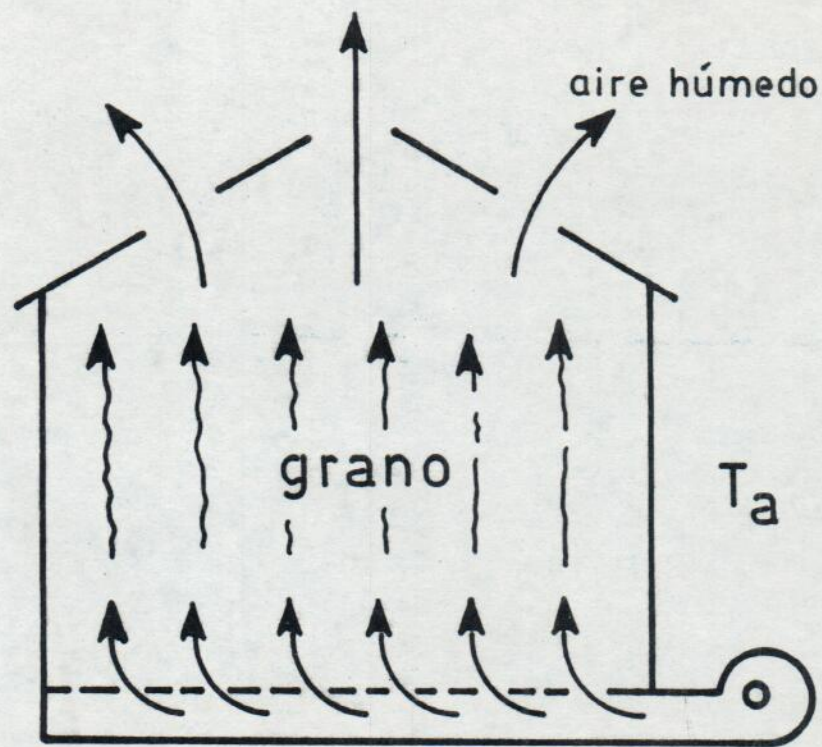




UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DIRECCION DE EXTENSION

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES

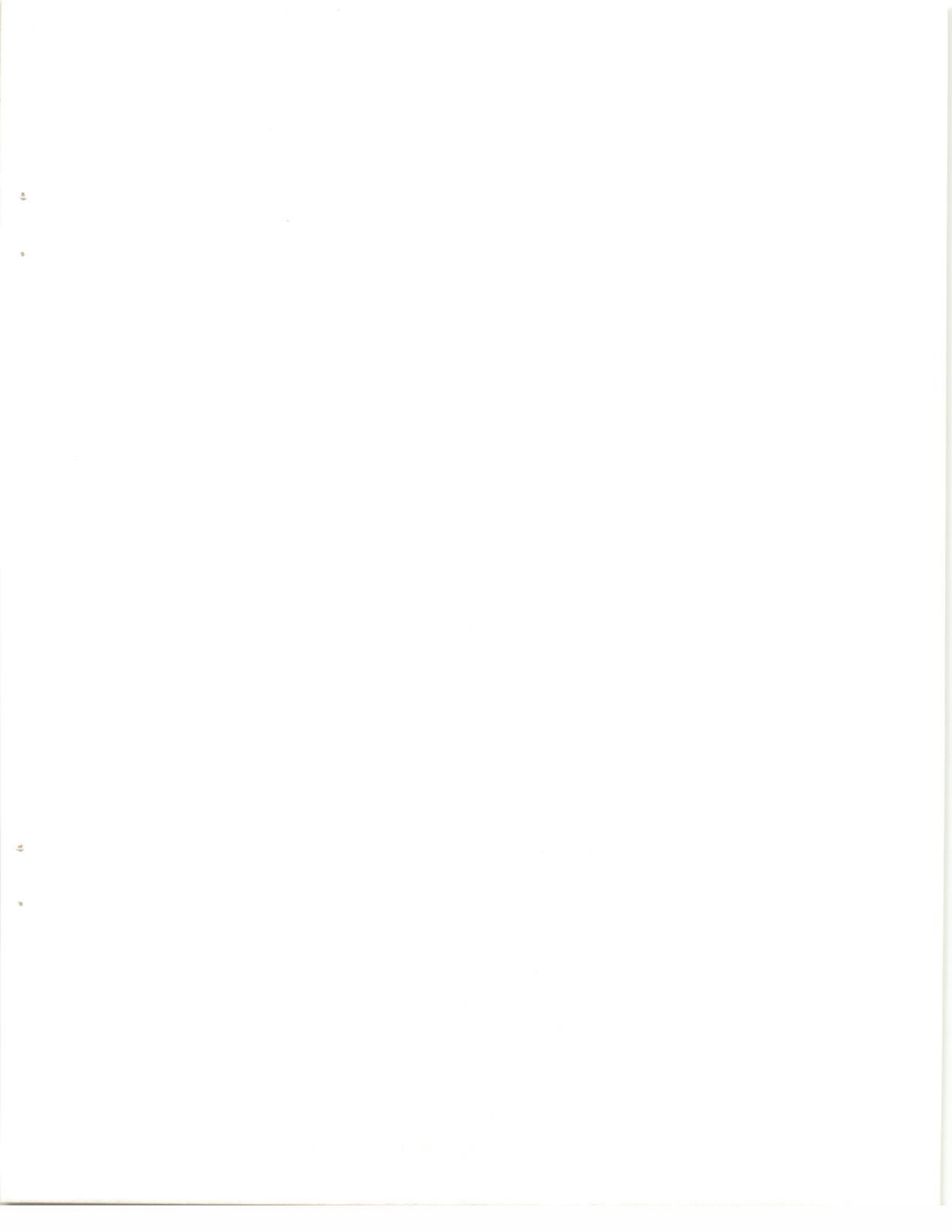
**PRINCIPIOS DE AIREACION
Y SECADO DE GRANOS**



Autor :

José A. Fuentes G.
Ing. Agr. M. Eng.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA
Boletín de Extensión N° 18 Agosto 1986
Chillán



PROLOGO

A través de esta publicación se pretende apoyar el trabajo de docencia y extensión en el área de postcosecha de granos del Departamento de Ingeniería Agrícola.

En el transcurso del boletín se describen la aireación y métodos de secado de granos y se entregan algunos parámetros de diseño.

El autor expresa sus agradecimientos al Departamento de Extensión Académica de la Universidad de Concepción por materializar este boletín.

PRINCIPIOS DE AIREACION Y SECADO DE GRANOS.

INDICE

CONCEPTOS.....	1
Grano.....	1
Respiración.....	2
Humedad del grano.....	2
Humedad relativa del aire.....	2
Humedad de equilibrio.....	2
AIREACION.....	5
SECADO.....	13
Secado a baja temperatura.....	13
Secado a alta temperatura.....	15
batch.....	15
columna.....	15
concurrente.....	15
Combinación.....	19
seca aireación.....	19
alta-baja temperatura.....	19
APENDICE.....	20
Humedades de equilibrio para arroz y trigos.....	20
Presión estática requerida en granos.....	23
Dimensionamiento de un sistema de aireación.....	24
Referencias.....	27

CONCEPTOS.

Grano :

El grano es un material vivo constituido básicamente por tres partes : cubierta, endosperma y embrión.

