MANUAL DE SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS

por

Norton C. Ives

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Turrialba, Costa Rica

Noviembre de 1951

Lehmann 1[illegible]

MANUAL DE SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS

por

Norton C. Ives

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Turrialba, Costa Rica

Noviembre de 1951

TABLA DE MATERIAS

	Página
Introducción	
Parte I- SECAMIENTO DE GRANOS	
Necesidad de incrementar el almacenamiento en las regiones ecuatoriales	1
Causas del deterioro de los granos	1
Selección de granos y clases en el mercado	2
El control de los mohos en los granos	3
Relaciones sobre el equilibrio de humedad entre el grano y el aire	4
Humedad relativa versus desarrollo de mohos	5
Contenidos de humedad granular- Su medida	5
Humedad de los granos en tiempo de cosecha	7
Cargas de secamiento	8
Algunos principios básicos del secamiento de granos	8
Como funciona el aire desecante-Algunos principios psicrométricos	9
Razones de secamiento	13
Control de calidad durante el proceso de secamiento	15
Métodos de secamiento	16
Secamiento en el campo	16
Secamiento al sol	17
Secadores domésticos pequeños	17
Ventilación natural	17
Aire atmosférico mecánicamente impulsado	18
Sistemas de secado con aire artificialmente calentado y forzado	18
Generadores de aire calentado o impulsado mecánicamente	19
Abanico	19
Resistencia del grano al flujo del aire	19
Control especial de la descarga y temperatura del aire	20
Unidades Comerciales	22
Descripción general	22
Abanico	22
Motor eléctrico	23
Motor de gasolina	23

Con't Tabla de Materias Página

Quemador 23
Secador de calentamiento directo 23
Secador de calentamiento indirecto 23
Seguridad 24

Hornillas de madera o sub-productos 25
Sistemas para manipular el aire y el grano 25

Secadores contínuos 25
Secadores de troja 25
Secadores de granos en sacos 26
Secado en trailers o carros a remolque 26
Secadores de columna estacionaria 27
Secadores por cargas 27

Secado y almacenamiento a granel 28

Pisos falsos perforados 29
Fluses en la masa de granos 29
Secamiento progresivo en un sistema a granel 30

Cálculo del calor y tiempo de secado requeridos 30
Un método aproximado para estimar la capacidad secadora de un sistema propuesto 31

Ejemplo ilustrativo 32

Limitaciones en la cantidad de aire contra eficiencias en la utilización del calor 32
Capacidad desecante del aire 33
Cargas de secamiento 34
Abanico, motor y quemador 34

Parte II- ALMACENAMIENTO DE GRANOS EN REGIONES CALIDAS Y HUMEDAS

Requisitos funcionales para el almacenamiento sin peligro 37

Alto contenido de humedad 38
Temperaturas elevadas 40
Medida de la temperatura en granos almacenados 41
Control de insectos 41
Secamiento hasta una baja humedad 42
Tratamiento al calor 43
Fumigación 43
Seguridad 45

Con't Tabla de Materias Página

Insecticida 45
Almacenamiento hermético 46
Construcciones a prueba de insectos 46
Pérdidas por derrames o robos 46
Inspección 47
Tratamiento 47
Traslado de granos 47

Tipos de almacenamiento 49

Sistemas caseros de acondicionamiento y almacenamiento 50

Gabinete doméstico para secar y almacenar 51
Preparación de bloques desecantes 52
Clase de madera 52
Reducción de humedad por lote de bloques desecantes 52

Estructuras grandes para el acondicionamiento y almacenamiento de granos 53

Trojas bajas vs. trojas profundas 53
Requisitos económicos de unidades grandes 53
Requisitos estructurales 54

Fundaciones 54
Pisos 55
Paredes 55
Techos 56

Sistemas de trojas bajas 56
Almacenamiento hermético 58
Bodegas subterráneas 59

Bibliografía 60

LISTA DE FIGURAS

		Página
1.	Curvas de equilibrio de humedad y depresión del punto de rocío	4-A
2.	Probador del punto de rocío	6-A
3.	Gráfico psicrométrico esquemático	9-A
4.	Gráfico psicrométrico con problema ilustrativo	11-A
5.	Características del abanico axial	19-A
6.	Características del abanico radial (con aletas hacia adelante)	19-B
7.	Características del abanico radial (con aletas hacia atrás)	19-C
8.	Curvas de descarga de un abanico	19-D
9.	Flujo de aire a través del grano	20-A
10.	Hornos para leña	25-A
11.	Secadores de flujo contínuo	25-B
12.	Sistema de secamiento en sacos	26-A
13.	Sistema de secamiento con trailers de 2 y 4 ruedas	26-B
14.	Secador de columna estacionaria	27-A
15.	Elevador portátil de faja	27-B
16.	Secadora por cargas y manómetro	28-A
17.	Secador de aire reversible para maíz en mazorca	28-B
18.	Secadora de trojas gemelas para maíz en mazorca	28-C
19.	Troja para secar y almacenar a granel	29-A
20.	Troja ventilada de madera para almacenamiento	29-B
21.	Gabinete doméstico para secar y almacenar granos	52-A
22.	Cargas y capacidades de graneros cilíndricos- Presión vertical unitaria	55-B
22-A	Cargas y capacidades de graneros cilíndricos- Carga vertical en la pared	55-C
23.	Cargas y capacidades de graneros cilíndricos- Presión lateral unitaria	55-D
23-A	Cargas y capacidades de graneros cilíndricos- Tensión en la pared	55-E
24.	Diámetros equivalentes de trojas rectangulares	55-F
25.	Construcción de uniones entre piso y pared	55-G
26.	Construcción de paredes en los graneros	56-A
27.	Graneros bajos de techo redondo	57-A
28.	Central de secado y almacenaje- Trojas pequeñas	57-B
29.	Unidad comunal de secado y almacenaje	58-A

LISTA DE TABLAS

		Página
I.	Humedad granular de maíz en mazorca dejado en mata en un campo de Turrialba	7-A
II.	Cargas de secamiento	7-A
III.	Cantidades máximas de aire apropiadas para secadoras por cargas o a granel, para eficiencias térmicas buenas y para 4 temperaturas del aire desecante y 2 contenidos de humedad granular inicial	33
IV.	Dosajes de algunos fumigantes de granos recomendados en bodegas cerradas	44-A
V.	Preparación y capacidad desecante de bloques de madera	50-A
VI.	Algunas propiedades físicas de los granos	55-A
VII.	Profunidades de granos que pueden soportar las vigas de piso y las cimbras, de acuerdo con sus tamaños y espaciamientos	55-H

INTRODUCCION

La preservación de granos en almacenamiento precedió, probablemente, el desarrollo de las civilizaciones. Las escrituras bíblicas registran la historia, frecuentemente relatada, de José en Egipto y del maíz u otros granos para hacer pan que se conservaban por siete años en bodegas de las ciudades de todo el país. Este evento data de alrededor del año 1700 A.C.

El almacenamiento de granos en cantidades mayores no se ha propagado en las zonas ecuatoriales, a través de los tiempos, tanto como en las regiones templadas. Investigaciones preliminares demuestran que existe una aparente relación entre la falta de almacenamiento organizado de granos y el grado de retraso cultural o económico de una zona.

Los países de la América Ecuatorial están experimentando una creciente necesidad de que se introduzcan y popularicen métodos modernos de preparación de alimentos para su distribución en el mercado. Primordial entre estas necesidades es la de proveer mejores procesos y estructuras de almacenamiento. El éxito en la conservación de granos en las regiones cálidas y húmedas de la América Ecuatorial, depende en gran parte del acondicionamiento apropiado de los granos que se desean almacenar. Los problemas causados por la excesiva humedad y los insectos demandan una acción enérgica.

Los sistemas de preparación, almacenamiento y distribución de granos que resulten mejores para estas regiones, pueden o no correr paralelos a los que se han implantado en otras partes del mundo. Cierto criterio fundamental, no obstante, tiene desde luego que mantenerse, tal como el valor o importancia de acondicionar los granos a la mayor brevedad posible después de cosechados, y la necesidad aparente de métodos simples y de bajo costo, si es que el productor rural ha de usarlos.

Probablemente nunca podrá encontrarse un sistema que satisfaga las múltiples y variables condiciones existentes. Se requieren facilidades para los pequeños productores que trabajan manualmente, en forma individual y en forma comunal o cooperativa, y para los productores que están introduciendo maquinaria agrícola en los trópicos bajos, donde mucho depende de un secamiento adecuado y un almacenamiento a corto plazo.

El tipo y tamaño requeridos de graneros urbanos dependerá, en gran parte, de la cantidad y sistemas de almacenamiento rural en uso.

Un programa de provisión siempre normal de granos en la América Ecuatorial puede depender en mucho del adecuado acondicionamiento de los granos y de las técnicas y facilidades de almacenamiento que se establezcan en las zonas rurales adyacentes a las fincas productoras. Es con la situación y criterio descritos en mente, que se hace énfasis en este manual sobre métodos relativamente simples y económicos que, sin embargo, cumplen substancialmente la función de conservar los granos.

Muchos de estos sistemas son nuevos en estas regiones, y algunos no se han empleado en el campo por personas carentes de especial preparación. Dichos sistemas deben ser introducidos en forma un tanto experimental por personas con conocimientos adecuados de los principios fundamentales y los problemas implicados, de tal modo que cualesquiera modificaciones sugeridas por dificultades prácticas se ejecúten de manera que no alteren los requisitos básicos de funcionamiento.

Se abriga la esperanza de que este manual se haya escrito de un modo comprensible para cualquier estudiante, no importa cual sea su preparación anterior. Aunque se ha puesto especial énfasis en los requisitos funcionales y principios fundamentales, varios métodos de valor práctico también se sugieren y describen.

Se ha hecho uso irrestricto de la abundante literatura que sobre esta materia existe para zonas templadas del mundo, y se incluye como apéndice una bibliografía selecta para cualquier estudiante que desee profundizar sobre algún aspecto de esta ciencia.

Varias personas han contribuído a la organización y preparación de este manual. El autor desea extender un reconocimiento especial a Gregorio Alfaro, Alvaro Jenkins y Eduardo Jenkins, todos pertenecientes al personal de ingenieros del Instituto de Ciencias Agrícolas, quienes ayudaron grandemente en la traducción al español, la preparación de las ilustraciones y la ejecución de parte del trabajo experimental a que se refiere este texto.

Septiembre de 1951 Norton C. Ives

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas
Turrialba, Costa Rica

MANUAL DE SECADO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS

por
Norton C. Ives

NECESIDAD DE INCREMENTAR EL ALMACENAMIENTO EN LAS REGIONES ECUATORIALES

Los cereales pueden conservarse con relativa facilidad en almacenamiento, siempre que estén secos y libres del ataque de los insectos y que sea posible mantenerlos en tales condiciones. La facultad de almacenar granos naturalmente secos ha tenido gran influencia en el desarrollo de la agricultura y la evolución de la cultura. Los primeros núcleos de civilización se desenvolvieron en las regiones secas del mundo, donde la naturaleza se encargaba por sí sola de secar los granos, haciéndolos aptos para el almacenamiento.

El problema de la conservación de granos en las zonas ecuatoriales, húmedas y calientes, se debe primordialmente a la falta general de secamiento natural en los granos durante el tiempo de la cosecha y a las condiciones imperantes, que son favorables a la propagación de los distintos insectos. La carencia de facilidades para el almacenamiento de granos en estas regiones puede explicarse por las condiciones climatéricas prevalentes. Ellas hacen difícil el almacenamiento en gran escala y, por otra parte, alivian la necesidad del mismo, puesto que es posible obtener dos o más cosechas al año. El incremento de la población y el avance de la cultura en estos lugares han creado la necesidad de una superior producción, conservación y distribución de granos. Por eso, gústenos o no, el problema ocasionado por los granos húmedos y por el ataque de los insectos se presenta en los trópicos en forma mucho más grave que en las partes más secas y frías del mundo, donde el almacenamiento se ha venido perfeccionando desde tiempos inmemoriales.

CAUSAS DEL DETERIORO DE LOS GRANOS

Un grano es un organismo vivo. Los cereales son semillas cuya vida se encuentra en estado latente. La presencia de tal forma de vida ofrece resistencia a los agentes causantes de la pudrición. En los granos secos, el ritmo lento de este existir hace de ellos material muy adecuado para el almacenamiento. El grado de actividad vital depende grandemente del contenido de humedad y de la temperatura. Una semilla colocada en una atmósfera caliente y saturada, como la existente en un suelo apto para la germinación, desarrolla inmediatamente si contiene un germen vivo.

Otras formas de vida existen simultáneamente en los granos. Los hongos y las bacterias se encuentran generalmente presentes en la superficie y el interior de la semilla y en el espacio intersticial. También estas formas de vida se encuentran en estado latente a temperaturas y humedades bajas, activándose con el aumento de la humedad y el calor.

De gran significación es el hecho de que los hongos y las bacterias pueden empezar a propagarse en forma acelerada cuando el aire circundante no está aún saturado o sea que tiene una humedad relativa menor de 100%. En efecto, se ha encontrado que los mohos son primordialmente los responsables de la respiración, calentamiento y deterioro químico de los granos húmedos tal como comúnmente se encuentran en el mercado. Por esta razón, el crecimiento de mohos en los granos causa la muerte del gérmen, marcada elevación de la temperatura y destrucción del valor alimenticio del producto.

Es interesante mencionar que la vida activa de los mohos mismos genera calor que causa elevaciones de la temperatura en los granos húmedos, y que el calentamiento espontáneo depende de la formación de una temperatura inicial provocada usualmente por la actividad de mohos en una masa grande de material húmedo.

El deterioro de los granos puede o no determinarse por la observación o por el olor. El deterioro temprano ó inicial generalmente no puede descubrirse por la percepción humana, y mucho daño se ha causado ya antes de que sea posible determinarlo por una manifestación externa aparente. Los cambios que pueden efectuarse y que se pueden medir por técnicas y facilidades especiales de laboratorio, son: (1) la pérdida del poder germinativo: (2) cambios químicos como el aumento en la acidez grasa y azúcares reductores: (3) pérdida de materia seca y disminución de las cualidades nutritivas. Tal vez el camino más fácil para determinar la buena calidad del grano es medir su poder germinativo. Generalmente es cierta la afirmación de que la calidad del grano no se ha deteriorado apreciablemente si éste todavía posee poder germinativo. La germinación baja no es, sin embargo, índice de un serio deterioro, puesto que el gérmen muere usualmente al iniciarse el desarrollo de los mohos.

SELECCION DE GRANOS Y CLASES EN EL MERCADO

Es necesario establecer un lenguaje comercial que defina la clase, calidad y condición de los lotes de granos cuando éstos se envían al mercado de manera que los vendedores y compradores puedan negociar sin el examen personal del grano o el intercambio de muestras. En la mayoría de los países se han redactado leyes especiales para el tráfico de granos.

Dicha legislación generalmente contempla: (1) establecimiento de patrones oficiales para granos: (2) extensión de licencias y supervisión del trabajo de los inspectores de granos: (3) libertad para

apelar los grados asignados por los inspectores. El Depto. Nacional de Agricultura está autorizado para hacer investigaciones y para establecer patrones nacionales para la mayoría de los granos comunes.

Algunos de los factores que se usan para ayudar a establecer las clases o grados de los granos son: (1) material extraño, incluyendo semillas de malas hierbas y otros granos e insectos: (2) granos dañados: (3) granos quebrados o reventados: (4) prueba de peso por unidad de volumen: (5) contenido de humedad: (6) olor, y (7) color. Métodos para obtener muestras y medir los diversos factores de calidad han sido establecidos, con valores y tolerancias para las distintas clases de granos y mercados.

El uso de un solo análisis químico, v.g. el contenido de acidez grasa, ha sido ampliamente estudiado y tiene gran valor práctico para la determinación en cualquier momento del grado de deterioro de granos en almacenamiento.

EL CONTROL DE LOS MOHOS EN LOS GRANOS

Puesto que los mohos se encuentran presentes en todos los granos y su crecimiento es la causa principal del rápido deterioro de éstos, lo primero que debe hacerse en el acondicionamiento de los productos es impedir o prevenir el desarrollo de los mohos. No es necesario exterminarlos, ya que no es posible hacerlo efectivamente sin matar antes el germen del grano. El mantenerlos en un estado latente es suficiente para prevenir daños.

Para el crecimiento de los mohos son necesarias condiciones apropiadas de temperatura y humedad. Por esta razón, uno de los dos o los dos factores pueden usarse para su control. Afortunadamente, no es necesario emplear el control de temperatura o almacenamiento en frío para conservar los granos. Este tipo de almacenamiento en las regiones cálidas del mundo requeriría una fuente constante de energía para mantener una diferencia de temperatura adecuada a través de las paredes de los graneros. En los lugares templados del mundo, las temperaturas bajas de los meses de invierno, lo mismo que los ciclos fríos nocturnos del otoño y primavera, se usan con excelente ventaja para impedir el desarrollo de los mohos hasta que el lento secamiento natural surta efecto. Esta ayuda proveniente de temperaturas continuadas o cíclicas no es posible obtenerla en la mayoría de las zonas tropicales. Por eso, desde un punto de vista práctico, es necesario atenerse casi enteramente al control de la humedad. Las posibilidades del almacenamiento hermético se discuten en la página 57.

