. SECADORES DE FLUJO TRANSVERSAL

El flujo de aire en estos secadores es perpendicular al flujo de grano (ver figura 4.9).

#### *Características*

El grano cae continuamente por gravedad, pues se carga por la parte superior y descarga por la inferior; el grano se debe enfriar a la salida del secador y su flujo es regulado por varios sistemas localizados en su salida.

#### b. SECADORES DE FLUJO PARALELO

Se llaman así porque el aire y el grano se mueven en la misma dirección (ver figura 4.9)

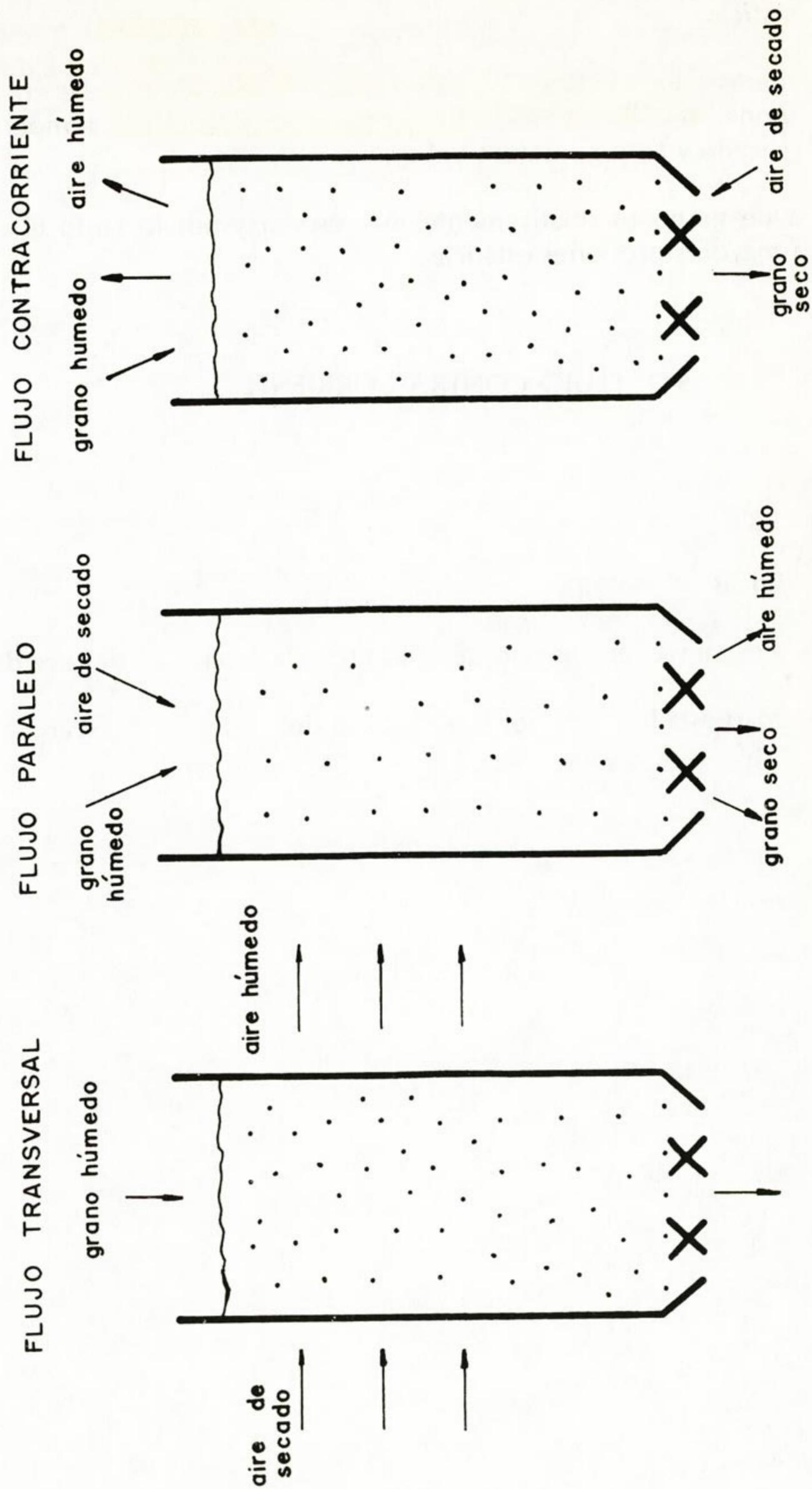


FIG. 4.9 ESQUEMA DE TRES TIPOS DE SECADORES CONTINUOS

### *Características*

Las temperaturas de secado pueden ser superiores a las usadas en secadores de columna. Existe una diferencia muy grande entre la temperatura del aire de secado y la temperatura del grano.

La capa de grano es relativamente más espesa y por lo tanto el ventilador opera a mayores presiones estáticas.

### c. SECADORES DE FLUJO CONTRA-CORRIENTE

Se denomina así porque el aire y el grano se mueven en direcciones contrarias (ver figura 4.9).

### *Características*

El sistema es muy eficiente porque utiliza toda la capacidad del aire de secado.

Su capacidad está limitada por la capacidad del equipo de descarga.