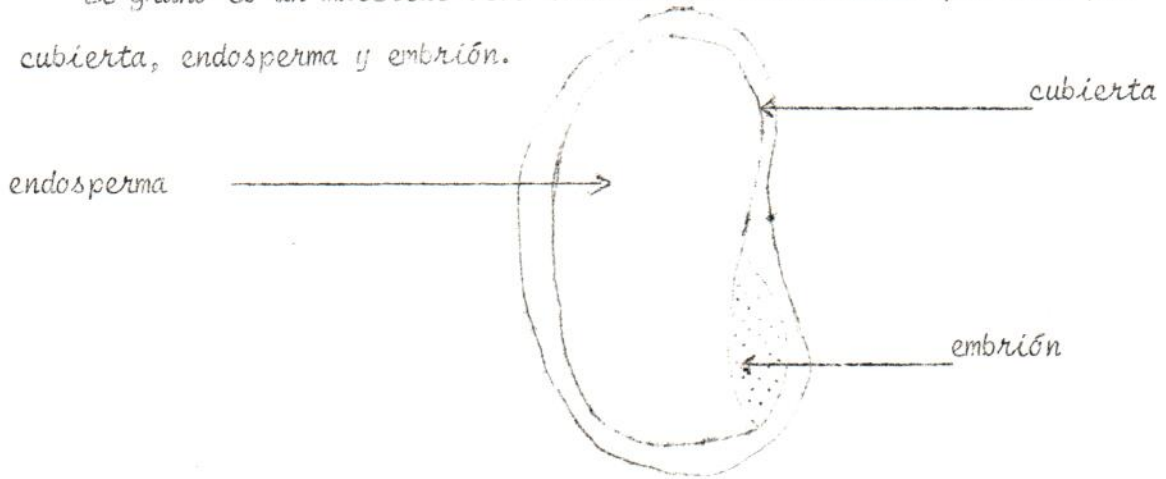


Figura 1. Estructura del grano.

Si el grano está seco y sin partiduras, la cubierta protege al endosperma y al embrión del ataque de insectos y hongos.

El endosperma constituye la mayor parte del grano (80 % del volumen) y el lugar de almacenaje de alimentos (almidón y proteínas) para la **semilla** o para el consumo animal y humano.

El embrión es la parte de la semilla que se puede desarrollar en una planta. Contiene proteína, grasas y vitaminas. Es la parte del grano más fácilmente atacada por insectos y hongos, originando posteriormente plantas débiles o granos sin germinación.

Respiración.

El grano como materia viva respira, es decir, toma oxígeno del aire y quema parte de su interior. Este proceso libera energía y dióxido de carbono. La respiración es más o menos rápida dependiendo de la humedad del grano. Cuando el grano está frío y seco la respiración es lenta, lo suficiente para mantener el embrión vivo. Una respiración lenta es deseable durante el almacenaje.

Humedad del grano.

Todos los granos tienen una cierta cantidad de humedad o agua. El grano debe ser secado a niveles seguros para el almacenaje, 12-14 %. La humedad se expresa en porcentaje y está dada por :

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso del agua del grano} * 100}{\text{Peso del grano húmedo}}$$

Humedad relativa del aire.

Es una relación entre cantidad de agua que tiene el aire y la cantidad máxima de agua que podría tener a la misma temperatura.

Humedad de equilibrio.

La humedad de equilibrio se define como la humedad alcanzada por el grano durante un período largo de exposición a condiciones constantes de temperatura y humedad relativa del aire. Cuando el grano ha alcanzado el estado de equilibrio no pierde ni obtiene humedad.

El estado de equilibrio es alterado en forma artificial (ej. secado) o en forma natural (ej. variaciones climáticas).

Las humedades de equilibrio del grano de maíz en función de la humedad relativa y temperatura del aire son entregadas en la Tabla 1. Para otros granos están la Tablas 2 a 4 en el Apéndice.

Los valores de temperatura y humedad relativa del aire determinarán la humedad final del grano durante el secado y la aireación. Por ejemplo, si la humedad relativa y temperatura del aire son 70 % y 20°C respectivamente el maíz se secará hasta un 14.6 % de humedad (Tabla 1).

TABLA 1. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA MAIZ.

Temperatura C	Humedad relativa %								
	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	13.5	14.4	15.3	16.3	17.4	18.6	19.9	21.7	24.1
10	13.0	13.9	14.8	15.7	16.7	17.9	19.2	20.9	23.3
15	12.5	13.3	14.2	15.1	16.1	17.2	18.5	20.2	22.5
20	12.1	12.9	13.7	14.6	15.6	16.7	18.0	19.5	21.8
25	11.7	12.5	13.3	14.2	15.1	16.2	17.4	19.0	21.2
30	11.3	12.1	12.9	13.8	14.7	15.7	16.9	18.4	20.6
35	11.0	11.8	12.5	13.4	14.3	15.3	16.5	17.9	20.1
40	10.7	11.5	12.2	13.0	13.9	14.9	16.0	17.5	19.6
45	10.4	11.1	11.9	12.7	13.6	14.5	15.7	17.1	19.2

AIREACION.

AIREACION.

La aireación consiste en forzar una cantidad pequeña de aire a través del grano almacenado. El principal objetivo de esta práctica es el enfriamiento del grano a una temperatura lo suficientemente baja para asegurar una buena conservación.

El enfriamiento de la masa de granos previene las migraciones de humedad, disminuye la actividad de insectos y retarda el desarrollo de hongos.

Las migraciones o movimientos de humedad, causa principal del deterioro del grano almacenado, son explicadas a continuación. En el invierno el aire frío y denso, ubicado junto a la pared del silo, genera una corriente de aire descendente (Figura 2). Simultáneamente, el aire en el fondo y centro del silo absorbe calor de los granos calientes originándose una corriente ascendente. Este descenso y posterior ascenso del aire origina lo que se denomina una circulación convectiva del aire. La corriente de aire caliente central absorbe humedad de la masa de granos y cuando el aire se aproxima a la superficie, parte de la humedad se condensa al contacto con los granos fríos, generando una zona de alto contenido de humedad y de alto riesgo de deterioración. Esta zona de alto riesgo favorece la actividad de insectos creando " focos de granos calientes". La alta humedad y temperatura favorecen, además al desarrollo de hongos. En el verano sucede lo inverso, produciéndose zonas de alto riesgo en la parte baja del silo. Para evitar estos focos de alto riesgo al deterioro, la temperatura de la masa de granos debe ser mantenida uniforme a través de todo el silo u otra estructura de almacenaje.