La cantidad máxima de humedad que un grano puede contener sin que ocurra aún la reproducción de mohos, depende principalmente de su clase, el tipo de hongos presentes y las temperaturas prevalentes. Para entender aún mejor el efecto cuantitativo de la humedad con relación a la facilidad de desarrollo de los mohos en los granos, es necesario adquirir una idea bien clara de las relaciones entre la humedad en el grano y la del aire que lo rodea, bajo la "condición de

RELACIONES SOBRE EL EQUILIBRIO DE HUMEDAD ENTRE EL GRANO Y EL AIRE

La Fig. 1 muestra las relaciones existentes entre el contenido de humedad de diferentes granos y la humedad relativa (en forma de vapor) del aire circundante, cuando ambos medios se encuentran en una condición de equilibrio o balance. Este balance puede considerarse como un equilibrio de energía, no como una igualdad de cantidades de humedad. Por ejemplo, cuando maíz desgranado con un 13% de humedad (13% de agua y 87% de materia seca) se coloca en un recipiente cerrado, tal como un granero, el aire intergranular adquirirá al tiempo el nivel de humedad correspondiente a la condición de equilibrio, el cual según la figura 1 es de 61.5% de humedad relativa. Cambios en la temperatura del grano afectan este valor muy poco. Para temperaturas entre 68 y 86o F la humedad relativa de equilibrio, para cualquier grano con una cierta humedad, está aproximadamente dada por las curvas en la figura 1.

Ahora bien, si la humedad del grano controla el vapor en el aire, o viceversa, depende de cuál predomina: si la del grano o la del aire intersticial. En almacenamiento donde casi no existe o no existe del todo la circulación de aire, la humedad del grano dominará en alto grado, como los siguientes cálculos simples demuestran. En un volumen dado de maíz en grano, digamos un pie cúbico, 0.6 del espacio está ocupado por los granos y 0.4 por el aire (o mezcla de aire y vapor). Ahora, 13% de humedad por peso en maíz corresponde a 15.5% por volumen de los granos, lo cual multiplicado por 0.6 representa 9.3% del espacio total. Para un pie cúbico esto representaría 5.8 libras de agua. El peso real del vapor de agua en 0.4 pies cúbicos de aire a 77o F. y con 61.5% de humedad realtiva es de 0.00036 libras. Así pues, bajo condiciones de equilibrios el maíz tiene alrededor de 16,000 veces más agua que el aire intersticial a su alrededor. La humedad granular se encuentra en estado líquido y puede considerarse como parcialmente ligada a las miríadas de pequeñas partículas que componen los granos de maíz.

Puede hacerse que el aire domine únicamente si se pasan a través del grano grandes cantidades de aquel a una humedad relativa más baja (si se desea secar) que la correspondiente a una condición de equilibrio. La tendencia de la humedad granular de llegar a un balance con el aire de humedad relativa reducida, producirá evaporación de agua en la superficie del grano, ocasionándose así una migración de humedad desde el interior del grano hasta su superficie, precisamente el proceso que ocurre en el secamiento. Naturalmente, como el aire absorbe el agua, su humedad relativa se eleva, y por esta razón se le debe renovar continuamente. El secamiento ocurrirá hasta que el grano alcance una condición de equilibrio con el aire desecante, o viceversa.

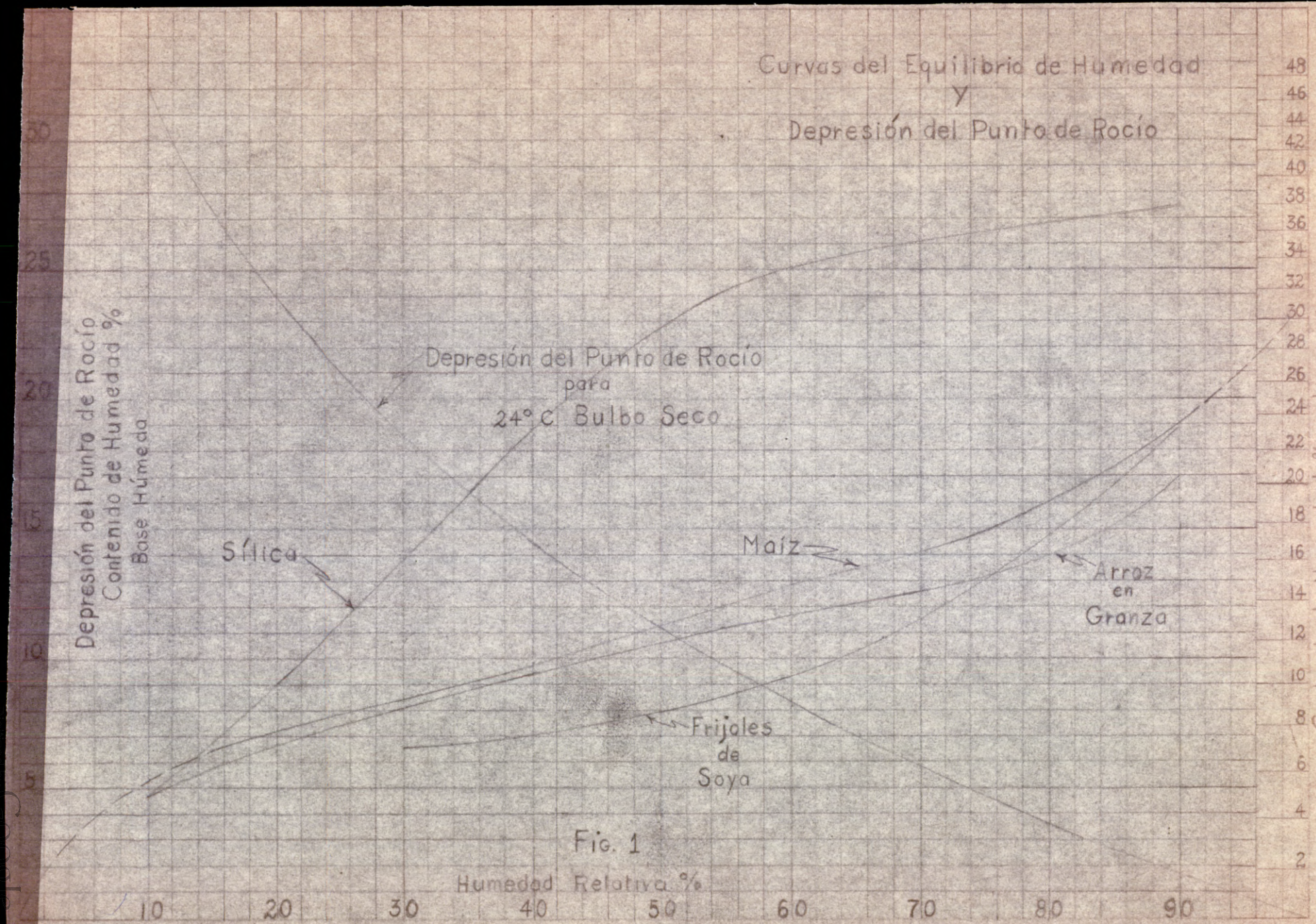

Curvas del Equilibrio de Humedad
y
Depresión del Punto de Rocío
Depresión del Punto de Rocío
Contenido de Humedad %
Base Húmeda
Contenido de Humedad % - base seca
Depresión del Punto de Rocío
para
24° C Bulbo Seco
Sílica
Maíz
Arroz
en
Granza
Frijoles
de
Soya
Humedad Relativa %
10
20
30
40
50
60
70
80
90
5
10
15
20
25
30
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46
48

Fig. 1

HUMEDAD RELATIVA VERSUS DESARROLLO DE MOHOS

Como se dijo anteriormente, ciertas condiciones de humedad son necesarias para que puedan propagarse los mohos. Con humedad inferior a un nivel dado, los mohos no se multiplican. A las temperaturas normales, la humedad relativa del aire es la que determina si los mohos pueden o no crecer, y si lo hacen, cuan rápidamente. El valor crítico sobre él cual puede ocurrir propagación rápida es 75% de humedad relativa. Sin embargo, para un prolongado tiempo de almacenamiento (dos a cinco años), se ha demostrado que hongos dañinos pueden desarrollarse con humedades relativas hasta de un 65%. Es sabido desde hace tiempo que granos diferentes necesitan diferentes contenidos de humedad para mantenerse en buenas condiciones cuando almacenados. No obstante, se ha comprobado que existe un valor de la humedad relativa, común para todos los granos, debajo del cual no pueden prosperar los mohos. Pueden verse en la figura 1 los límites seguros de humedad, para los diversos granos y para almacenamiento a largo plazo, tal como se han determinado aproximadamente por medios empíricos, y que corresponde a un valor común de aproximadamente 60% de humedad relativa.

Lógicamente se discierne, por lo tanto, que una medida directa de la facilidad de desarrollo de los mohos en los granos por almacenar, sería una determinación de la humedad relativa del aire intersticial en equilibrio con los granos. La manera convencional de medir el contenido de agua en los granos, para un producto dado, indicará cual ha de ser la humedad relativa del aire que una condición de equilibrio en el almacenamiento demanda. Conociendo las relaciones que se muestran en la figura 1, con la medida de uno de estos factores se averigua el otro.

CONTENIDOS DE HUMEDAD GRANULAR - SU MEDIDA

Es muy difícil determinar con exactitud la cantidad de agua en una muestra de granos. Sin embargo, el conocimiento de las condiciones de humedad en un lote de granos es de importancia primordial para su acondicionamiento y almacenamiento. Se han perfeccionado varios métodos o instrumentos en uso corriente. Ciertos de estos procedimientos han resultado bastante exactos y han sido aceptados como oficiales en el comercio de granos.

Los tres métodos más comúnmente empleados en el laboratorio y en instalaciones comerciales son: el método de horno, el de destilación, y el eléctrico. En el primero, usualmente, se muele la muestra y se calienta luego por un período prescrito de tiempo entre 100 y 105°C y a la presión atmosférica o bajo un vacío parcial. La diferencia de peso antes y después del proceso, se asume que es agua. En el método más común de destilación, el Brown-Duval, se cubre la muestra con un aceite especial y se calienta a una temperatura considerablemente superior a 100°C. Los vapores que se desprenden, se condensan y colectan. La cantidad de agua se lee entonces directamente por medio de una probeta graduada. Cualquiera de estos métodos

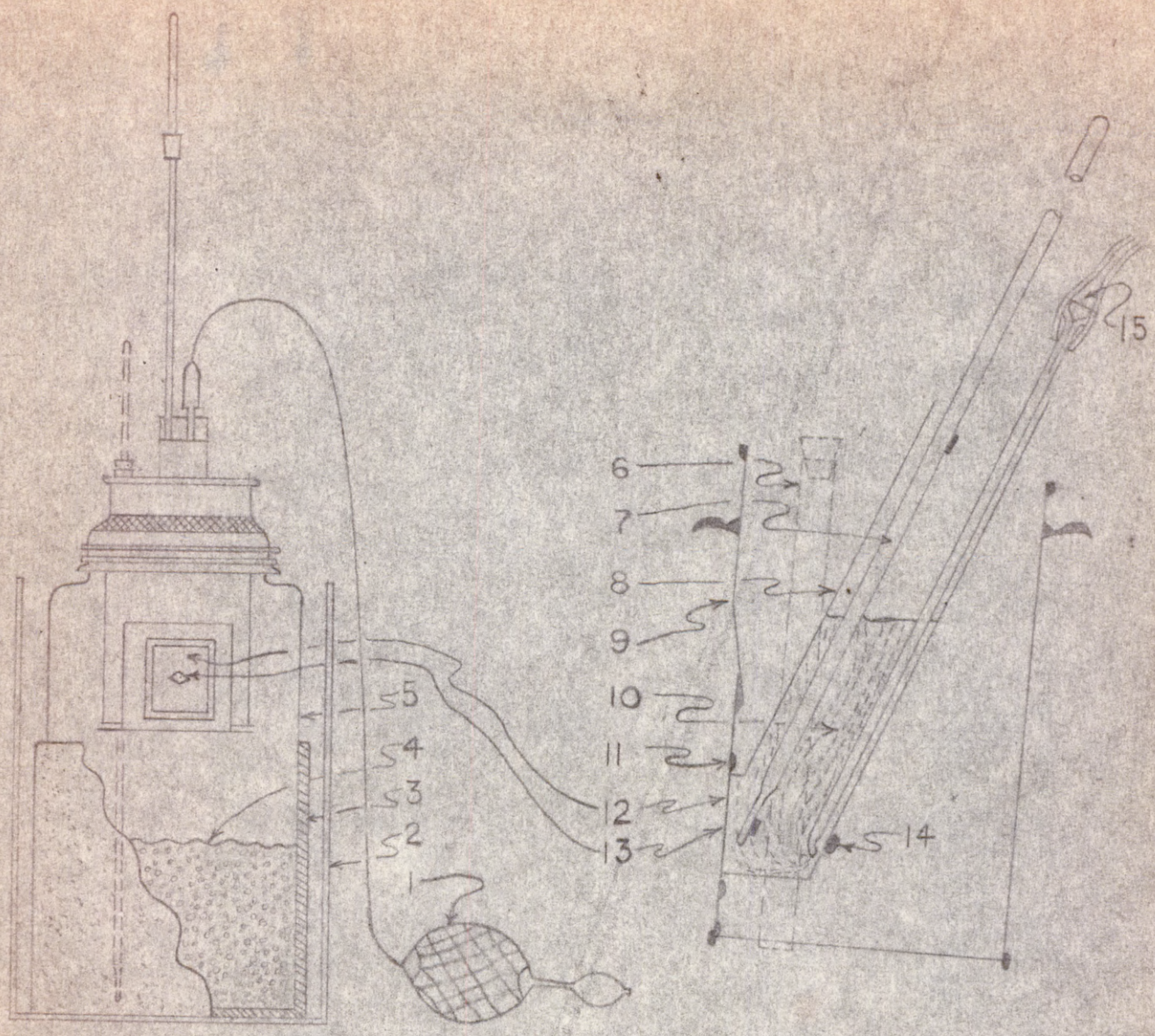
dará resultados fehacientes únicamente si se sigue el procedimiento especificado paso por paso. Los probadores comerciales que empleen estos métodos, por consiguiente, están diseñados y construídos de tál modo que se eliminen los errores accidentales, dentro de lo posible, por medio de procedimientos simplificados y controles automáticos. Es dudoso, sin embargo, que cualquiera de los métodos pueda medir exactamente la humedad inicial del grano. La oxidación, que forma agua, y la volatilización de aceites, por ejemplo, son aceleradas ambas a temperaturas altas.

Dos unidades comerciales populares, el Tag Heppenstall y el Steinlite, la primera basada en la resistencia a la electricidad y la segunda en la constante dieléctrica, ofrecen muchas ventajas prácticas, ya que se necesita solamente uno o dos minutos para efectuar la prueba. Los dos requieren calibración, sin embargo, y están sujetos a error en este respecto. Ambos son relativamente caros, lo que generalmente limita su uso a instalaciones grandes.

Métodos o aparatos diferentes dan contenidos de humedad diferentes. Se ha establecido como práctica, por lo tanto, al reportar contenidos de humedad, el especificar el método y procedimiento seguidos en los ensayos.

Se han hecho varios intentos para medir la humedad relativa del aire intersticial en vez del contenido de agua del grano. Este método puede o no demandar equipo costoso, dependiendo del grado de exactitud deseado. El autor ha desarrollado un aparato sencillo y de bajo costo para medir la humedad relativa de una mezcla de granos y aire. Según el cuidado que se tome al hacer la determinación, puede rendir una exactitud de aceptable a buena.

Uno de estos aparatos hecho a mano se muestra en la figura 2. El paso de una corriente constante de aire a través de un líquido refrigerante, (como acetona, que se enfría rápidamente por evaporación), enfría el recipiente interior y el termómetro con una rapidez controlada por la cantidad de aire que deje pasar el orificio de entrada. La temperatura al primer signo de condensación en la superficie cromada y pulida es la temperatura del punto de rocío del aire confinado, el cual ha sido llevado a una condición de equilibrio con el grano, o aproximadamente así, al mezclar bien la muestra con el aire. Esto puede conseguirse dándole vuelta al frasco, cerrado con una tapa corriente, durante unos dos minutos, despaciosamente para prevenir calentamiento interno, y permitiendo luego que dicha mezcla repose por algunos minutos. La muestra de granos y el frasco deben encontrarse a la misma temperatura al comienzo de la prueba, y no debe permitirse que ocurra cambio alguno durante el proceso. Se introduce entonces en el recipiente la unidad del punto de rocío, y este valor se determina como se explica anteriormente. Para mayor exactitud pueden tomarse varias lecturas sin remover la muestra. El agua caliente es un medio conveniente para calentar el recipiente interior entre las lecturas.