INVIERNO

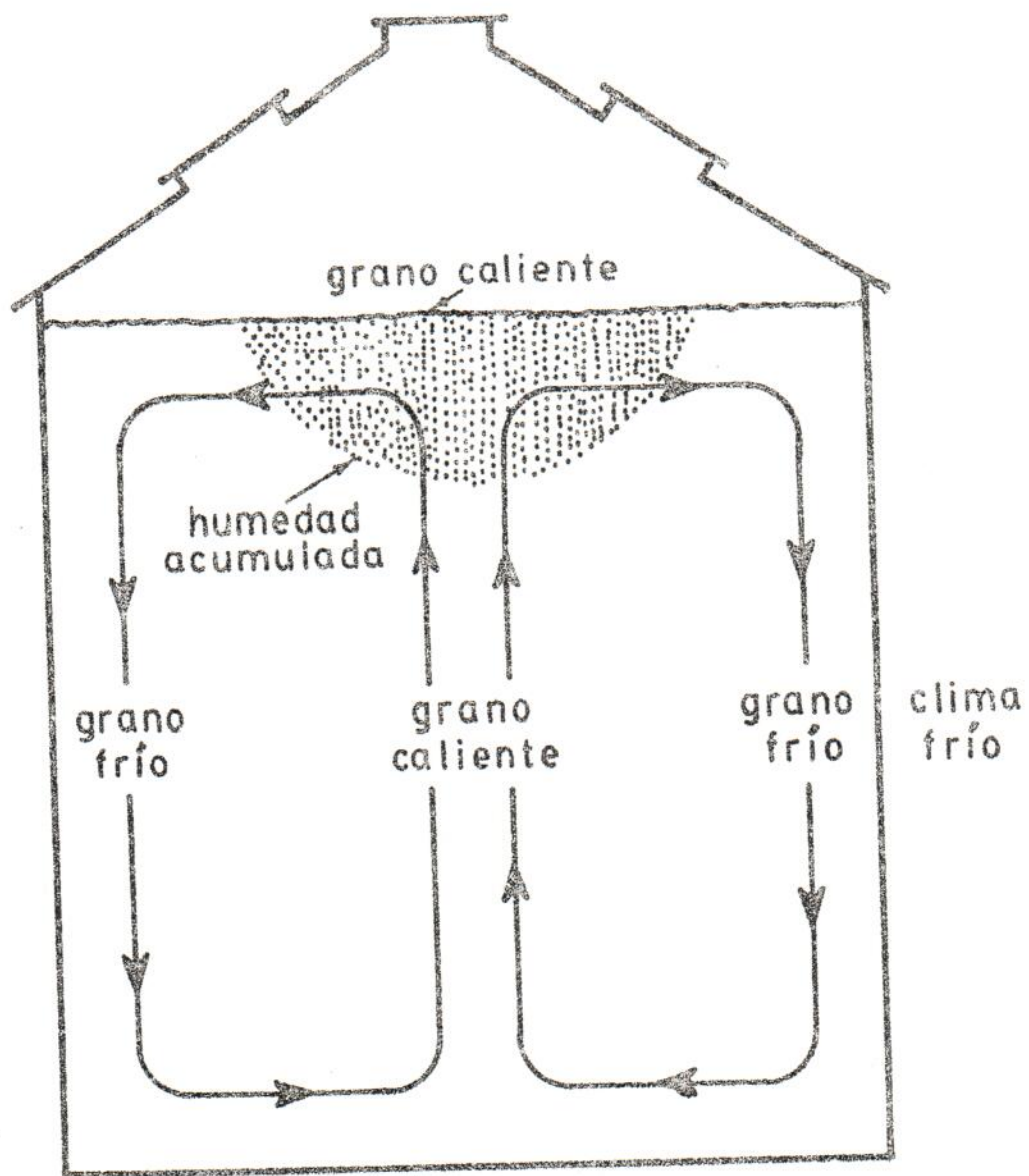


FIGURA 2. Silo de almacenaje

La Figura 3, establecida por Burges y Burrel (Inglaterra), grafica la naturaleza de los riesgos a que está expuesto el grano almacenado (trigo, avena, cebada, centeno y maiz) en función de su contenido de humedad y su temperatura. Un grano relativamente seco a una temperatura mayor de 18 °C está sujeto a daños por insectos. Un grano con un alto contenido de humedad está expuesto a ser deteriorado por hongos y disminuir su poder germinativo.

De lo anteriormente expuesto, se recomienda observar constantemente la temperatura de la masa de granos y la temperatura y humedad relativa del aire ambiental. La aireación tiene que realizarse siempre que estos factores lo permitan. Para un almacenaje seguro, la temperatura del grano debe ser lo más baja posible. Enfriar siempre a temperaturas inferiores a 17°C.

Un sistema de aireación está constituido por un ventilador y un ducto (o más) o un piso perforado para forzar y distribuir el aire a través de la masa de granos, respectivamente (Figura 4). La distribución de aire por ductos es común en estructuras planas de almacenaje (altura menor que el ancho o diámetro) y en estructuras elevadas (altura mayor que el ancho o diámetro) superiores a 7.5 m. El piso perforado generalmente es utilizado en estructuras elevadas con profundidades de grano menores a 7.5 m.

Los ductos (comunmente de sección semicircular o rectangular) son generalmente perforados, es decir, con aberturas uniformemente distribuidas a través de su superficie para permitir el paso del aire como se observa en la Figura 5.

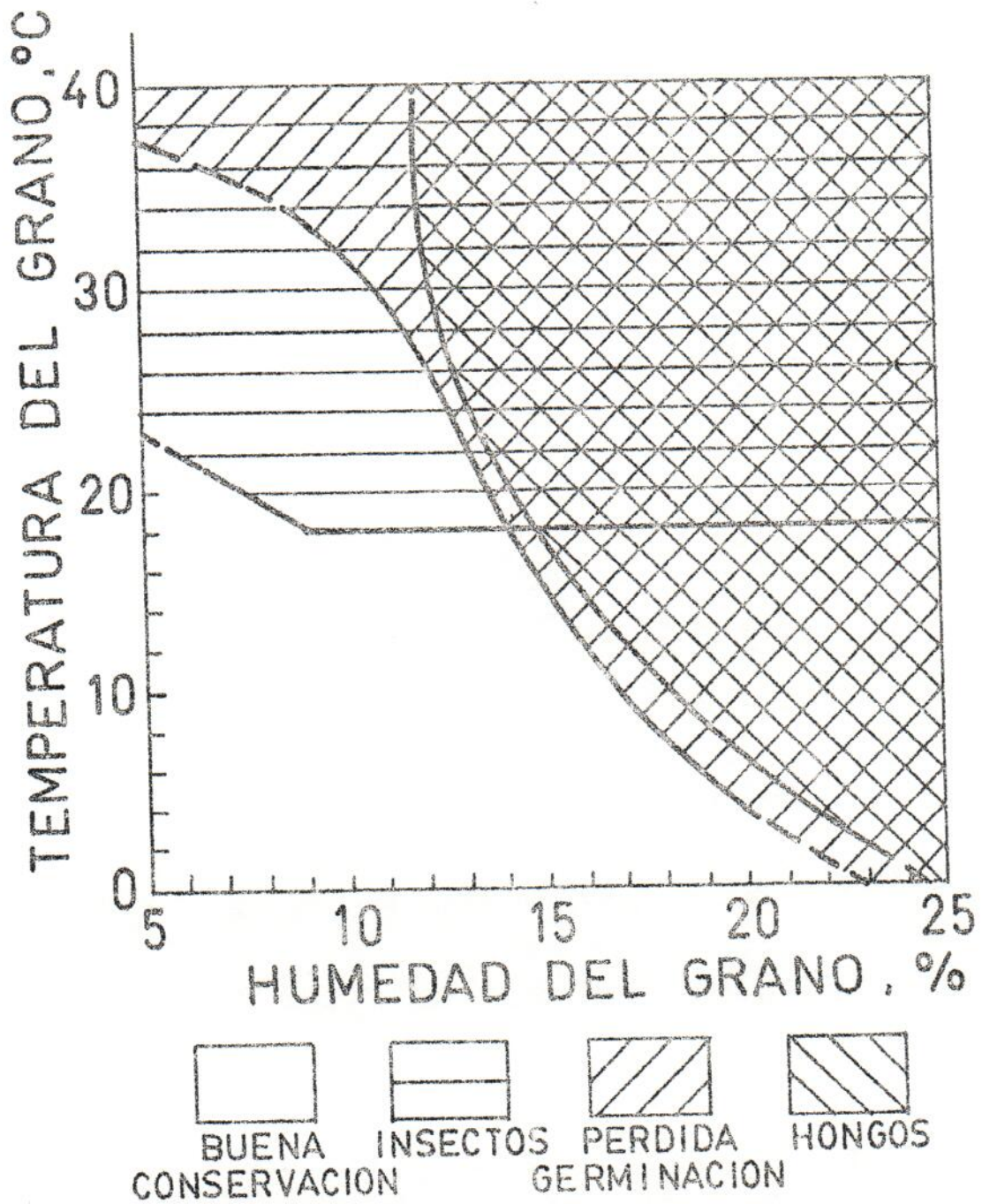


FIGURA 3. Gráfico de conservación

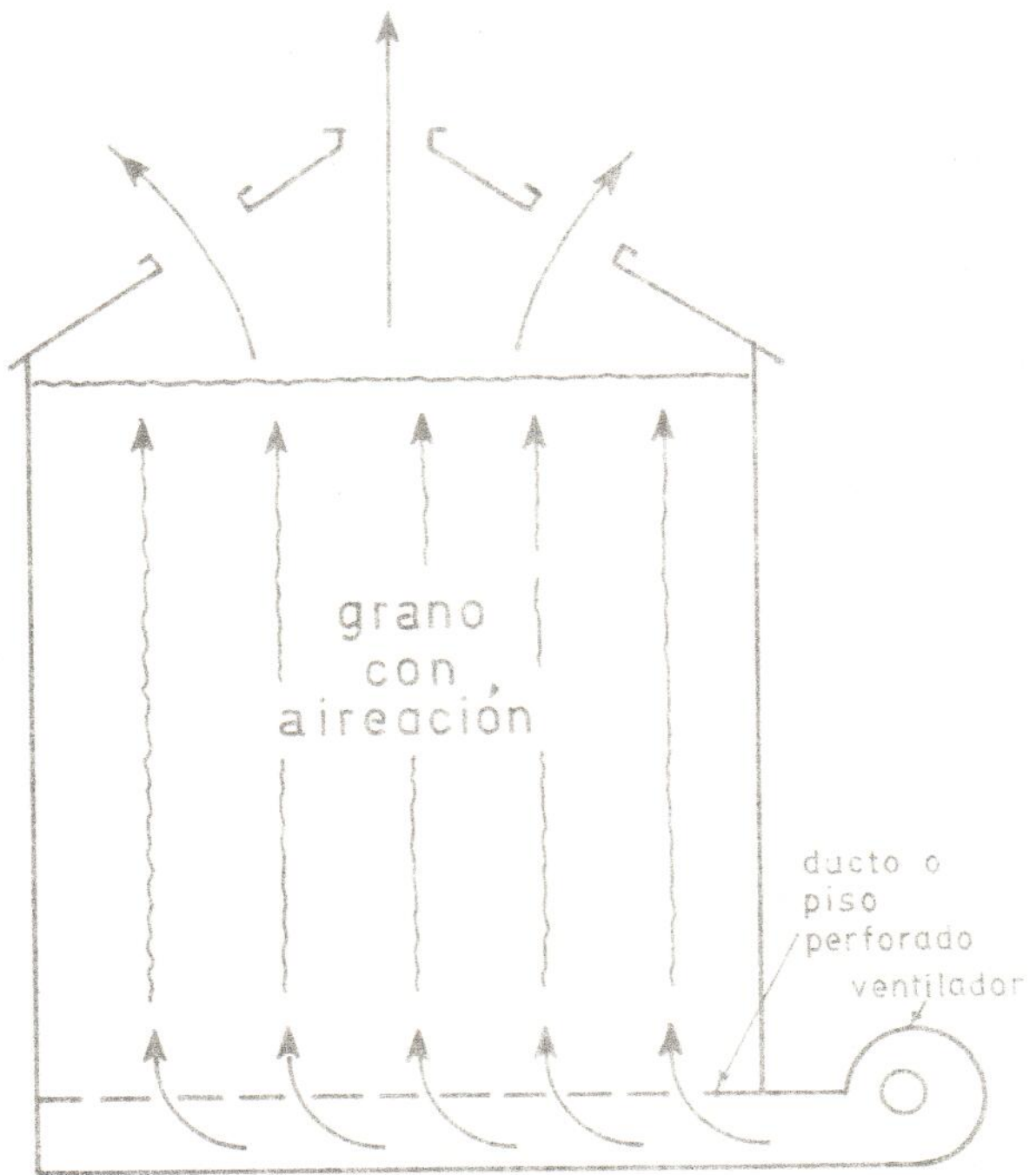


FIGURA 4. Silo con aireación

La potencia aplicada del motor eléctrico acoplado al ventilador es calculado por

$$HP = \frac{Q P_T}{4500 \times \text{Eficiencia}} \quad (1)$$

donde :

Q = flujo de aire, m^3/min

P_T = presión estática total, mm agua.

La presión estática total o caída de presión está afectada por :

- la resistencia del grano al paso del aire
- la fricción del aire en los ductos de aireación, y
- la cantidad de aire suministrado.

La resistencia que pone el grano al paso del aire es calculada por

$$P_H = P_e \times H \quad (2)$$

donde :

P_H = resistencia, mm agua

P_e = resistencia por metro de profundidad de grano,
mm agua/m grano, y

H = profundidad de grano, m.

P_e está dada en la Tabla 5 del apéndice en función del flujo de aire por m^2 de piso para arroz, maíz y trigo.

A continuación, se entregan algunas consideraciones utilizadas en el dimensionamiento de un sistema de aireación.