1. Jeringa y vejiga de un psicrómetro
2. Recipiente exterior usado como aislante solamente - conveniente cuando una serie de lecturas tiene que ser tomada
3. Forro aislante - cuando un frasco de pared simple es usado
4. Nivel aproximado de la muestra en el frasco
5. Frasco de medio galón con boca ancha
6. Tubo de cobre para tomar la temperatura del grano con un termómetro
7. Termómetro de vidrio con escala
8. Recipiente para el refrigerante
9. Recipiente exterior de pared de metal para el higrómetro del punto de rocío
10. Refrigerante (acetona)
11. Unión no-higroscópica, impermeable al vapor de agua y aislante
12. Superficie de condensación, cromada, bien limpia y pulida
13. Area tratada y en forma de rombo-invisible antes de la condensación
14. Unión de metal para fijar mecánicamente el recipiente del refrigerante al recipiente exterior
15. Orificio medidor del aire aspirado-aguja hipodérmica No.20, para acetona

FIG. 2 PROBADOR DEL PUNTO DE ROCIO

La diferencia entre la temperatura del punto de rocío y la de la muestra de granos, medidas con el mismo termómetro, se llama la "depresión del punto de rocío". La curva A en la figura 1 muestra la relación entre dicha depresión y la humedad relativa, para una temperatura del grano de 24oC (bulbo seco). En la práctica, la pequeña variación de la humedad relativa que causa una depresión dada del punto de rocío, para temperaturas del bulbo seco desde 18 a 30oC es tan poca que puede ignorarse con error despreciable.

Así pues, una depresión de 5oC delata que el grano está en una condición crítica, donde un aumento de humedad en cualquier porción del grano cuasaría de inmediato el desarrollo de mohos. Si se conceden a algunos de los mohos dañinos varios meses en condiciones favorables de temperatura (20 a 30oC), se desarrollarán con humedades relativas hasta de 65%, lo que corresponde a una depresión del punto de rocío de 7oC. Por consiguiente, una depresión de 8oC puede considerarse como deseable para cualquier grano por almacenar. Una depresión de 10oC proporcionaría un buen margen de seguridad en regiones cálidas y húmedas. Como se explica y discute en la página 42 una depresión de 16oC garantizará no solamente protección contra los mohos, sino que también controlará prácticamente la propagación de insectos.

HUMEDAD DE LOS GRANOS EN TIEMPO DE COSECHA

El secamiento requerido para acondicionar un grano para su almacenamiento seguro depende de su humedad al tiempo de recolectarlo. Esta a su vez depende de un número de factores que incluyen: clase de granos, método de cosecha, tiempo prevalente en la siega, y frecuentemente, costumbres de la región. La recolecta mecánica de la mayoría de los granos usualmente debe efectuarse a humedades superiores a aquellas necesarias para una manipulación y almacenamiento sin riesgos. El arroz, por ejemplo, debe recogerse con una humedad de 20 a 27% para obtener un rendimiento máximo y una cantidad mínima de granos resquebrajados. En las regiones tropicales, el maíz se cosecha generalmente muy poco después de su madurez, para evitar el desarrollo rápido de malas hiervas, los daños por los pájaros, y para hacer campo a la nueva cosecha. La determinación del contenido de humedad al tiempo de cosecha es indispensable en cualquier región para calcular el secamiento necesario. Cuando maduro, el maíz tendrá generalmente de un 35 a un 40% de humedad granular. Mazorcas con humedades mayores de un 25% en el grano, generalmente no pueden desgranarse satisfactoriamente a máquina, unos pocos días de secado en el campo, aún con solamente unas pocas horas diarias de sol, removerán grandes cantidades de agua del grano. La tabla I muestra una serie de observaciones efectuadas en cultivos en Turrialba. Nótese que diez días de secamiento en el campo redujeron la humedad de un 35 a un 24%. A este contenido de humedad el maíz puede recogerse con una máquina que al mismo tiempo lo desgrana o puede desgranarse después de recogido y antes de secarlo. La carga de secamiento, o las libras de agua a remover por cada 100 libras de grano seco resultante, puede reducirse grandemente con tal secamiento parcial en el campo y el desgrane subsecuente, en comparación

TABLA I

HUMEDAD GRANULAR DE MAIZ EN MAZORCA DEJADO EN MATA EN UN CAMPO DE TURRIALBA

Fecha	Jul. 7	Jul. 10	Jul. 17	Jul. 31	Ag. 7	Sot. 7	Oct. 6	Nov. 9	Dic. 7
Porcentaje de humedad b.h.	35%	28%	24%	20%	18%	17%	17%	16.5%	16.7%

TABLA II

CARGAS DE SECAMIENTO

Humedad Inicial del Grano. (% base húmeda)	CARGAS DE SECAMIENTO Lbs. de agua por 100 lbs. de grano seco, para secado hasta 12% de humedad, base húmeda.			PESOS Lbs. de grano o mazorcas necesarias para dar 100 lbs. de grano a 12% de humedad		
	Cualquier grano	Maíz en mazorca N° 5	Maíz en mazorca N° 10	Cualquier grano	Maíz en mazorca N° 5	Maíz en mazorca N° 10
	LIBRAS					
12%	0.0	0.0	0.0	100.0	119	125
14%	2.3	3.2	3.4	102.3	122	128
16%	4.7	7.2	7.3	104.7	126	132
18%	7.3	11.8	12.3	107.3	131	137
20%	10.0	16.4	17.5	110.0	135	142
22%	12.8	21.3	23.3	112.8	140	148
24%	15.8	26.7	29.3	115.8	146	154
26%	19.0	32.0	35.1	119.0	151	160
28%	22.2	37.2	41.3	122.2	156	166
30%	25.8	42.7	47.3	125.8	162	172
32%	29.4	48.2	54.1	129.4	167	179
34%	33.4	54.0	60.8	133.4	173	186
* 36%	37.5	59.0	65.6	137.5	179	193
* 38%	42.0	64.3	71.6	142.0	186	200
* 40%	46.6	70.2	78.5	146.6	193	208

* Humedades granulares sobre 35% generalmente indican maíz inmaturo, que contiene más materia seca en el olote por cantidad fija de materia seca en el grano. Por lo tanto, con contenidos de humedad granular mayores de 35% se necesita más cantidad de mazorcas que la indicada por el peso de agua a remover. Para humedades menores de 35%, la cantidad de mazorcas necesarias para producir 100 lbs. de grano seco aumenta únicamente con el peso de agua.

con una recolecta inmediatamente después de la madurez y un secamiento de la mazorca entera.

CARGAS DE SECAMIENTO

En la tabla II, página 7-A, se tabulan las cargas de secamiento contra el contenido de humedad granular inicial, para cualquier cereal, leguminosas y maíz en mazorca.

La cantidad de mazorcas requeridas para producir 100 libras de maíz seco en grano varía con su calidad, tal como la proporción de olote a grano. La cantidad de agua a evaporar cambia también. Por esta razón, se muestran dos columnas de figuras para este producto: una calidad de buena a aceptable, No. 5, y una calidad de aceptable a mala, No. 10.

El uso de los números de la tabla II se ilustra con el siguiente ejemplo. Asúmase maíz en mazorca de calidad aceptable a mala, con 35% de humedad inicial en el grano. Para secar este maíz hasta un 12% se necesita evaporar y remover 63 libras (188-125) de agua por cada 100 libras de maíz seco en grano. Si éste, después de la madurez, fuese dejado en el campo por una semana o poco más, o hasta que la humedad granular bajára a 24%, y se procediera a desgranar antes del secado, solamente 15,8 libras (115.8-100) de agua tendrían que ser evaporadas y removidas por cada 100 libras de maíz seco en grano. Así, la carga de secamiento se reduciría a un cuarto de su valor original y el tiempo de secado podría ser asunto de 10 a 12 horas en vez de 3 a 4 días, ya que el maíz en grano seca mucho más fácilmente que en mazorca.

La experiencia aconseja el secamiento mecánico para sistemas mecánicos de producción de granos en muchas regiones tropicales. Donde de todas maneras tenga que proveerse secamiento mecanizado, es lógico suponer que la recolecta y desgrane simultáneos del maíz en el campo, o el desgrane inmediato del maíz recogido, se convertirán en una práctica común. La humedad de los granos así cosechados se encontrará probablemente en la región de 20 a 24%; esto es, ofrecerán cargas de secamiento de 10 a 16 libras. Como se comenta en la página 42 el secado de los granos hasta una humedad relativa de equilibrio de 30 a 35% (humedad del 8 al 9% en el maíz desgranado), los protegerá también contra el desarrollo de insectos. Esta protección adicional puede obtenerse con un aumento de 4 libras en la carga de secamiento. Empero, especial cuidado debe ejercerse en el uso de altas temperaturas, para prevenir daños por calentameinto al secar en regiones de humedad tan baja. El control apropiado de calor y el uso de temperaturas medianas pueden lograr tal secamiento extra con poco o ningún daño a la calidad del grano.

ALGUNOS PRINCIPIOS BASICOS DEL SECAMIENTO DE GRANOS

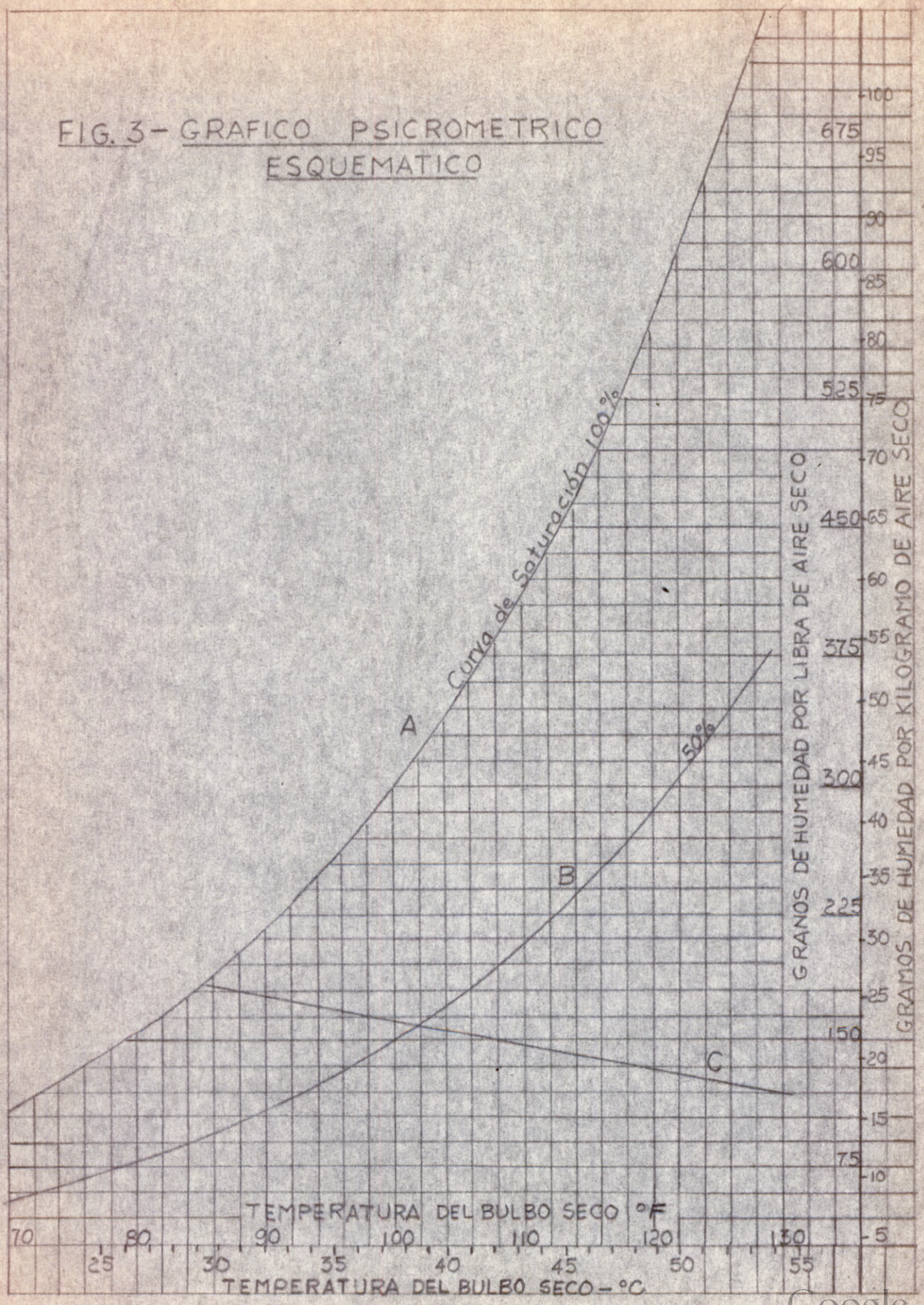
El agua se extrae del grano por evaporación en el aire que lo rodea, el cual la aleja de aquél. Se consume calor en cualquier proceso evaporativo, y ésto es suplido en la mayoría de los secadores por

el aire circulante, que ha sido calentado por el sol o por medios artificiales, o por ambos. Se requiere apeoximadamente 560 veces más calor para evaporar una cantidad dada de agua que el necesario para levantar su temperatura un grado centígrado. Uno de los principales gastos en el secado a base de calor artificial es el costo del calor. Como se explica más detalladamente en la página 12, rara vez todo el calor trasmitido al aire puede utilizarse en la evaporación, puesto que también se consume energía para darle al aire una mayor capacidad de absorción de la humedad levantando su temperatura. En la realidad, un secamiento eficiente podrá rara vez utilizar más del 50 o 60% del calor obtenible del aire. Expresado en términos más comunes, si un secador que emplea combustible remueve de 5 a 7 galones de agua por cada galón de aceite, o la cantidad equivalente de cualquier otro combustible, se considera que está rindiendo una buena eficiencia. Rendimientos de menos de 5 galones de agua por galón de aceite indican usualmente que se está perdiendo parte del calor utilizable. Lo anterior presupone una unidad de calentamiento directo. Un galón de aceite equivale, en valor térmico, a 11 libras de carbón, 9 libras de coque, 20 libras de madera seca, 6 libras de gas de botella, o 20 libras de olotes secos. Al hacer comparaciones, sin embargo, se tiene que tomar en cuenta la eficiencia del quemador.

COMO FUNCIONA EL AIRE DESECANTE - ALGUNOS PRINCIPIOS PSICROMETRICOS

Algunos conocimientos de cómo funciona el aire desecante son necesarios para entender las características de operación, posibilidades y limitaciones de los diversos sistemas de secamiento. La curva A en la figura 3 ilustra la relación entre la temperatura del aire y la cantidad máxima de vapor, o contenido de saturación, que puede incorporarse en el mismo espacio ocupado por el aire. Lógicamente, a una temperatura cualquiera, la cantidad de vapor en mezcla con el aire puede ser menor que la contenida en el punto de saturación. Si, por ejemplo, un volumen dado de aire y vapor contuviera sólo la mitad del agua que contendría si estuviera saturado, podría decirse que existe una humedad relativa de 50%. Para cálculos técnicos es mucho más fácil emplear libras de aire seco que volúmenes. Los volúmenes cambian considerablemente con las variaciones de temperatura y humedad, pero una libra de aire seco es una cantidad constante. Por lo tanto, la curva B en la figura 3 está dibujada para un contenido de vapor de 50% por libra de aire seco, y este valor se denomina corrientemente "grado de saturación". Aunque el "grado de saturación" difiere levemente de la "humedad relativa", que es una relación de densidades de vapor, en la práctica las dos unidades pueden usarse indiferentemente para valores sobre 40 o 50%. Así pues, la información en la figura 1 se da como humedad relativa, mientras que aquélla en las figuras 3 y 4 se representa como "grado de saturación". Para evitar confusiones innecesarias, el

FIG. 3 - GRAFICO PSICROMETRICO ESQUEMATICO



término "humedad relativa" será el usado en este texto. La curva de 50% (curva B, figura 3) es el foco de todos los puntos verticalmente en medio de la línea cero o base y de la curva de saturación. Curvas de otros porcentajes podrían trazarse de la misma manera.

La temperatura del punto de rocío es aquélla donde una cantidad dada de vapor en un espacio dado, está en el punto de saturación, ó es la temperatura a la cual se inicia la condenación. Así, un aire confinado con una cantidad dada de vapor tendrá un punto de rocío y nada más que uno, sin importar los cambios de presión barométrica o las cantidades de calor que se adicionen. El punto de rocío corresponde a la temperatura del bulbo seco en condiciones de saturación. También, para una presión dada, el punto de rocío y el contenido de humedad (libras de agua por libras de aire seco) indican la misma propiedad de una mezcla dada de aire y vapor, y por lo tanto pueden mostrarse en un gráfico en escalas superimpuestas o paralelas.

La determinación de otra propiedad de dicha mezcla es necesaria para comprender cómo funciona el aire desecante. Esta propiedad es la energía interna total poseída por la combinación aire-vapor, comúnmente denominada "contenido total de calor".