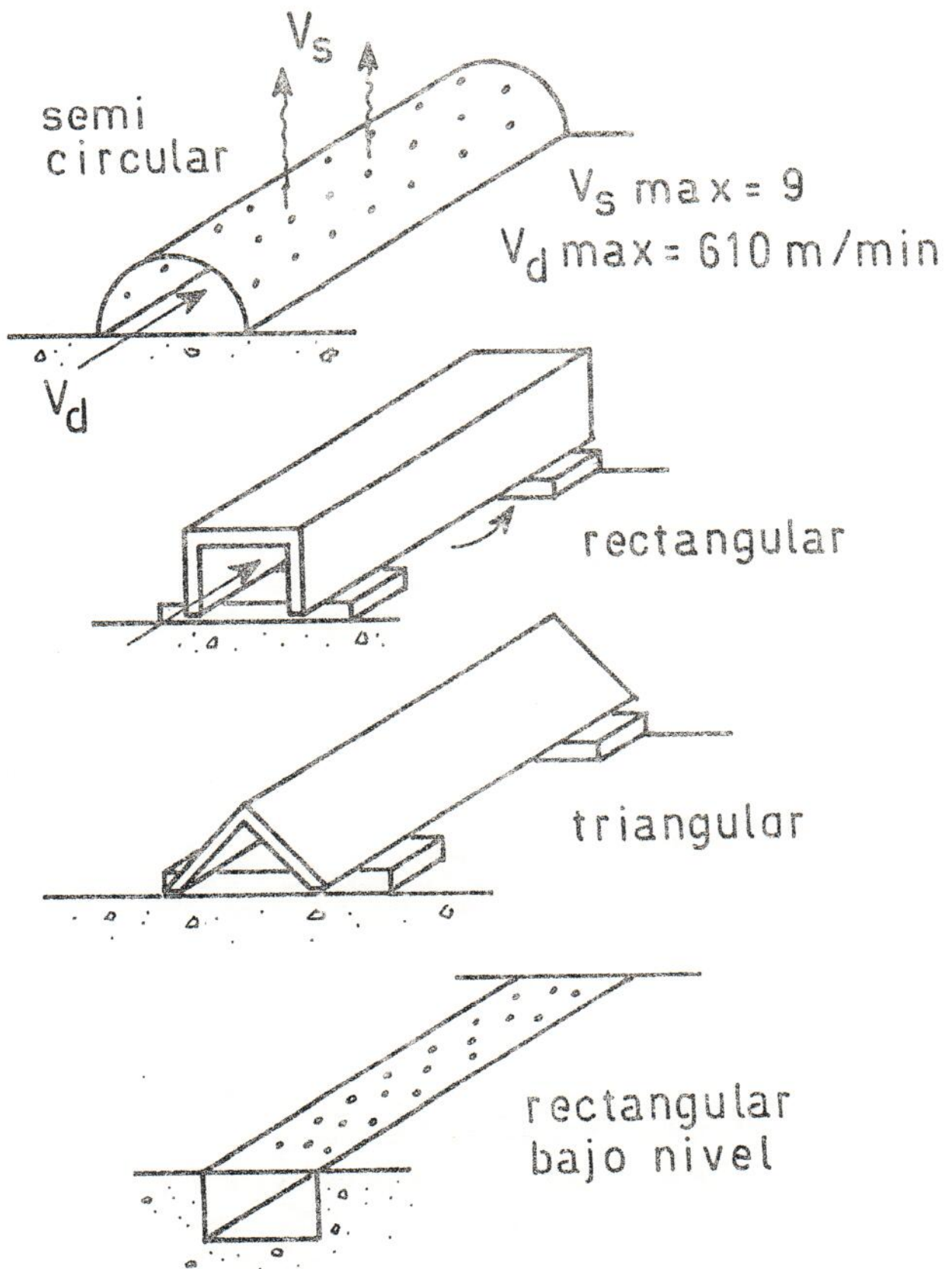


FIGURA 5. Ducto de aireación

1. La cantidad de aire suministrado , $m^3/\text{min} \times m^3$ de grano, oscila entre 0.05 - 0.1 para grano seco almacenado y entre 0.2 - 0.3 para grano húmedo almacenado antes del secado.
2. La velocidad del aire en los ductos de distribución y alimentación de aire no debe exceder a 610 m/min.
3. El área perforada del ducto de distribución debe ser lo suficientemente grande para que la velocidad del aire de salida no exceda a 9 m/min.
4. El espaciamiento de los ductos, centro a centro, no debe exceder a la mitad de la profundidad de grano

En el apéndice se entrega un ejemplo de aplicación.

SECADO.

El secado consiste en la remoción de gran parte del agua del grano para su inmediato procesamiento o almacenaje por largos períodos de tiempo, sin disminuir significativamente sus propiedades organolépticas, nutritivas y germinativas.

Los sistemas de secado utilizados son descritos a continuación :

Secado a baja temperatura.

El secado a baja temperatura se realiza con aire ambiental o aire levemente calentado en $1-10^{\circ}\text{C}$ y bajo flujo de aire $2 - 5 \text{ m}^3/\text{min}$ por m^3 de grano.

El secado se efectúa en un silo equipado con un piso perforado y un ventilador. El secado en este sistema, donde no hay movimiento del grano, se efectúa por etapas como se indica en la Figura 6. La profundidad de grano oscila entre 3.5 a 6 m.

La característica de este sistema, baja temperatura y flujo de aire hacen que sea un proceso lento tomando días o semanas para alcanzar el producto la humedad final. En compensación al tiempo, el producto final es de buena calidad. El grano una vez secado, permanece almacenado en la misma estructura.



FIGURA 6. Silo secador

Secado a alta temperatura.

El secado a alta temperatura se caracteriza por utilizar aire calentado en por lo menos $15 - 20^{\circ}\text{C}$ y flujos de aire mayores al anterior. Algunos métodos son descritos a continuación :

1. Batch

El método Batch está constituido por un ventilador acoplado a una fuente de energía (gas, petróleo, leña u otro), que fuerza aire caliente a través de un piso perforado a la masa de granos, Figura 7.

Los granos son distribuidos uniformemente sobre el piso perforado a una altura de $0.6 - 1.2$ m y expuestos a un flujo de aire de $8 - 20$ m³/min por metro cúbico de grano a $35 - 70^{\circ}\text{C}$.

2. Columna-Cruzado

Los granos en este tipo de secador, permanecen en columnas verticales perforadas de aproximadamente $0.3 - 0.5$ m de espesor y sometidos a un flujo perpendicular de aire de $56 - 72$ m³/min por m³ de grano a temperatura de hasta 104°C , Figura 8.

3. Concurrente

Este método es relativamente nuevo. El grano y el aire fluyen paralelamente encontrándose el aire más caliente con el grano más frío, como se observa en la Figura 9. El aire se enfría rápidamente, debido a la alta tasa de evaporación, permitiendo el uso de temperaturas tan altas como $150 - 260^{\circ}\text{C}$.

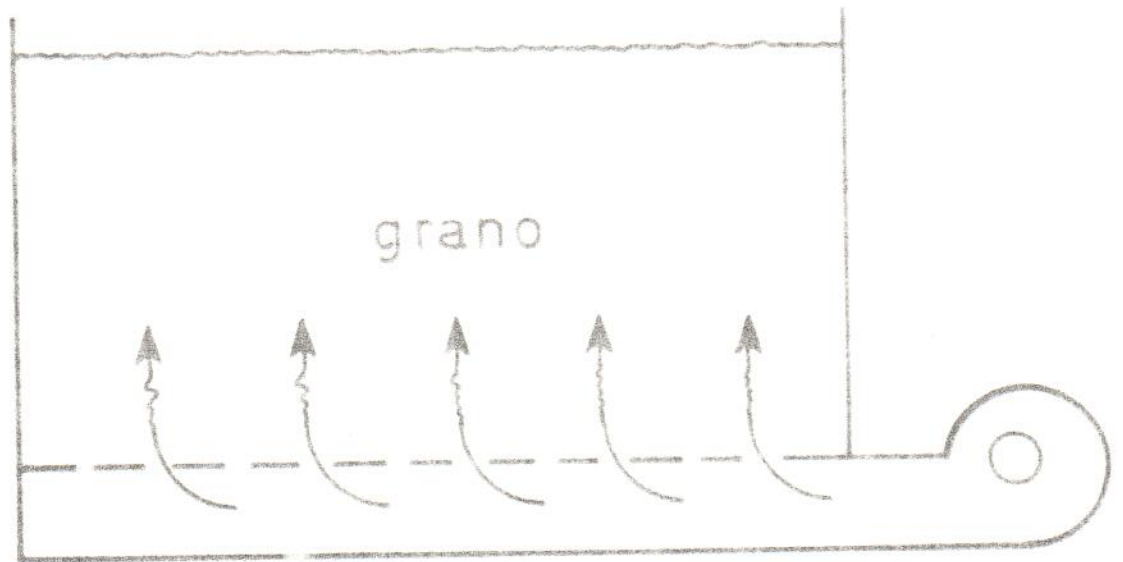


FIGURA 7. Secador batch

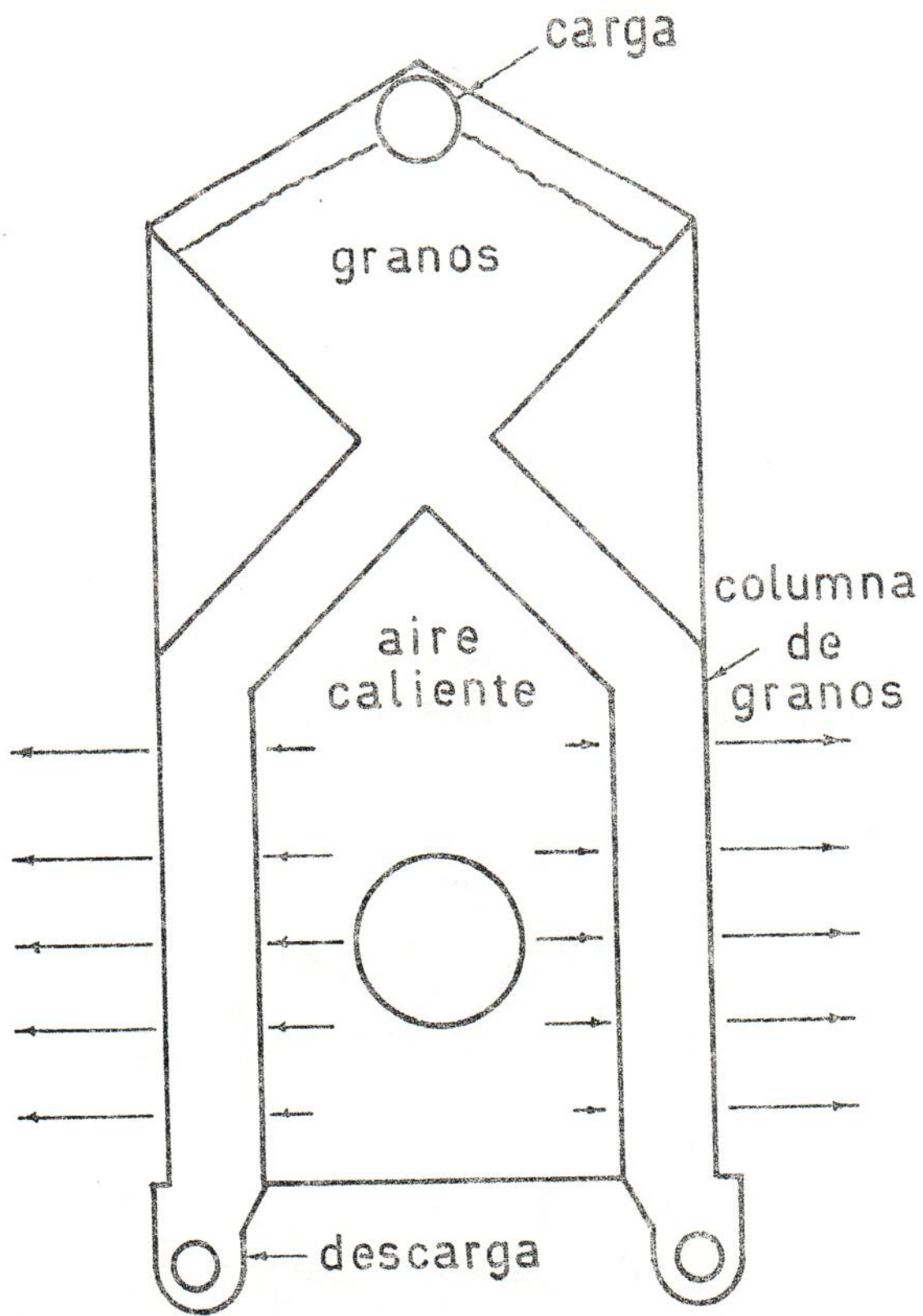


FIGURA 8. Secador columna-cruzado

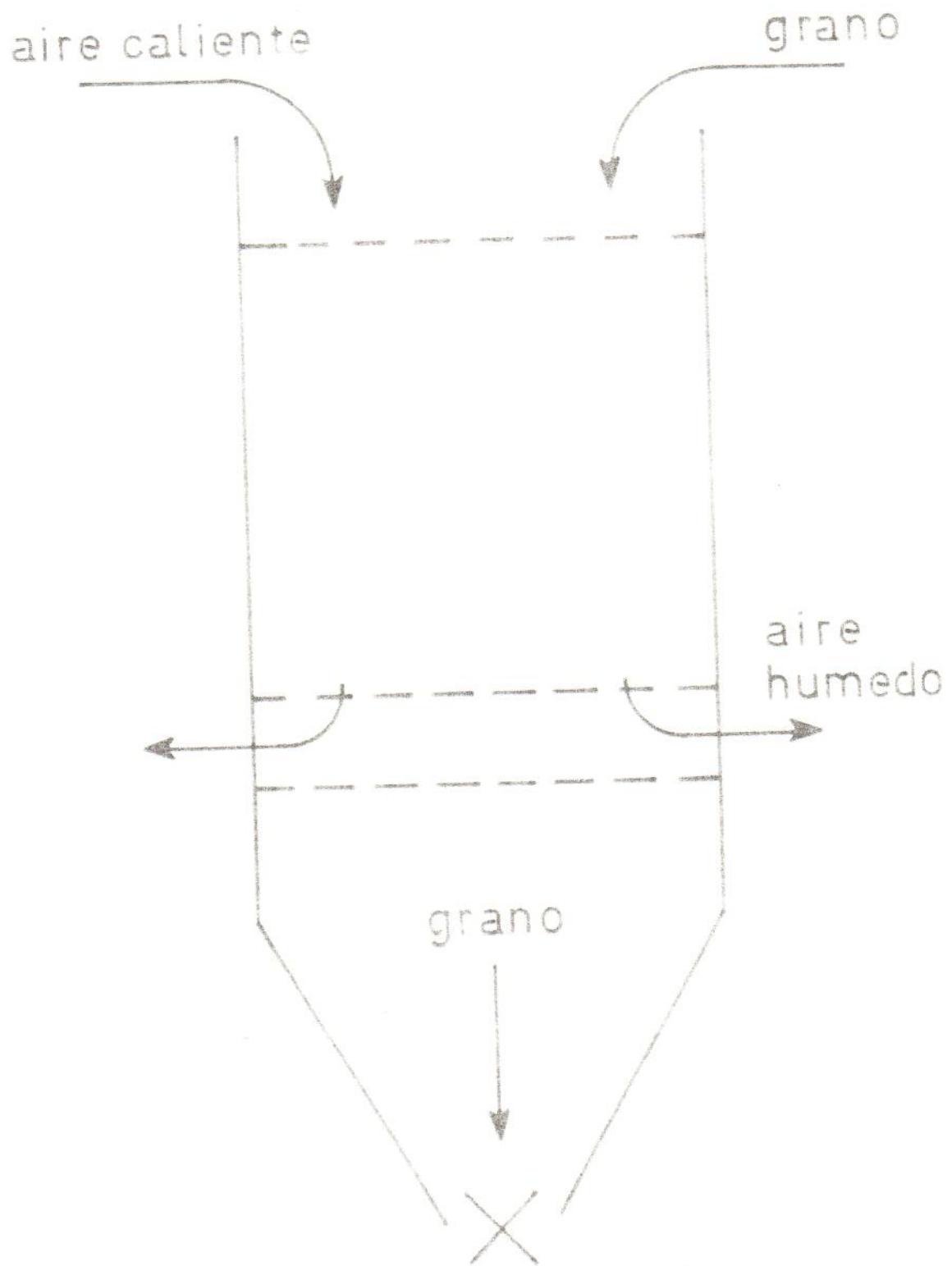


FIGURA 9. Secador concurrente

Esta forma de secado somete a todos los granos al mismo tratamiento, evitando desuniformidad de humedad en la masa de granos típico de secadores convencionales tales como los de batch y columna-cruzado. Esta característica, propia del secador concurrente, se traduce en una mejor calidad del grano seco obtenido (grietas superficiales, fracturas, quemado, daños internos).

Combinación.

1. Seca-aireación (dryeration).

Los granos son secados, primero, en un secador de alta temperatura hasta un 16-17 % de humedad. Posteriormente, en un silo aparte, sigue un período de temperado donde el grano es enfriado lentamente, con un flujo de aire de 0.5 - 1.0 m³/min por m³ de grano. La seca-aireación resulta en un 20 - 25 % disminución en energía y en una mejor calidad del producto. El enfriamiento lento remueve alrededor de dos puntos de humedad, quedando de esta forma el grano con un contenido final de humedad de cerca de 14 %.

2.-Alta - baja temperatura.

Similar a la seca aireación, excepto que el producto es retirado del secador a un contenido de humedad de alrededor de 20 % . La humedad restante es retirada usando un silo secador. El resultado es una reducción de 25 - 30 % en requerimiento de energía. El secado lento y enfriamiento bajo el 20 % de humedad aumenta la calidad del producto seco.

La desventaja de los sistemas combinados es el extra manejo del grano.

A P E N D I C E .

TABLA 2. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA ARROZ PADV

Temperatura °C	Humedad relativa								
	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	13.0	13.6	14.3	15.0	15.7	16.6	17.5	18.7	20.4
10	12.6	13.2	13.9	14.6	15.3	16.1	17.0	18.2	19.8
15	12.2	12.9	13.5	14.2	14.9	15.7	16.6	17.7	19.3
20	11.9	12.5	13.2	13.8	14.5	15.3	16.2	17.3	18.9
25	11.6	12.2	12.8	13.5	14.2	14.9	15.8	16.9	18.4
30	11.4	12.0	12.6	13.2	13.9	14.6	15.5	16.5	18.1
35	11.1	11.7	12.3	12.9	13.6	14.3	15.1	16.2	17.7
40	10.9	11.5	12.0	12.6	13.3	14.0	14.8	15.9	17.4
45	10.7	11.2	11.8	12.4	13.0	13.8	14.6	15.6	17.1

TABLA 3 . HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA TRIGO BLANDO.

Temperatura °C	Humedad relativa %								
	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	12.7	13.3	13.9	14.6	15.3	16.1	16.9	18.0	19.6
10	12.4	13.0	13.6	14.2	14.9	15.7	16.6	17.6	19.2
15	12.1	12.7	13.3	13.9	14.6	15.4	16.2	17.3	18.8