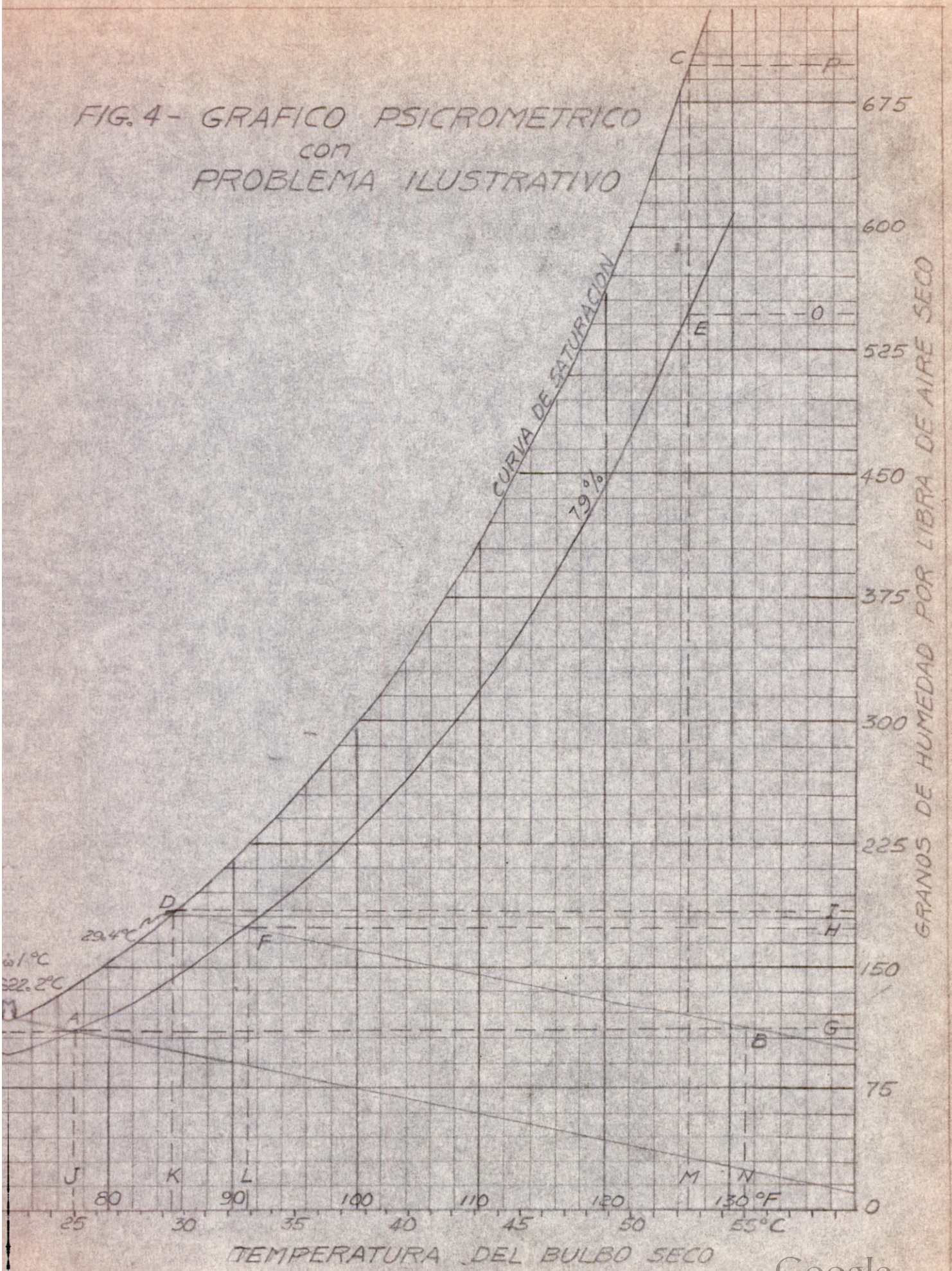
Considérese una cantidad dada de aire seco (libre de vapor) a 0°C. Llámese cero, arbitrariamente, su contenido total de calor. Ahora bien, es necesario agregar calor para calentar este aire, hasta digamos 20°C. Este aire tendrá entonces más calor; digamos 20 unidades más. Considérese ahora una cantidad determinada de agua líquida a 0°C (ambos el agua y el hielo pueden existir a 0°C). Llámase su cantidad de calor cero. Para elevar la temperatura de esta agua a 20°C se necesitan, digamos, otras 20 unidades térmicas. Evapórese ahora una cantidad de agua suficiente para saturar el espacio ocupado por el aire, a veinte grados centígrados. Esto demanda la adición de más calor. Queda evidente, entonces, que una mezcla saturada de aire y vapor a 20°C poseerá una cantidad de calor con respecto a 0°C debida a: (1) un aumento en la temperatura del aire seco, (2) un aumento en la temperatura del agua que ha entrado en el espacio ocupado por el aire, y (3) el calor requerido para evaporar dicha agua. Cómiéncese de nuevo con una cantidad dada de aire seco a 20°C, y hágase pasar éste sobre agua líquida que se asumirá puede mantenerse a la misma temperatura que el aire en todo momento, de modo que no haya traspaso de humedad del agua al aire. Este aire, con el tiempo, se mezclará con vapor proveniente del agua líquida. El calor necesario para tal evaporación tiene que venir del aire. Lo anterior reduce el contenido de calor del aire seco, y por consiguiente su temperatura, pero a la vez aumenta el contenido de calor de la mezcla de aire y vapor resultante exactamente en la misma proporción.

Por lo tanto la energía térmica total poseída inicialmente por el aire seco y finalmente por la mezcla de aire y vapor, es exactamente la misma, aunque la temperatura (medida con un termómetro de bulbo seco) se reduce considerablemente ya qué parte del calor sensible se ha trasformado en calor latente. Este proceso de agregar agua por evaporación en aire seco o aire con cierta cantidad inicial de vapor, se llama saturación adiabática (calor total constante). Básicamente, tal es lo que ocurre en los procesos de secamiento donde el aire contiene todo el calor usado en la evaporación.

Ahora bien, se ha demostrado por riguroso trabajo experimental que un termómetro de bulbo húmedo (termómetro corriente al que se arrolla una gasa húmeda en el bulbo) saturará adiabáticamente la capa de aire adyacente al bulbo, cuando se hace pasar por una corriente de velocidad suficiente. La temperatura del aire se aproximará entonces a la que corresponde a una saturación adiabática, y ofrecerá por lo tanto una medida directa del contenido térmico total de la mezcla aire-vapor. Así pues, para cualquier combinación de temperatura del bulbo seco y de humedad en una mezcla de aire y vapor, existe una correspondiente temperatura del bulbo húmedo. Y esta última indica el contenido total de calor de la mezcla. Ahora entonces, si todas las combinaciones posibles de temperaturas del bulbo seco y condiciones de humedad del aire, para un contenido de calor determinado, fueran representadas en un gráfico, formarían una línea recta en una figura como la 3, (línea C). Otras temperaturas del bulbo húmedo serían paralelas e interceptarían la curva de saturación a un valor común para el bulbo seco y el punto de rocío. Así pues, cualquier punto en la curva de saturación da un valor común para las tres temperaturas: bulbo seco, bulbo húmedo y punto de rocío.

Podemos ahora seguir la trayectoria del aire (o mezcla de vapor y aire) a lo largo del proceso de secamiento. Asúmase el aire atmosférico a una temperatura de 25°C bulbo seco, y 22.2°C bulbo húmedo. Según el gráfico esquemático de la Fig. 4, (punto A), la temperatura correspondiente al punto de rocío y el contenido de humedad son respectivamente, 21.1°C y 110 granos de agua por libra de aire seco. La humedad relativa sería 79%. Refiriéndose nuevamente a la Fig. 1, puede observarse que un aire con 79% de humedad relativa no puede secar los granos lo suficiente para un almacenamiento seguro; en realidad, dicho aire no prevendrá el crecimiento de mohos. Lógicamente, tiene que emplearse un aire más seco. Calentando el aire, por ejemplo, a 55°C, (punto B en el gráfico), de ninguna manera se afecta su contenido de humedad, pero sí se disminuye grandemente su humedad relativa. A este aire se le llama aire desecante. La temperatura del bulbo húmedo sería ahora de 29.4°C.

Cuando este aire pasa a través del grano húmedo, utilizará inicialmente parte de su calor para levantar la temperatura



de éste. Este período es de corta duración y la cantidad de calor consumida es tan pequeña que puede descartarse en el presente análisis. Conforme el aire arranca humedad del grano, se enfría adiabáticamente. Es decir, el calor sensible del aire es convertido en calor latente, contenido ahora en el vapor de agua adicionado al aire. El calor total del aire (mezcla de aire y vapor) sigue la trayectoria de B a D a lo largo de la línea que determina una temperatura constante del bulbo húmedo de 29.4°C, aumentando su contenido de humedad a medida que la temperatura del bulbo seco decrece. (Bulbo húmedo constante). En la realidad, cuando se llega a obtener un secamiento extremo de cualquier material higroscópico, el calor requerido para extraer el agua íntimamente ligada al grano aumenta en proporción mayor que el necesario para evaporar agua libre, de modo que la trayectoria verdadera del aire desecante se aparta levemente hacia abajo de la línea del bulbo húmedo.

Considérese ahora el grano. Al pasar aire caliente por una masa con 25% de humedad (100% de humedad relativa en equilibrio) cierto calor inicial, que no se tomará en cuenta, fluirá del aire al grano para levantar su temperatura a una un poco menor que la inicial en el aire. El agua en el grano naturalmente sube a la misma temperatura. Si se establecieran ahora condiciones de equilibrio entre el aire y el grano, la humedad relativa del aire tendría que aumentarse a 100% con una temperatura del bulbo seco un poco menor que la de B, punto C por ejemplo. El contenido de humedad de dicho aire en el punto C sería de 700 granos por libra. Pero el aire en realidad contiene sólo 110 granos por libra. La distancia vertical entre el punto C y la línea A B, que puede medirse en la escala del lado derecho, es por consiguiente una medida relativa de la fuerza desecante que causa evaporación del agua en la superficie del grano. El aire entonces absorbe humedad y disminuye en temperatura, siguiendo la ruta B D del bulbo húmedo. El agua en el grano, al decrecer la temperatura del bulbo seco, sigue la curva de saturación del punto C al punto D. Si se le permite permanecer en el grano un tiempo suficiente, el aire se saturará (para 25% de humedad en el grano). En condiciones de saturación, (punto D), el agua en el grano y en el aire están en equilibrio, y ningún nuevo secamiento puede ocurrir.

Si el grano continúa secándose, por ejemplo hasta una condición de 79% de humedad relativa de equilibrio, el agua en el grano, que está más fuertemente ligada, no puede ya saturar el aire. Dicha agua entonces seguirá aproximadamente la ruta E a F y el aire será expulsado en el punto F si ha alcanzado la condición de equilibrio.

Del gráfico se desprende que la fuerza de secamiento, y por consiguiente su velocidad, decrecen rápidamente a medida que el aire se mueve por el grano. La absorción es rápida en las primeras capas cruzadas por el aire, pero disminuye notablemente

al paso que éste empieza a saturarse y enfriarse. Así pues, los primeros estratos de grano que el aire atraviesa quedan secos, y algunas veces resecos, antes de que las porciones superiores empiecen a secarse. Este proceso, característico en cualquier operación de secamiento donde el aire es quien suple todo el calor, se conoce con el nombre de "secamiento localizado o por zonas".

En los secadores de flujo continuo se han empleado varios métodos para evitar las gradientes de humedad, tales como la mezcla continua de los granos o la exposición intermitente de las diversas porciones al aire desecante. Secadores de este tipo se describen brevemente en la página 25. Teóricamente, sin embargo, los sistemas más eficientes de secado no deben mezclar el grano sino obligarlo a que fluya uniformemente en dirección contraria a la corriente de aire (sistema de flujo opuesto). En este caso se hace pasar el aire sobre los granos más secos poco antes de que éstos caigan a la cámara de enfriamiento y descarga. De este modo el flujo de los granos en la secadora puede ajustarse de manera que se retiren en un punto donde estén apropiadamente secos. El autor no conoce secadores comerciales de capacidad grande que puedan estrictamente clasificarse como del tipo de flujo opuesto. Aparentemente existen ciertas dificultades mecánicas que aún no han podido resolverse.

La humedad que cada libra de aire seco puede recoger y transportar se mide por la distancia GI o GH en el gráfico. El calor suministrado al aire está definido por la distancia JN, y la porción utilizada en la evaporación por la distancia NK o NL. La relación de estas dos últimas representa la eficiencia en la utilización del calor. Si sucede que el punto A cae bien a la derecha de la curva de saturación (aire atmosférico naturalmente seco) puede requerirse poco o ningún calor adicional.

RAZONES DE SECAMIENTO

El tiempo que se necesita para secar un lote dado de granos depende de muchos factores, siendo los más importantes:

1. Clase y tamaño de los granos
2. Contenido inicial de humedad
3. Temperatura y humedad del aire desecante
4. Sistema de secamiento, o manera de manipular el aire y el grano
5. Cantidad de aire desecante suministrada.

La velocidad del aire, en granos con humedades menores de 24%, tiene poco efecto en la rapidez de secamiento, pero sí muy marcada influencia en la potencia que demanda el abanico para mantener dicha velocidad y en el grado hasta el cual el aire

tiene tiempo de recoger su carga de humedad. Una cantidad determinada de aire insuflado a través de un lote dado de granos realizará un secamiento similar, a despecho de la forma de la masa de granos, v.g. si la profundidad es poca y el area horizontal grande, o viceversa. La velocidad del aire en el primer caso será reducida y la distancia que atraviesa corta, mientras que en el segundo caso su velocidad y trayectoria serán considerables. En ambas situaciones, teóricamente, la razón de secamiento será la misma. Todo grano tiene su razón de secamiento característica para condiciones dadas. Por ejemplo, el "tiempo de secamiento relativo", bajo condiciones similares, para arroz en granza, maíz desgranado y maíz en mazorca, es aproximadamente de 1, 1.7 y 10, respectivamente. Para un grano determinado, la humedad inicial, la temperatura del aire desecante y el sistema de manipular el aire y el grano (el diseño de la secadora), se combinan para afectar grandemente la razón de secamiento. Distancias como GO y GP, fig. 4, son medidas relativas de la intensidad de secamiento en lo determinado por la humedad inicial del grano y la humedad y temperatura del aire. Cuando se mezclan los granos durante el secamiento, o se invierte la dirección del aire, o se ejecutan ambas operaciones, el efecto combinado de estos factores en la rapidez de secamiento llega a ser demasiado complejo para poder analizarlo. Observaciones experimentales en modelos de escala real son generálmente necesarias para estudiar el funcionamiento del sistema.

Sin embargo, los principios o leyes naturales anteriores tienen aplicación relativa, y para hacer énfasis se resumen como sigue:

1. La temperatura del punto de rocío o el contenido de humedad de una mezcla de vapor y aire no cambia con la adición de calor, sino que baja su humedad relativa.

2. La temperatura del bulbo húmedo es una medida del contenido total de calor de una mezcla de aire y vapor. El secamiento adiabático con aire calentado se caracteriza por una temperatura casi constante del bulbo húmedo a medida que el aire atraviesa el grano.

3. Cambios de humedad - extracción del agua - se miden distancias verticales en el gráfico tales como GH y GI y están limitados por el grado de saturación posible.

4. Los cambios de temperatura, la adición y utilización de calor sensible, y por lo tanto la eficiencia en el uso de la energía térmica, se miden por distancias horizontales en el gráfico.

5. Una gradiente de humedad se forma siempre a través de una columna de granos en este proceso de secamiento, lo cual resulta en un secado por zonas o localizado. Por

consiguiente, cuando se desea un secamiento rápido y uniforme, dicha gradiente tiene que equiparse frecuentemente moviendo o mezclando los granos, o invirtiendo la dirección del aire, o ejecutando ambas operaciones.

6. Cada grano o material, cuando se expone completamente a condiciones determinadas de secamiento, tiene una habilidad característica para ceder agua, la que no es afectada apreciablemente por la velocidad del aire circulante.

7. El efecto relativo de la temperatura y la humedad en las razones de secamiento, se muestra en el gráfico por las distancias GP, GO, etc.

8. La velocidad del aire desecante tiene poco efecto en la razón de secamiento, pero influencia directamente el tiempo que el aire permanece en la masa de granos, y por lo tanto, el grado hasta el cual éste tiene oportunidad de saturarse.

9. El aire desecante puede considerarse que actúa como un vehículo para transportar el calor. Un intercambio de calor ocurre entre el grano y el aire. Un traspaso de humedad sucede, por medio de la evaporación, entre el grano y el aire. Las razones a las cuales los distintos procesos acontecen siguen ciertas leyes naturales, el efecto combinado de las cuales puede estimarse por consideraciones teóricas, aunque lo mejor se efectuan observaciones experimentales en modelos de escala real.

CONTROL DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE SECAMIENTO

El uso de temperaturas excesivamente altas en el aire desecante causaría, directa o indirectamente, mucho daño al grano durante su secado. El germen muere. La rotura del grano o de ciertas porciones del mismo hace bajar su calidad física. Pueden también presentarse cambios químicos indeseables. Por otra parte, si la temperatura es demasiado baja (y sin embargo no lo suficientemente baja para controlar los mohos), la duración del proceso se prolongaría tanto que permitiría la propagación de tales mohos con sus efectos deplorables especialmente en las últimas capas de granos que deben secarse.

Con todo, es difícil especificar, aún en forma aproximada, los límites de temperatura en el secamiento, ya que el resultado de una temperatura dada sobre la calidad del grano depende tanto del tiempo de exposición como de las condiciones de humedad. La inter-relación de estos tres factores, por supuesto,

es muy compleja. Por lo tanto, no es suficiente especificar la temperatura si no se fijan las condiciones de tiempo y humedad. Es bien sabido que mientras más seco esté el grano más alta es la temperatura que puede soportar sin perder su poder germinativo. También, mientras menor sea el tiempo de exposición, mayor podrá ser la temperatura del aire. El secado intermitente (paso del grano por la secadora dos o más veces, con períodos de descanso) tenderá a acortar el secamiento y permitirá el uso de temperaturas más altas sin causar daños, lo cual decrece aún más el tiempo de secamiento.

Son escasos los conocimientos actuales en lo que respecta a las posibilidades y limitaciones de la temperatura en relación con el tiempo y las condiciones de humedad. La práctica y la investigación, sin embargo, han determinado límites de temperatura para ciertos granos y sistemas. La temperatura más alta para una carga de maíz en mazorcas que desea usarse como semilla generalmente se establece bajo 110°F, mientras que para maíz desgranado que va a molerse el límite usualmente sube a 130°F. Para secar continuamente arroz en granza, se recomienda generalmente una temperatura de 100°F, más para secamiento en sacos o columnas donde la dirección del aire se invierte periódicamente, temperaturas superiores a 130°C han sido usadas con éxito. Trigo, maíz y avena se secan en estructuras grandes de flujo continuo y diseño especial con temperaturas del aire hasta de 180°F, no obstante lo cual, la temperatura del grano no llega a exceder 120°F, limitándose generalmente a 140°F. Los granos que se ponen a secar en estos aparatos con temperaturas tan altas, tienen generalmente sólo un 1 a 2% de humedad a remover, y debe tenerse especial cuidado de no reducir el porcentaje de agua a menos de un 13%.

METODOS DE SECAMIENTO

En las regiones tropicales, el secado puede efectuarse por diversos métodos, usados por sí solos o en combinaciones varias, tales como: (1) secamiento en el campo, (2) secamiento al sol en un patio, (3) gabinetes domésticos pequeños que utilizan calor o desecantes, (4) ventilación natural, (5) aire atmosférico mecánicamente insuflado, y (6) aire calentado artificialmente y mecánicamente insuflado.

Secamiento en el campo:

El secamiento en el campo debe usarse, naturalmente, en el mayor grado posible. Algunas de las posibilidades y limitaciones para climas húmedos se ilustran en la Tabla I. En este caso particular, la humedad disminuyó 10% después de la madurez y en un plazo de 10 días. En un mes, el maíz se había secado hasta alcanzar condiciones de equilibrio con el aire atmosférico de la región. En 5 meses dejó de ocurrir más secamiento. El contenido de humedad nunca llegó a ser lo suficientemente

bajo para alamacenar el maíz sin peligro en un granero. Prácticas tales como recolectar el grano y disponerlo en lomillos sobre el suelo para que se seque naturalmente antes del desgrano, pueden usarse ventajosamente donde las condiciones del tiempo lo permiten. Estados climatéricos adversos y el crecimiento rápido de malas hierbas no toleran esta práctica en zonas lluviosas y calientes. Las pérdidas en el campo debidas a volcamiento, desgrane o pájaros, frecuentemente obligan a adelantar la recolecta del grano antes de que se encuentre suficientemente seco para el almacenamiento.

Secamiento al sol:

Este tipo de sacado puede usarse ventajosamente cuando es factible. Usualmente no es lo suficientemente seguro o rápido cuando se emplean métodos mecánicos de cosechar. En esta clase de secamiento, los granos requieren atención constante si se quiere obtener una buena calidad. El exceso de labor manual necesario, condiciones adversas del clima y la limitada capacidad de un patio dado, hacen que algunas veces el secado al sol resulte más costoso que métodos a base de ventilación y calor generado mecánicamente.

Secadores domésticos pequeños:

Véase página 50 para la descripción de métodos adecuados para el acondicionamiento y almacenamiento de pequeños lotes de granos destinados a semilla o usos domésticos en las regiones tropicales.

Ventilación natural:

Las trojas para maíz diseñadas y construídas con el objeto de proporcionar una buena ventilación natural creada por la fuerza del viento, pueden usarse con ventaja en muchas zonas tropicales donde es deseable cosechar el maíz en mazorca antes de que esté lo suficientemente seco para desgranarlo. Uno o dos meses de almacenamiento en un granero bien ventilado reducirá el contenido de humedad hasta un punto cercano a la condición de equilibrio con la humedad relativa del aire ambiente. En las estaciones secas esto puede causar deshidratación suficiente para almacenar el grano sin peligro. Un sistema como éste elimina la necesidad del secado artificial, pero exige una troja con capacidad para la cosecha entera que se recoja en una temporada.

En las regiones tropicales, rara vez es factible intentar el almacenamiento a largo plazo en graneros de paredes abiertas o edificios naturalmente ventilados, ya que estas estructuras no ofrecen protección contra el ataque de los gorgojos, ni tampoco permiten el uso de medidas de control como la fumigación. También, durante los períodos húmedos, el grano puede absorber cantidades perjudiciales de agua.

Aire atmosférico mecánicamente impulsado:

Este método parece ofrecer buenas posibilidades en muchas zonas productores de granos de la América Ecuatorial. Por medio de una ventilación positiva y regulada, y el secado resultante, pueden conservarse los granos en trojas cerradas. El grano en una estructura cerrada queda protegido contra los elementos. Si ocurriera una infestación en un granero de este tipo, el material puede fumigarse con facilidad. También, en situaciones de emergencia tales como un período lluvioso durante la cosecha, este sistema permite el empleo de una fuente auxiliar de calor artificial.

El aire atmosférico, por naturaleza, es un medio que seca lentamente debido a que sus temperaturas son relativamente bajas. Por consiguiente no debe esperarse un secamiento rápido cuando se utiliza aire sin calentar. Aire atmosférico mecánicamente insuflado se usa generalmente con ventaja en los sistemas a granel (secado y almacenamiento), en materiales que no tienen más de 2 a 3% de exceso de humedad.

Graneros con ventilación forzada se describen en la página 56

Sistemas de Secado con Aire Artificialmente Calentado y Forzado:

En la discusión que sigue, el término "aire calentado" se interpretará con amplitud suficiente para incluír cualquier aire que contenga calor utilizable en el secamiento. Esto significa humedades relativas inferiores a aquélla en equilibrio con el grano a secar. Con esta interpretación, un aire atmosférico sin calentar pero naturalmente seco, como el necesario para el sistema anteriormente descrito, se clasificaría como "aire calentado". Estas clasificaciones se establecen primordialmente para hacer énfasis. Los sistemas físicos son bastante similares en algunos casos, como se hará evidente en los comentarios que sigue. Así pues, "aire calentado e insuflado" significa aire sometido a presión por un abanico y con energía térmica obtenible para secamiento, ya sea que dicho calor exista previamente en el aire, o se agregue por medio de un quemador, o en ambos casos.

Cualquier sistema completo de este tipo puede considerarse que comprende dos partes, (1) el generador de aire calentado e insuflado y (2) el sistema para la manipulación del aire y el grano. Existen muchas clases de generadores y de sistemas de secamiento, así como muchas posibles combinaciones.

GENERADORES DE AIRE CALENTADO E IMPULSADO

Abanicos:

Hay dos tipos generales de abanicos para insuflar aire a través de los granos: flujo axial y flujo centrífugo o radial. Existen en el comercio diferentes diseños o clases de abanicos de flujo axial, tales como los de aleta plana o curva, los de hélice de avión, y los de disco o tornillo donde el área proyectada de las aletas ocupa una gran porción del círculo del abanico. El último tipo es relativamente eficiente y silencioso pero cuesta más, mientras que los primeros dos tipos son relativamente bulliciososo pero de un costo inicial reducido. Los abanicos axiales varían en su capacidad para operar contra presiones altas. Cuando éstas son relativamente elevadas, se acostumbra agrandar las mazas o cubos en proporción al diámetro del abanico (razón grande de maza) y acortar las aletas correspondientes.

Los abanicos radiales o centrífugos son de dos tipos: aletas hacia adelante y aletas hacia atrás. Estos aparatos operan con ruido relativamente bajo, pero generalmente cuesta más construirlos que los de flujo axial.

Los abanicos, de cualquier clase, siguen ciertas leyes de operación que son útiles para predecir el efecto de cambios de velocidad y tamaño. Por ejemplo, en un sistema dado, la variación de la velocidad del abanico afecta su descarga, presión estática y demanda de energía, en la forma siguiente:

1. La descarga aumenta directamente con la velocidad.
2. La presión estática varía directamente con el cuadrado de la velocidad.
3. La potencia aumenta con el cubo de la velocidad.

Los diferentes tipos de abanicos tienen diferentes características de operación, como se demuestra en las figuras 5, 6 y 7. Nótese que los abanicos de flujo axial requieren una potencia casi constante; que los abanicos radiales de aletas hacia atrás demandan una potencia máxima a alrededor del 65% de abertura máxima o libre propulsión, punto que difiere poco de los picos de presión máxima y eficiencia total mayor; y que un abanico radial con aletas hacia adelante exige una potencia que crece con reducciones en la presión estática o cuando el aparato se acerca a condiciones de libre propulsión. La fig. 8 muestra un grupo de curvas comercialmente calibradas para un abanico axial de 27" de diámetro.

RESISTENCIA DEL GRANO AL FLUJO DEL AIRE

La presión estática necesaria para forzar aire a través de un grano depende primordialmente de la clase de material, la

[illegible] CONDUCTO E INTERCAMBIO

Alternativas:

[illegible] de aluminios para [illegible] este a [illegible] del [illegible] vial y flujo contrífugo o radial. [illegible] o clavos de aluminio de [illegible] o curva, los de [illegible] el área [illegible] cuando el área pro- [illegible] con gran [illegible] del efecto del [illegible] y [illegible] [illegible] en [illegible] [illegible] [illegible]