20	11.9	12.4	13.0	13.7	14.3	15.1	15.9	16.9	18.4
25	11.6	12.2	12.8	13.4	14.0	14.8	15.6	16.6	18.1
30	11.4	12.0	12.5	13.1	13.8	14.5	15.3	16.3	17.8
35	11.2	11.8	12.3	12.9	13.6	14.3	15.1	16.1	17.5
40	11.0	11.6	12.1	12.7	13.3	14.0	14.8	15.8	17.2
45	10.8	11.4	11.9	12.5	13.1	13.8	14.6	15.6	17.0

TABLA 4. HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA TRIGO DURO.

Temperatura °C	Humedad relativa								
	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	13.2	13.9	14.7	15.5	16.3	17.3	18.4	19.7	21.7
10	12.9	13.6	14.3	15.1	16.0	16.9	17.9	19.3	21.2
15	12.6	13.3	14.0	14.8	15.6	16.5	17.6	18.9	20.7
20	12.3	13.0	13.7	14.4	15.3	16.1	17.2	18.5	20.3
25	12.0	12.7	13.4	14.2	14.9	15.8	16.8	18.1	19.9
30	11.8	12.5	13.2	13.9	14.7	15.5	16.5	17.8	19.6
35	11.6	12.2	12.9	13.6	14.4	15.2	16.2	17.4	19.2
40	11.4	12.0	12.7	13.4	14.1	15.0	15.9	17.1	18.9
45	11.2	11.8	12.4	13.1	13.9	14.7	15.7	16.9	18.6

TABLA 5. PRESION ESTATICA REQUERIDA EN GRANOS EN MM AGUA/M DE PROFUNDIDAD.

Flujo m ³ /min x m ²	Arroz	Trigo	Maiz
0.5	1.6	2.6	0.6
0.6	2.0	3.2	0.8
0.7	2.4	3.7	0.9
0.8	2.7	4.3	1.1
0.9	3.1	4.9	1.3
1.0	3.5	5.4	1.4
1.5	5.4	8.4	2.3
2.	7.6	11.6	3.3
3	12.3	18.6	5.7
4	17.5	26.2	8.4
5	23.4	34.4	11.5
6	29.7	43.3	15.0
7	36.5	52.9	18.8
8	43.9	63.0	23.0
9	51.7	73.7	27.4
10	60.0	85.0	32.2
11	68.6	97.0	37.3
12	77.8	109.1	42.8

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE AIREACION.

A. Condiciones :

Silo para almacenaje de trigo.

Diámetro D..... 6 m

Altura H..... 8 m

B. Cálculo :

1. área de piso (m²)

$$A = 3.1416 \times \frac{D^2}{4} = 3.1416 \times \frac{6^2}{4} \dots\dots\dots 28.3 \text{ m}^2$$

2. volumen (m³)

$$V = A \times H \quad 28.3 \times 8 \dots\dots\dots 226.4 \text{ m}^3$$

3. flujo de aire (m³/min x m³)

$$Q = V \times q = 226.4 \times 0.1 \dots\dots\dots 22.6 \text{ m}^3/\text{min}$$

q = flujo recomendado.

4. flujo por unidad de área (m³/min x m²)

$$Q_a = \frac{Q}{A} = \frac{22.6}{28.3} \dots\dots\dots 0.8 \text{ m}^3/\text{min} \times \text{m}^2$$

5. presión estática por efecto grano (mm agua).

$$P_H = P_e \times H \quad \text{(ecuación 2)}$$

$$P_e = 4.3 \quad \text{(Tabla 5)}$$

$$P_H = 4.3 \times 8 \dots\dots\dots 34.4 \text{ mm agua}$$

6. presión estática total (mm agua)

$$P_T = P_H + 30 \% \text{ por ductos} + 50 \% \text{ x compactación.}$$

$$34.4 + 34.4 \times 0.3 + 34.3 \times 0.5 \dots\dots\dots 62 \text{ mm agua}$$

7. potencia del ventilador

$$HP = \frac{Q \times P_T}{4500 \times E_f} \quad (\text{ecuación 1})$$

$$\frac{22.6 \times 62}{4500 \times 0.6} \dots\dots\dots .52$$

8. ducto de distribución de aire.