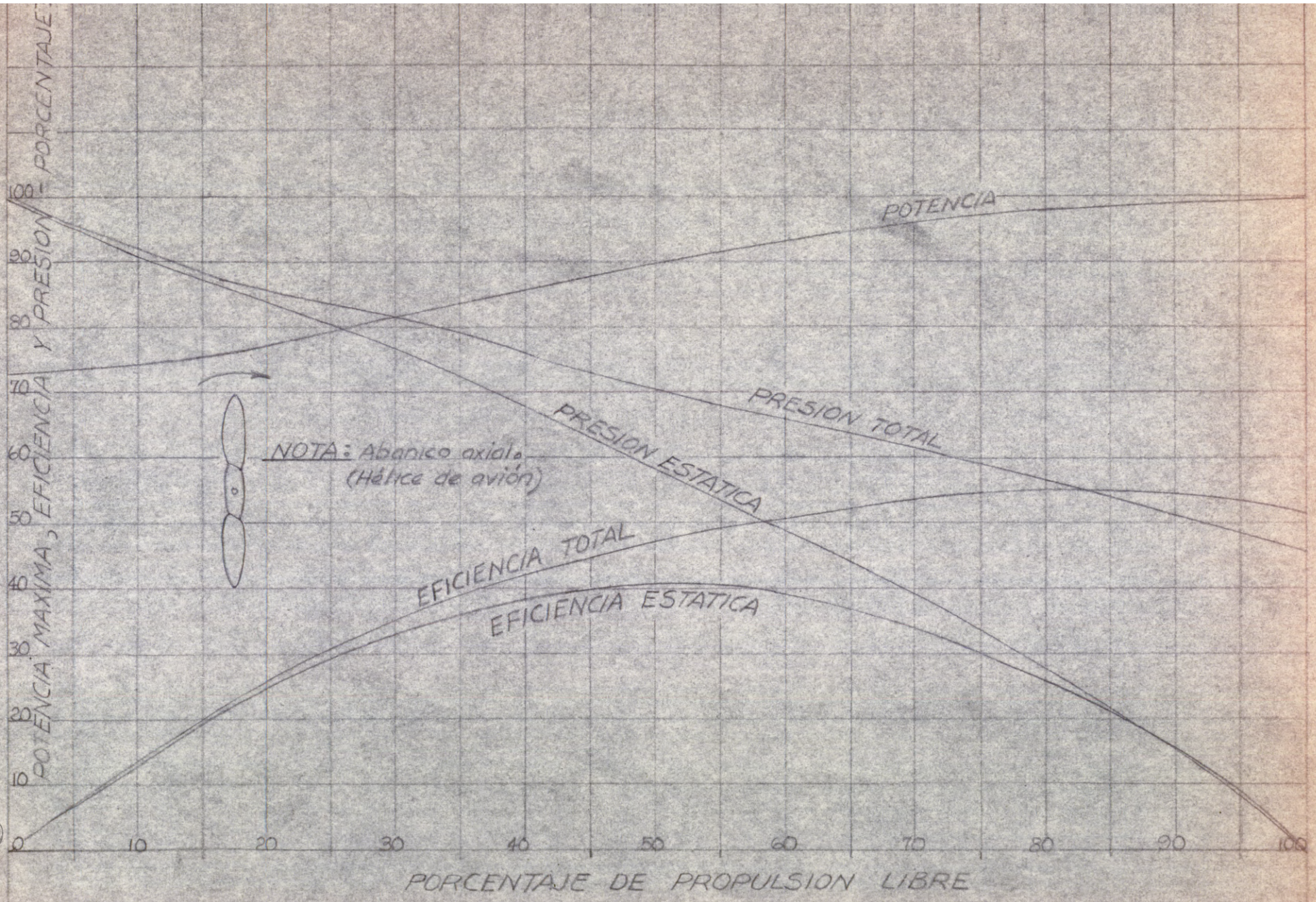


FIG. 5 - CARACTERISTICAS DEL ABANICO AXIAL

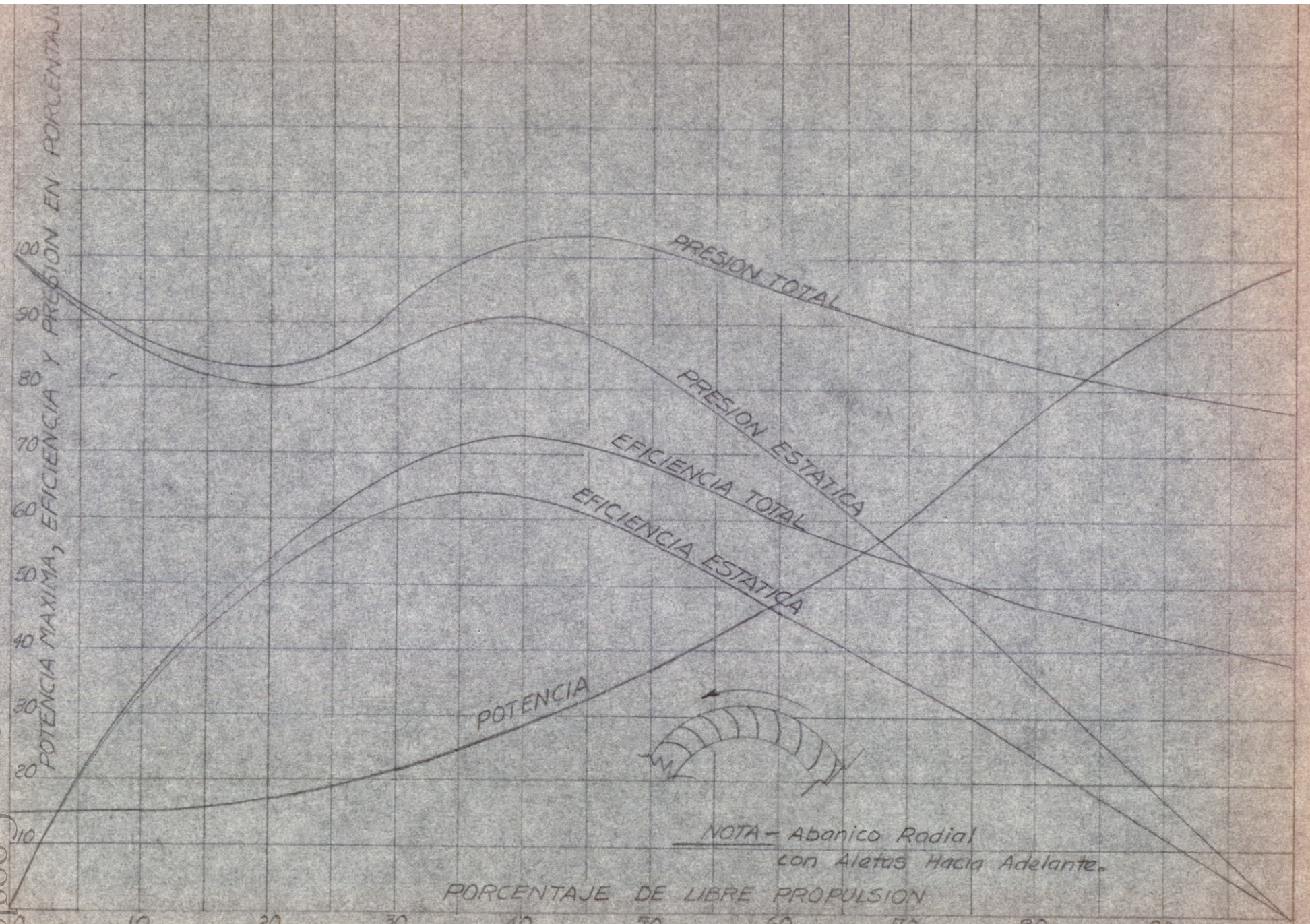


FIG. 6 - CARACTERISTICAS DEL ABANICO RADIAL

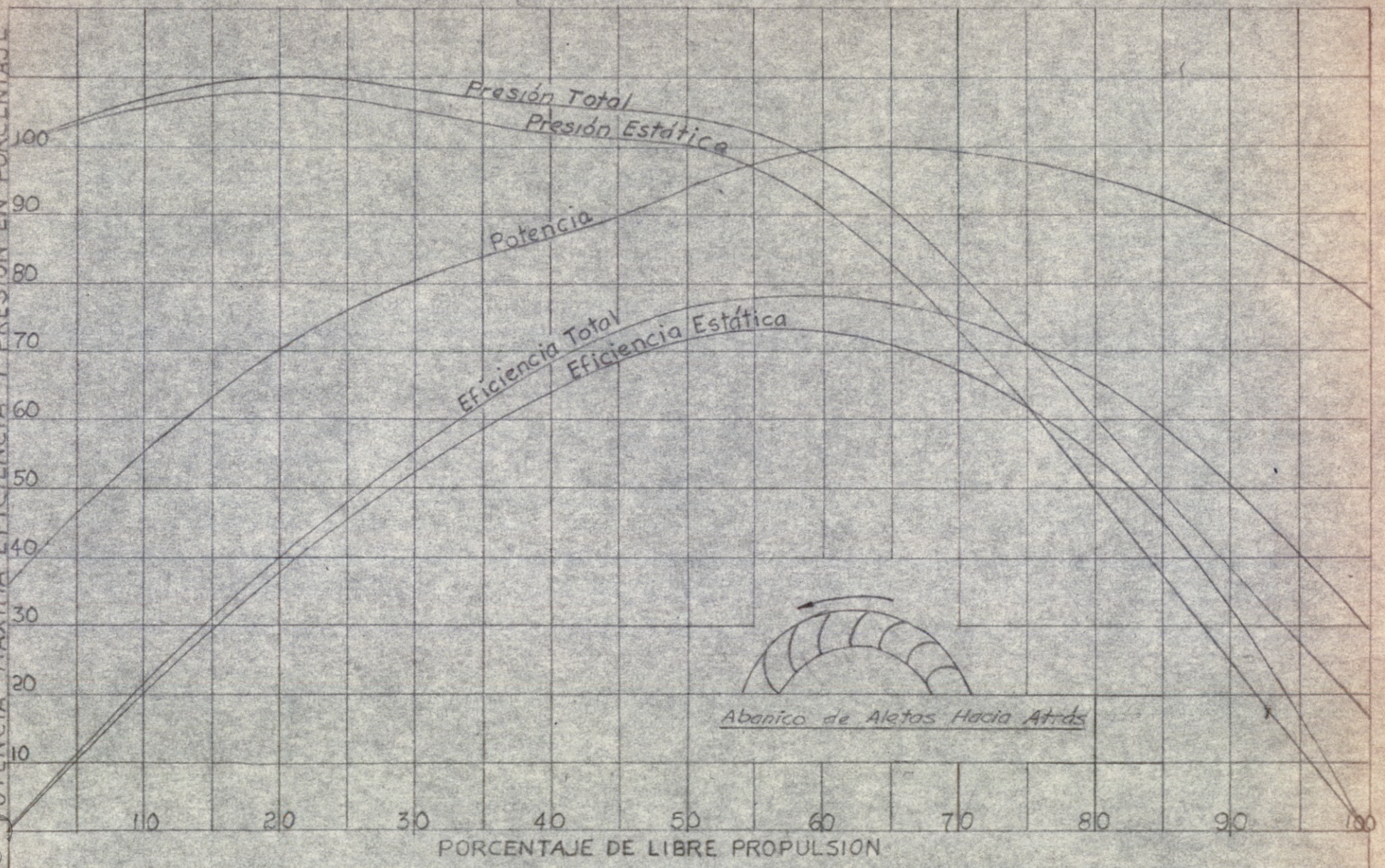


FIG. 7 CARACTERISTICAS DEL ABANICO RADIAL

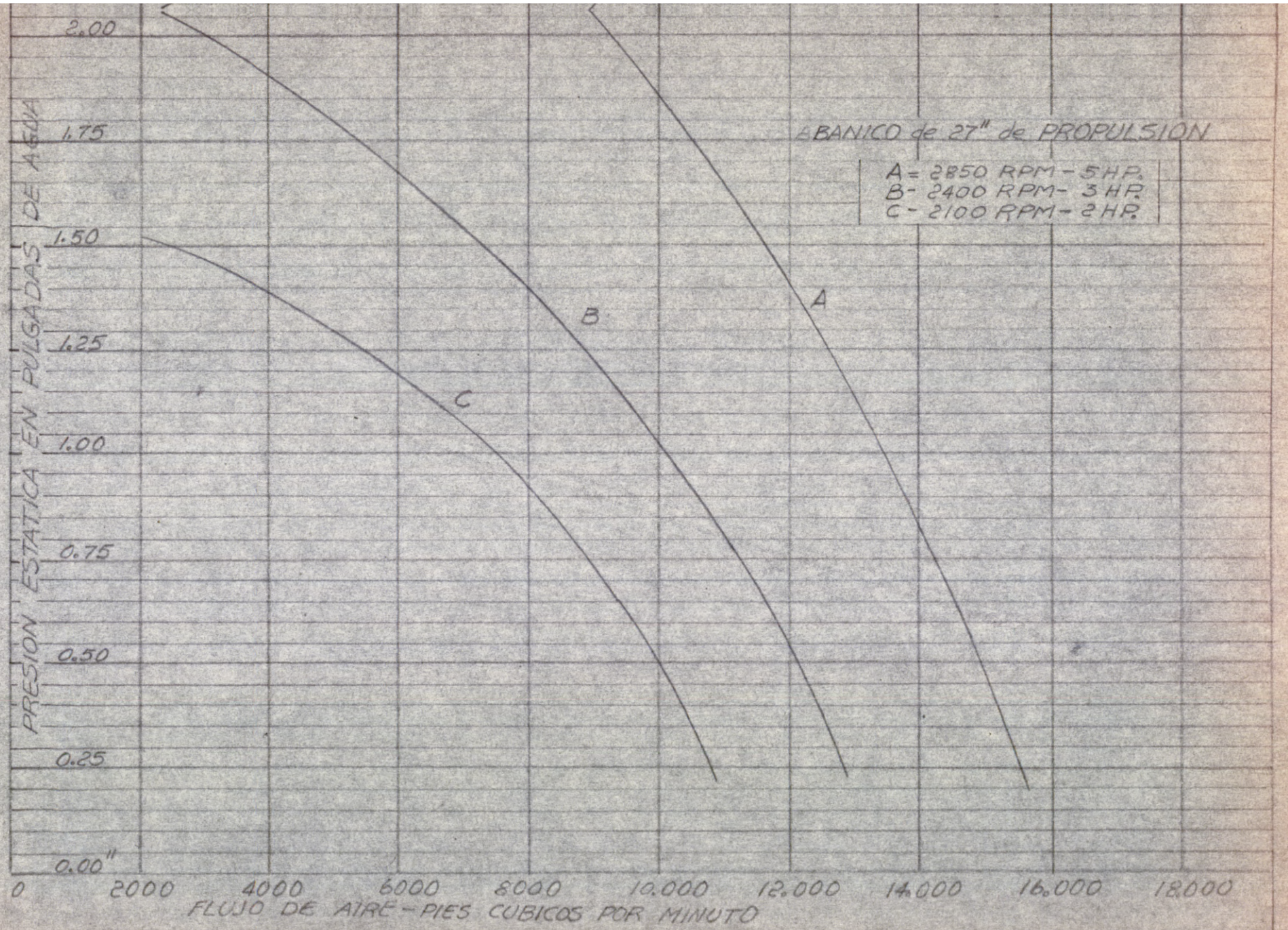


FIG. 8 - CURVAS DE DESCARGA DE UN ABANICO.

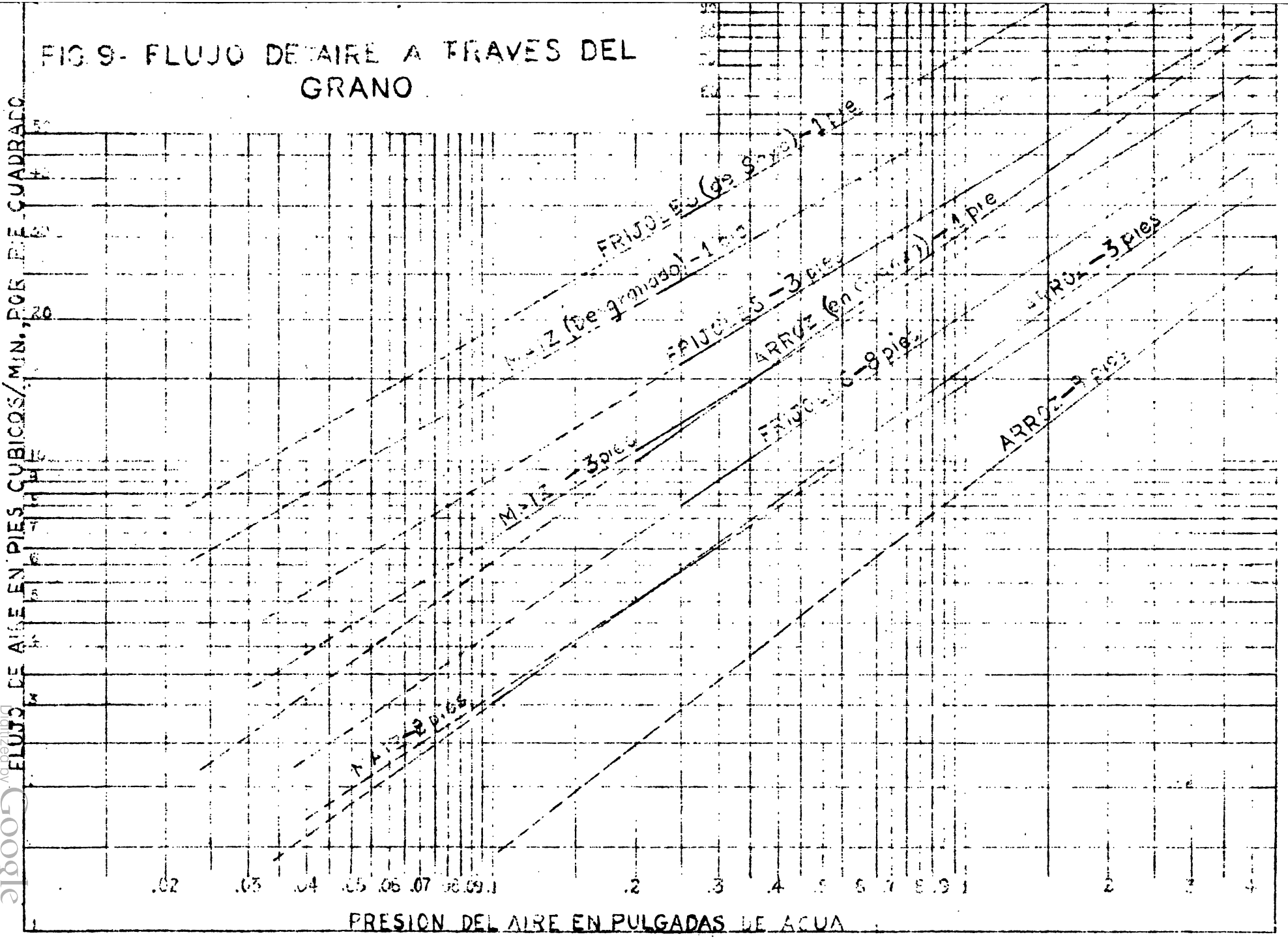
distancia que el aire tiene que recorrer dentro del grano y la velocidad de circulación. La velocidad del aire se expresa generalmente como la cantidad de aire por unidad de área, y no como la velocidad real. La fig. 9 muestra las relaciones, determinadas experimentalmente, entre cantidad de flujo y presión estática, para varias clases y profundidades de granos. Para una operación superior, el abanico y su unidad motriz deben acoplarse perfectamente al sistema de secamiento. Sucede a menudo, sin embargo, como en el caso de generadores comerciales de aire caliente y a presión, que los abanicos tienen que acoplarse a tamaños standard de motores eléctricos.

El procedimiento práctico usualmente consiste en: (1) estimar la razón de secamiento necesaria, (2) seleccionar un tamaño comercial adecuado de abanico y unidad motriz, y (3) dimensionar el sistema de secado de tal manera que se ajuste bien al abanico y motor.

CONTROL ESPECIAL DE LA DESCARGA Y TEMPERATURA DEL AIRE

Para secadores por cargas y a granel, consúltese la página 56
Es frecuentemente deseable variar la entrega de aire, y su temperatura sin alterar el tamaño del abanico, quemador o motor. Cambios en la descarga y temperatura de aire pueden requerirse cuando se varía la clase de material, o cuando tienen que secarse simultáneamente cantidades o profundidades variables de granos. Como se ha explicado en las páginas 14-15, cuando la velocidad del aire es excesiva gran parte del calor aprovechable no tiene tiempo de utilizarse. Si la velocidad es demasiado baja, el secamiento resulta lento y marcadamente localizado. Así mismo, con un suministro constante de calor, la temperatura del aire que entra puede llegar a ser muy alta si se decrece el flujo o viceversa. Por ejemplo, puede necesitarse secar lotes de sacos que suman solamente un tercio de los requeridos para cubrir por completo la armadura del secador. Una puerta movible de intercepción en el conducto principal de distribución puede desconectar las partes de la secadora que no van a usarse. La resistencia que ofrece al aire sólo una tercera parte de los sacos será mucho mayor que operando a capacidad máxima (debido a que el aire dispone de menos conductos para movilizarse a través del grano), y el abanico - que tiene capacidad para una cantidad de sacos tres veces mayor - desarrollará una mayor presión estática, descargará menos aire y demandará menos energía, de acuerdo con sus características de funcionamiento (véase figura 6). Así mismo, la temperatura del aire entrante, para un consumo constante de combustible, aumentará en proporción a la disminución en la entrega de aire. Si, no obstante, se decreciera la profundidad del grano en una secadora por cargas, o se colocara un grano de menor resistencia al flujo del aire, las condiciones inversas ocurrirían, con menor presión estática, mayor descarga de aire y mayor demanda de energía, de acuerdo con las características del abanico. Y la temperatura del aire entrante,

FIG. 9- FLUJO DE AIRE A TRAVES DEL GRANO



con gasto constante de combustible, decrecería. Estas circunstancias pueden sobrecargar el motor y hacerle fallar.

La descarga de aire puede regularse, dentro de ciertos límites, para acomodar cargas variables de granos u otro material, por uno de los dos métodos siguientes.

1. Control con válvulas de mariposas
2. Variación en la velocidad del abanico

Una válvula de mariposa puede consistir de una compuerta con goznes colocada en el conducto de descarga del abanico y con un mecanismo para ajustarla desde afuera. El cierre de dicha válvula aumentará la resistencia del sistema y por consiguiente reducirá la descarga de aire. En los abanicos radiales con aletas hacia adelante, en los cuales la potencia y entrega de aire aumentan con la disminución de presión estática (véase figura 6), tal control puede prevenir la sobrecarga del motor cuando la resistencia del sistema, por cualquier razón dada, es menor que aquélla para la cual el abanico y el motor han sido seleccionados.

Aunque práctico y expedito en ciertas situaciones, este método de control del aire no conviene usarlo demasiado, puesto que tal obstrucción simplemente disipa parte de la energía que podría utilizarse si se emplearan otros ajustes o cambios, tal como una variación en la velocidad del abanico.

Un cambio apropiado de la velocidad del abanico puede establecer carga completa para el abanico y el motor, y así hacer uso cabal de la fuerza motriz. Sin embargo, los cambios radicales de velocidad pueden afectar adversamente la eficiencia de operación del abanico hasta el punto de que no se entregue más aire, por unidad de energía, que el hecho posible al usar una válvula de mariposas. En sistemas de capacidad amplia (abanicos grandes), donde es deseable variar la aplicación de aire y donde se quiere aprovechar el costo menor de los abanicos de aletas hacia adelante y operación silenciosa debe siempre proveerse un sistema para controlar la velocidad. Cuando el abanico está impulsado por un motor de combustión interna con gobernador de velocidad variable, la velocidad de la máquina puede regularse ajustando el acelerador. En motores de velocidad constante como los eléctricos, poleas ajustables con faja en V pueden emplearse ventajosamente.

La temperatura máxima puede controlarse por medio de termostatos que generalmente operan por el principio de contacto y descripción, y requieren electricidad. Pero un excesivo apague y encendido resulta a menudo en la formación de humo y carbón debido a la combustión incompleta causada por el enfriamiento excesivo de la hornilla. Por consiguiente, es deseable una llama continua casi todo el tiempo. La intensidad de producción térmica depende primordialmente del consumo de combustible, el

cual se puede variar en quemadores de aceite o gas regulando el sistema de alimentación - en ejemplo remplazando una boquilla de 5 galones por hora por otra de 2 1/2 en un quemador de aceite -, o modulando el flujo con controles automáticos. Cuando se usan combustibles sólidos, la producción de calor se controla por la rapidez y con que se atice y que se suministre el aire para la combustión. En cualquier unidad térmica, están restringidos los cambios en la generación de calor dentro de los límites del funcionamiento eficiente, tienen restricciones. En quemadores de aceite de calentamiento directo, por ejemplo, el gasto de combustible debe ser lo suficientemente alto para mantener temperaturas de combustión favorables, o el humo excesivo es inevitable. El consumo máximo de combustible está limitado por el espacio de combustión, ya que es necesario que el aire y el combustible se mezclen bien y que se dé tiempo suficiente para que el proceso se complete. Con suministros de combustible demasiado altos, la combustión resultará incompleta y se obtendrá demasiado humo o excesiva llama con temperaturas peligrosas. Desde luego, existen límites prácticos de las condiciones dentro de las cuales una hornilla puede operar satisfactoriamente, pero la facilidad de efectuar cambios y de controlar el funcionamiento dentro de estos límites, resulta siempre conveniente.

UNIDADES COMERCIALES

Muchos generadores comerciales de aire calentado y forzado están diseñados y construídos para utilizar eficientemente la energía de motores eléctricos corrientes de 3,5 y 7 caballos. Una serie de especificaciones típicas describirá las características y requisitos generales de estas unidades.

Descripción general:

El secador deberá consistir de un quemador de aceite para calentar el aire que se usa en el secamiento, un abanico con polea de faja, un motor eléctrico o de gasolina para operar el abanico, dispositivos necesarios para el control y seguridad completos, y un conducto flexible para conectar el generador al canal distribuidor de la secadora. Todas las partes que componen el sistema deben montarse de manera que formen una unidad completa y transportable, colocada sobre un remolcador de llantas neumáticas que permita su movilización de un edificio a otro o sobre las carreteras.

Abanico:

El abanico deberá tener capacidad para descargar 9000 pies cúbicos de aire por minuto contra una presión estática de 1/2 pulgada de agua. Deberá también estar facultado para propulsar 4000 pies cúbicos por minuto contra una presión estática de 1 1/2 pulg. de agua. La potencia requerida para mover el abanico no

deberá exceder tres caballos de fuerza, con las presiones y descargas antes especificadas.

Motor eléctrico:

Si se impulsa el abanico con un motor eléctrico, éste deberá ser de 3 caballos de fuerza, monofásico, de 60 ciclos y 220 voltios; con arrancador de repulsión y movimiento por inducción o capacitancia; con interruptor magnético de arranque e interruptor térmico de sobrecarga. El motor se conectará al abanico por medio de una faja en V.

Motor de gasolina:

Si se usa un motor de gasolina (u otro tipo de combustible), éste deberá comunicar al abanico, por los menos y en forma continua, tres caballos de fuerza sin que sufra desgaste, depreciación, o calentamiento excesivo.

Quemador:

El quemador deberá estar provisto de un atomizador a presión diseñado para operar con aceite No. 3 o superior. La bomba del combustible deberá contar con una tubería suficientemente flexible y segura, para facilitar el paso de combustible desde un estañón corriente de 55 gals. u otro tanque de abastecimiento colocado cerca del secador. Un depósito y colador para el sedimento deberán incluirse en la línea que conduce del tanque al quemador. La bomba de combustible y todas sus líneas deberán estar colocadas fuera del alcance de la corriente de aire caliente y alejadas de la cámara de combustión para evitar el peligro de incendio. El quemador deberá ser capaz de adicionar 780.000 BTU por hora al aire que circula en el secador. Este calor es suficiente para levantar la temperatura del aire 70°F con un flujo de 9000 pies cúbicos por minuto. El quemador debe poder regularse para operar entre el 50,75 y 100% de las capacidades anteriormente especificadas.

Secador de Calentamiento Directo:

La unidad térmica o quemador deberá consumir un máximo de 5 a 6 galones de aceite por hora. Con cualquier consumo, el porcentaje por volumen de monóxido de carbono en el aire desecante no deberá exceder de un 0.01% (1/10000). El aire deberá estar libre de olores objetables que puedan afectar la calidad del grano.

Secador de Calentamiento Indirecto:

En secadores de esta clase, el permutador de calor deberá estar diseñado para transferir al aire desecante por lo menos el 65% del calor generado en la combustión, y el quemador deberá del tipo atomizador, con un consumo máximo de 8 a 10 galones

de aceite por hora.

La ignición podrá hacerse por medio de una chispa eléctrica, la cual debe ser lo suficientemente caliente para encender el combustible a bajas temperaturas ambientes.

Seguridad:

El secador deberá estar provisto de controles y dispositivos automáticos como sigue:

1. Un control automático para paralizar todo el quemador en caso de que la llama falle, o de que haya una reducción de calor debida a obstrucción parcial de la boquilla o a cualquier otro desajuste.

2. Un control para limitar la temperatura en la corriente de aire desecante que paralice todo el secador cuando el aire se recalienta debido al fuego externo, o a restricciones o interrupciones en el flujo.

3. Los controles arriba mencionados deberán operarse eléctricamente y en tal forma que, caso de interrumpirse la corriente en ellos, el secador se paralizará y no empezará a trabajar de nuevo automáticamente.

4. Si el abanico está impulsado por un motor de gasolina, los controles descritos no deberán depender de la conección a una línea eléctrica. Para suplir la energía necesaria en los controles un generador adecuado movido por el motor de gasolina deberá ser provisto e instalado con todas las líneas y accesorios necesarios.

5. Si se emplea un motor eléctrico para manejar el abanico, la corriente deberá hacerse pasar a través de una caja de fusibles apropiada. Una salida conveniente deberá ser provista para conectar luces de extensión.

6. Todo el aire que penetre en el secador deberá pasar por un cedazo con aberturas no mayores de 1/2 pulgada de diámetro. El aire que entre en el quemador deberá pasar por una malla con orificios no mayores de 1/12 pulgada de diámetro.

Una unidad de capacidad grande, operada con un motor eléctrico de 5 caballos de fuerza, descargará aproximadamente 15,000 pies cúbicos por minuto contra una presión de 1/2 pulgada. La hornilla deberá tener capacidad para suplir vl. 300.00 BTU por hora al aire desecante, con una eficiencia en el uso del calor de 90% o mayor para una unidad de calentamiento directo, o 65% donde se usan intercambiadores.

HORNILLAS DE MADERA O SUB-PRODUCTOS

La figura 10 muestra un diseño para una hornilla de leña u otro combustible sólido y con intercambiadores de calor. En hornillas alimentadas manualmente como éstas, no es generalmente factible la operación automática y el control de temperaturas. Pero el bajo costo de combustibles fácilmente obtenibles puede más que compensar la labor adicional requerida. La capacidad calórica de tal hornilla, con aire pasando a gran velocidad sobre la superficie exterior de los fluses, puede estimarse aproximadamente asumiendo una razón máxima de intercambio término de 3,500 BTU por hora por pie cuadrado de superficie exterior de tubo. La proporción de área de intercambio térmico a área de parrilla no debe ser menor de 30 a 1 y puede ser tan alta como de 50 a 1. Si se tiene un abanico a mano la ventilación forzada y controlada puede usarse ventajosemante, y la provisión de facilidades para la limpieza periódica de los fluses por medio de una descarga máxima del abanico ayudará grandemente a mantener eficiente el intercambio de calor.

SISTEMAS PARA MANIPULAR EL AIRE Y EL GRANO

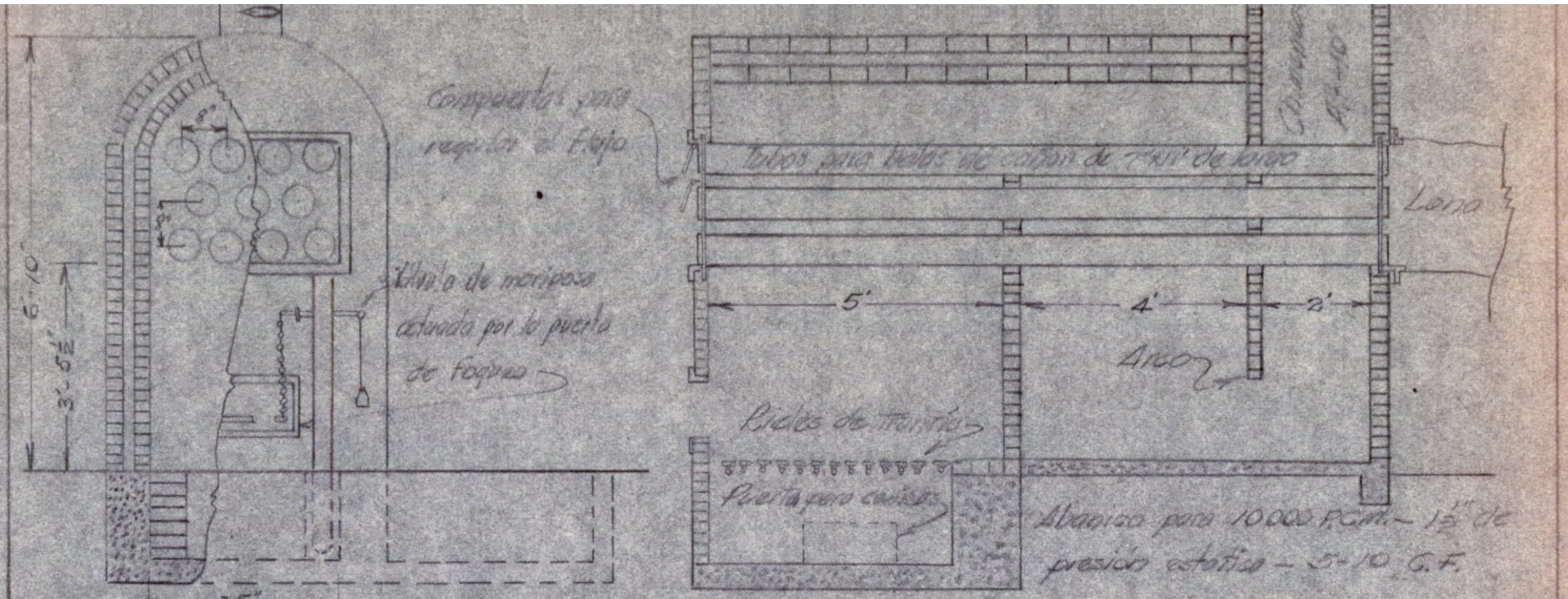
Existen muchos sistemas para manejar el grano y elaire desecante, los cuales varían en su aplicabilidad o adaptabilidad a un grupo dado de condiciones. Pueden clasificarse como sigue: (1) secadores continuos, (2) secadores por cargas, (3) secadores a granel.

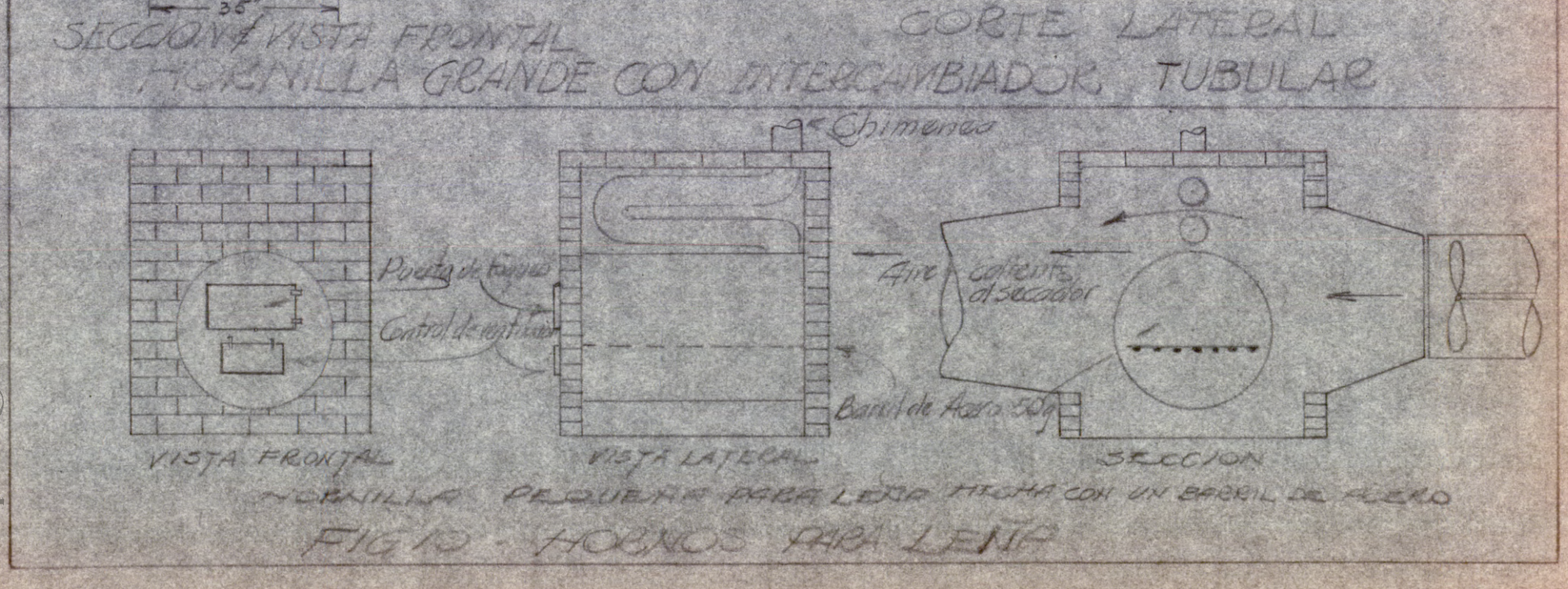
Secadores Continuos:

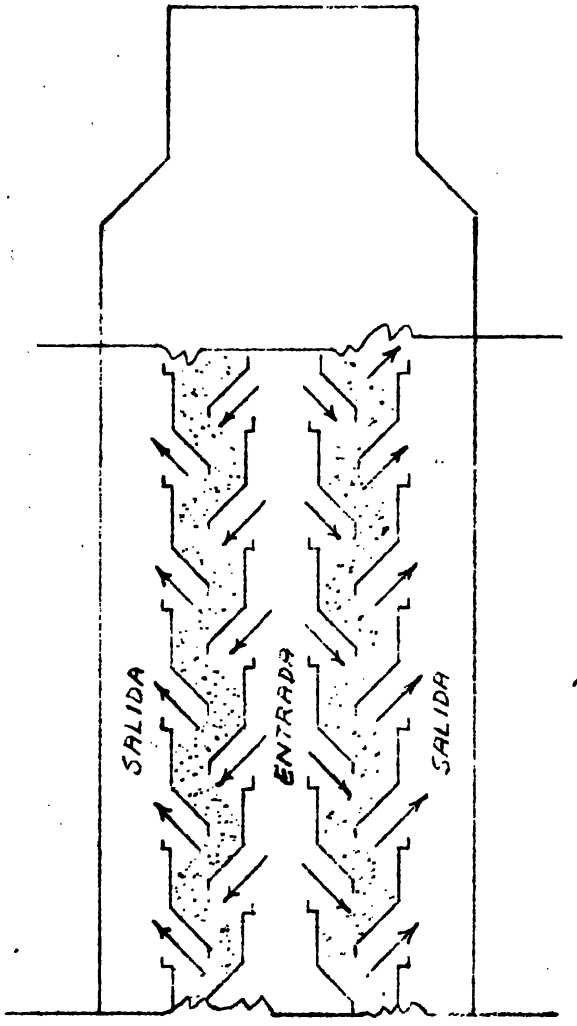
Los secadores continuos están generalmente indicados para capacidades grandes, altas temperaturas y secamiento uniforme. Aunque dichos secadores tienen un costo inicial elevado, donde es necesario secar vastas cantidades de granos, como en los elevadores terminales, el costo unitario de secamiento puede ser menor con este sistema que con los otros dos. Diversas marcas comerciales se manufacturan con una gran variación de capacidades. La figura 11 muestra varios sistemas de mezclado o inversión que se emplean en los secadores continuos para mantenerse evitando los gradientes de humedad. En los elevadores terminales de las regiones tropicales, es usualmente necesario secar eficientemente de cuando en cuando pequeños lotes de granos, y esta obligación del secador debe considerarse cuidadosamente al seleccionar su tipo y capacidad.