Para su dimensionamiento se asumió la distribución observada en la Figura

$$l = \text{largo superficie perforada} = 2 \times 4,5 \dots\dots\dots 9 \text{ m}$$

$$A_s = \text{área superficie perforada} = 0.28 \times 9 \dots\dots\dots 2.5 \text{ m}^2$$

V_s = velocidad de salida del aire del ducto.

$$V_s = \frac{Q}{A_p} = \frac{22.6}{2.5} \dots\dots\dots 9 \text{ m/min}$$

V_d = velocidad en el ducto

$$V_d = \frac{Q/2}{\text{área}} = \frac{22.6/2}{.28 \times .25} \dots\dots\dots 161.4 \text{ m/min}$$

9. ducto de alimentación de aire.

$$\text{ancho} = .3 \text{ m}$$

$$\text{alto} = .25 \text{ m}$$

$$\text{área} = .3 \times .25 \dots\dots\dots 0.075 \text{ m}^2$$

$$\text{velocidad} = \frac{Q}{\text{área}} = \frac{22.6}{.075} \dots\dots\dots 301.3 \text{ m/min}$$

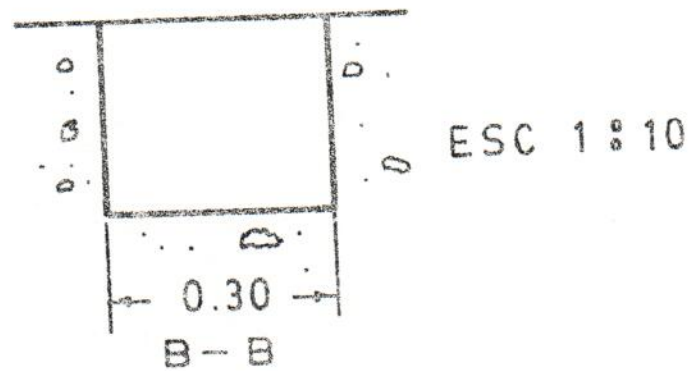
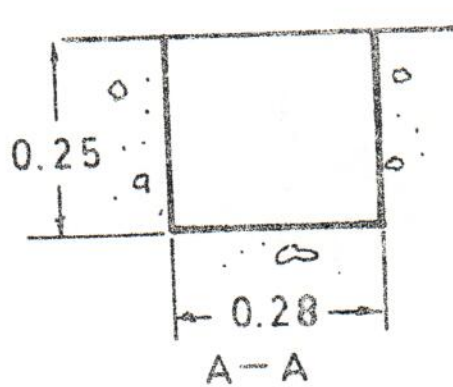
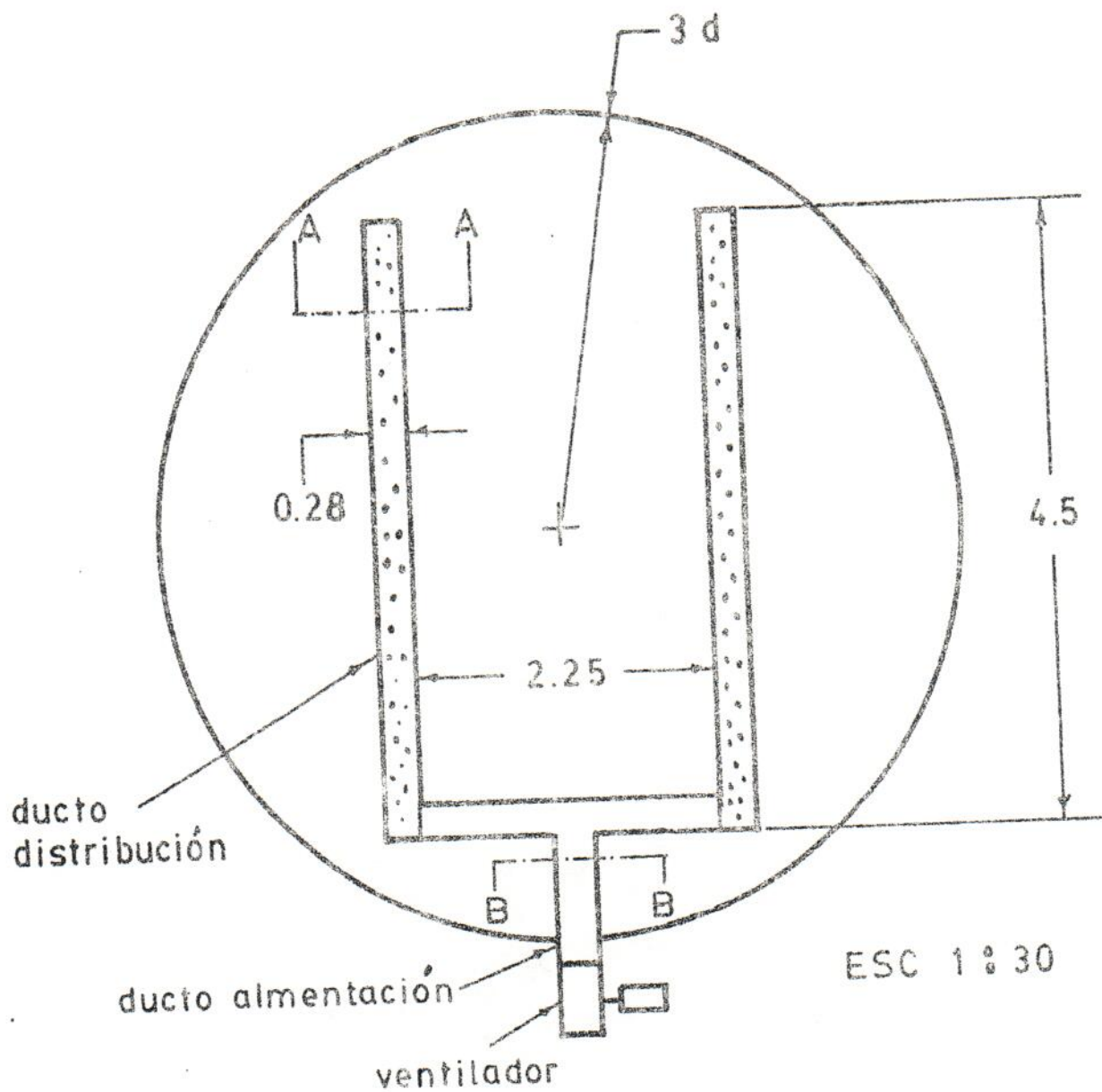


FIGURA 10. Distribución de ductos

REFERENCIAS .

- 1.- ASAE. 1984. ASAE Standards. St. Joseph, Michigan, U.S.A.
- 2.- Brook R.C. 1979. Grain drying methods. Agricultural Engineering, Michigan State University. AEIS N°393.
- 3.- Carl L. y Druken L. 1976. Small farm grain storage. Action/Peace Corps. Manual serie number 35E.
- 4.- Hall C.H. 1980. Drying and storage of agricultural crops. AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.