Secadores de Troja:

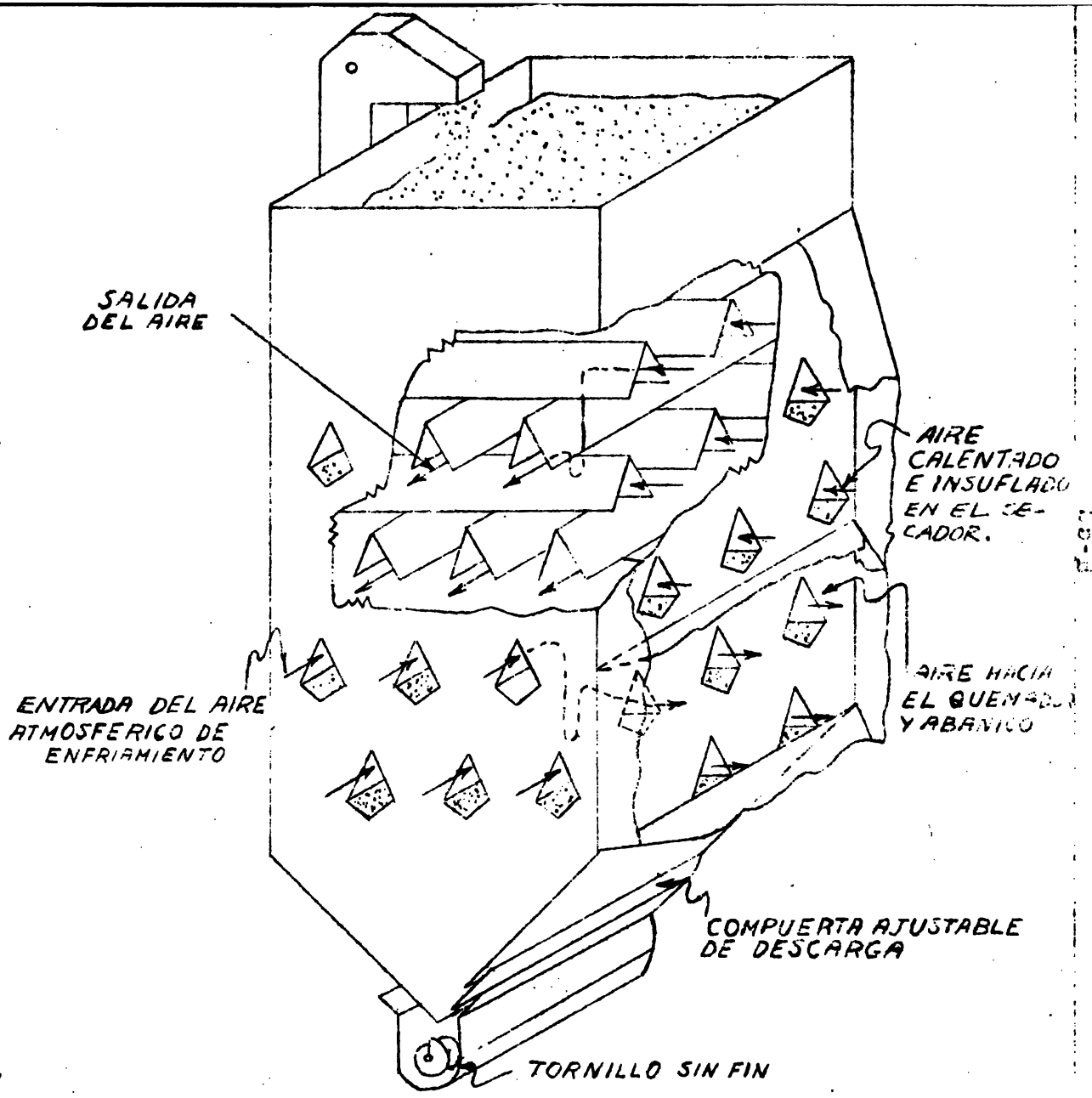
Se consideran como secadores de trojas aquellos en los cuales el grano no se mueve continuamente durante el proceso de secamiento. En algunos sistemas se efectúa el volteo periódico de los granos, mientras que en otros, estos permanecen estacionados a través de todo el secamiento. El grano se retira de







TIPO I SECCION



TIPO II-SECCION & VISTA ISOMETRICA

FIG. 11- SECADORES DE FLUJO CONTINUO

la secadora en cuanto esté seco y frío. Puede colocarse en una columna vertical (sistema de columnas), o en capas horizontales con flujo vertical del aire, como en el sistema de trojas. Una secadora de este último tipo puede emplearse para almacenar los granos después de la estación en que se secan, o un granero equipado con facilidades especiales de ventilación puede usarse como troja secadora.

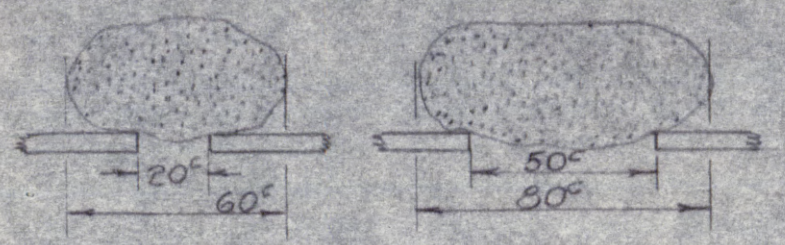
Secadores de Grano en Sacos:

Quizás el más versátil de los sistemas primitivos es el sistema de secamiento en sacos que se muestra en la figura 12. Un conducto de aire con armadura rectangular o en "A" se provee con agujeros del tamaño y espaciamiento apropiados, uno para cada saco. El aire desecante pasa al conducto central y luego, a través de los sacos, a la atmósfera. Durante el secado, se da vuelta a los sacos periódicamente, o por lo menos una vez, dependiendo en parte de las temperaturas utilizadas y la calidad de producto deseada. En tal sistema, puede esperarse que el grano seque de 1 a 1 1/2 por ciento por hora. Este sistema puede emplearse para secar arroz cosechado a máquina. Con el arroz, pueden usarse presiones estáticas de un medio a tres cuartos de pulgadas de agua, con una temperatura del aire entrante hasta de 130°F si los sacos se voltean cada una y media a dos horas. Un método práctico para determinar cuándo el arroz está seco, es seleccionar dos o más sacos de control, determinar su peso y contenido de humedad iniciales y calcular así cual debe ser su peso cuando seco. Al alcanzarse dicho peso puede considerarse el grano suficientemente seco, aunque la humedad en el centro del saco sea todavía alta. Estibando los sacos, o vaciándolos y mezclándolos, se obtendrá una igualación de la humedad en todo el grano después de unas horas.

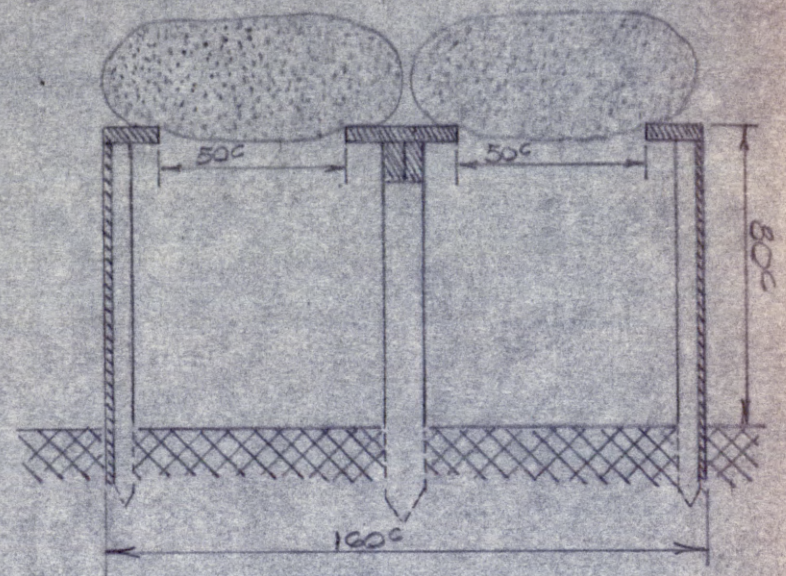
Una desventaja del secado de granos en saco es la ardua labor manual requerida. En centros comunales de secado, sin embargo, donde tienen que secarse granos de diferentes clases y distintos propietarios tienen que secarse, este sistema presenta la extraordinaria ventaja de mantener separados y hacer fácilmente identificables todos los lotes de granos.

Secado en Trailers o Carros a Remolque:

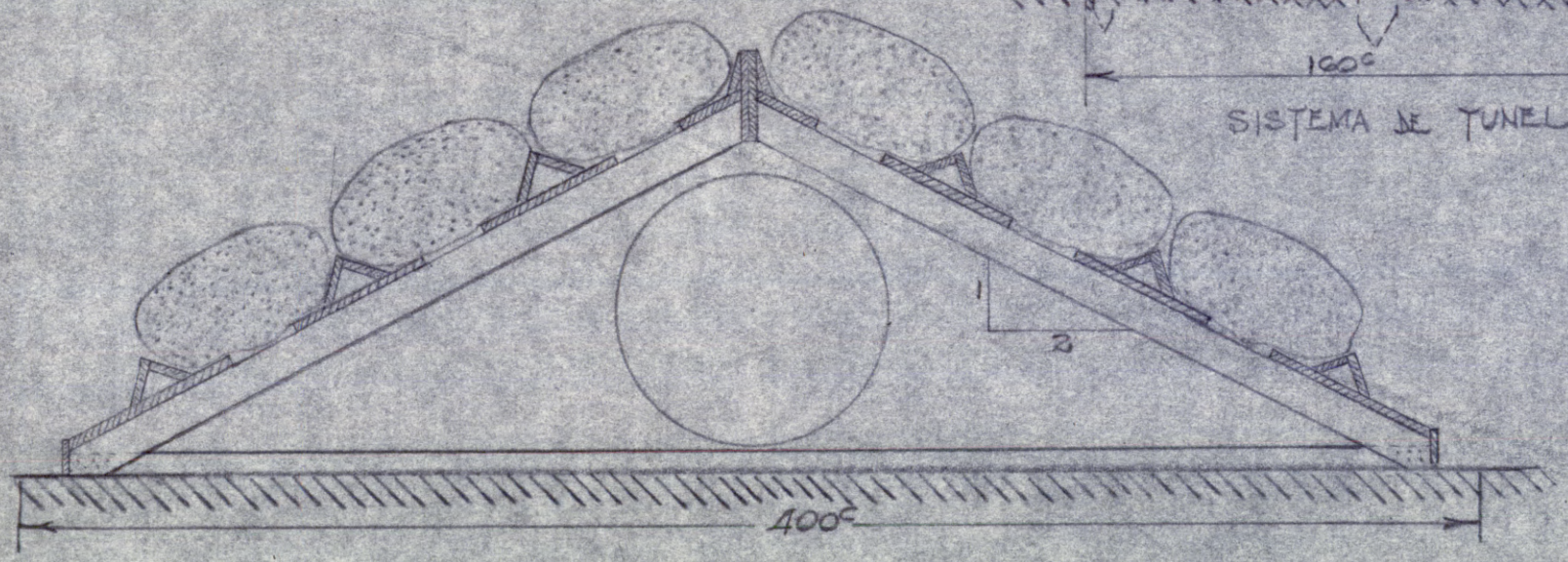
Este sistema puede usarse ventajosamente en combinación con cosechadoras-trilladoras que pasan de finca en finca ejecutando trabajos por contrato. La figura 13 ilustra un arreglo de columna en U invertida que puede emplearse en trailers de 2 o 4 ruedas. El aire caliente es insuflado a través del conducto central formado por la U invertida y atraviesa la columna de granos. El cierre de dicha U con paredes y techo a prueba de aire permite la inversión de la corriente a través del grano.



DIMENSIONES DE LOS SACOS APROX.

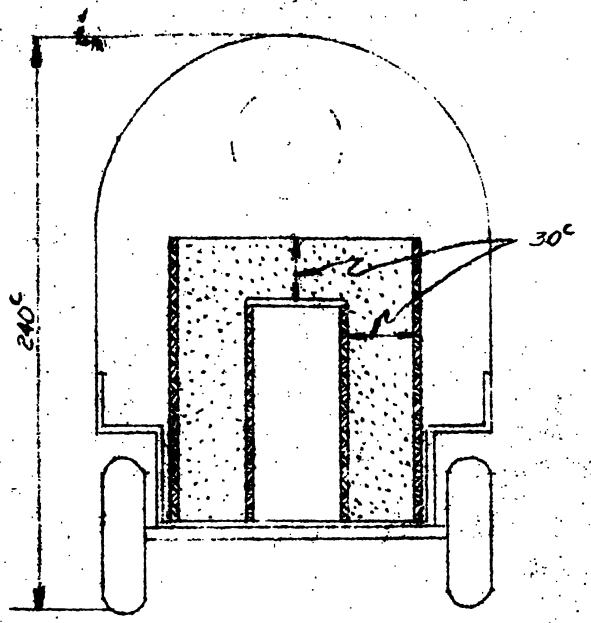


SISTEMA DE TUNEL

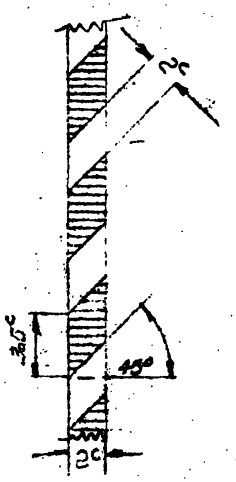


SISTEMA CON MARCOS EN - A

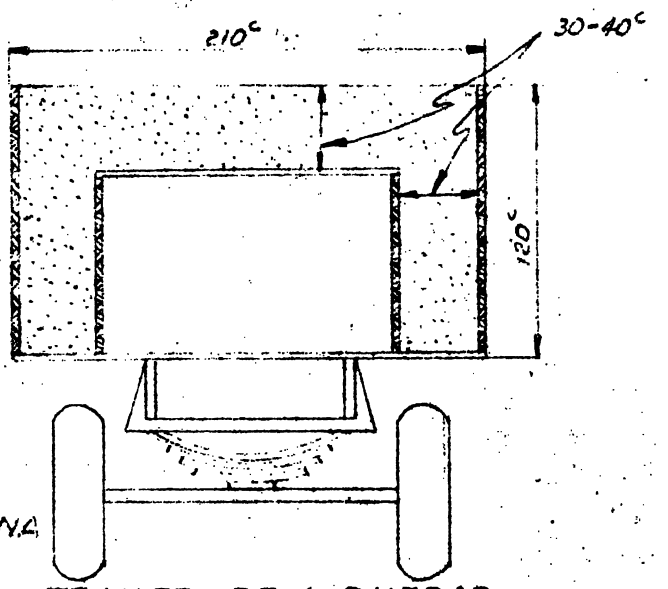
FIG 12 - SISTEMA DE SECAMIENTO EN SACOS



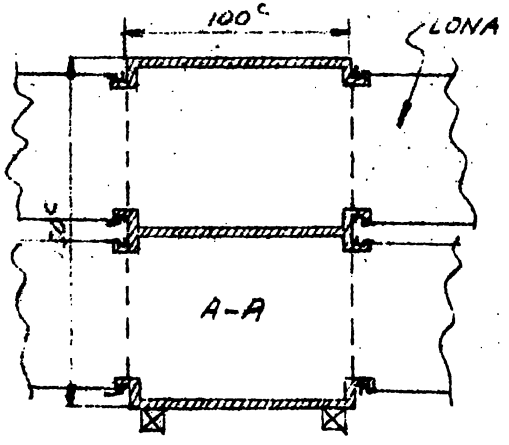
TRAILER DE 2 RUEDAS PARA SECADO, CON DIRECCION REVERSIBLE DEL AIRE.



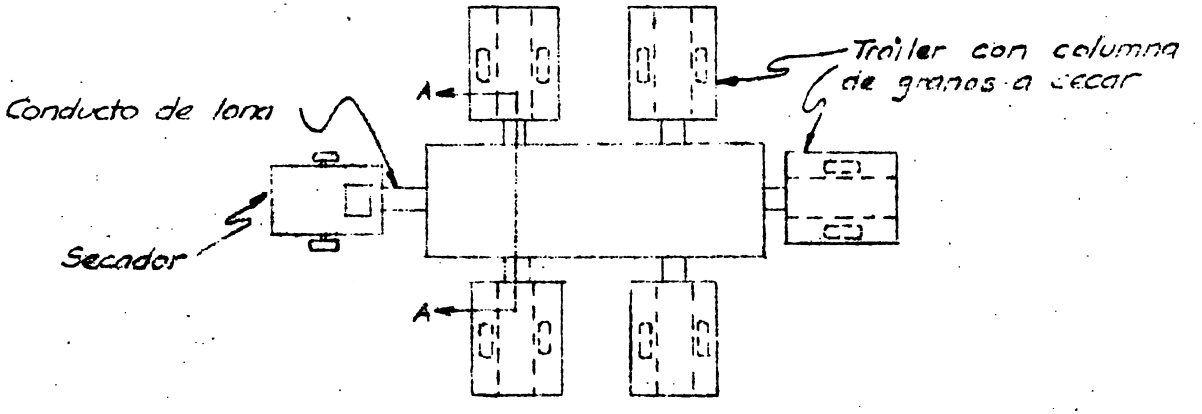
CONSTRUCCION DE LA PARED DE LA COLUMNA



TRAILER DE 4 RUEDAS CON ARMADURA PARA SECADO.



CONDUCTO PARA DISTRIBUIR EL AIRE



DISTRIBUCION DE TRAILERS PORTATILES DE 2 RUEDAS PARA SECADO.

FIG.13- SISTEMA DE SECAMIENTO CON TRAILERS DE 2 ∮ 4 RUEDAS

Algunas de las buenas características del secado intermitente pueden obtenerse en los secadores por cargas si se cambia la dirección del aire. Con flujos iguales o menores que los especificados en la tabla III, el secamiento localizado será muy marcado. Aproximadamente la mitad de la profundidad o espesor de la columna que el aire cruza estará sujeta a condiciones favorables de secamiento, pero el resto de la columna se encontrará en condiciones que sugieren el uso de métodos para equiparar la humedad. Períodos intermitentes de descanso dan a ésta oportunidad de distribuirse uniformemente, evitándose así las tensiones térmicas que resquebrajan los granos.

Por ejemplo, una exposición continúa de arroz húmedo en un aire con temperatura mayor de 100°F causa generalmente rotura de los granos. No obstante, temperaturas hasta de 130°F se han utilizado con éxito para secar arroz húmedo en sacos y en vagonetas a remolque, sin que ocurra mucho rajamiento, cuando se emplea inversión de la corriente de aire. Esta es una razón para que en una secadora de sacos, se volteen éstos periódicamente. El mismo efecto se obtiene en un trailer cubriendo la columna de granos con paredes y techo (figura 13). Y proveyendo luego una puerta corrediza a la que se conecta el conducto de aire, o una puerta con bisagras en el pasaje de entrada para encauzar el aire hacia cualquier lado de la columna. El conducto doble de aire ilustrado en la figura 13 permite el secado en más de un trailer a la vez.

La inversión de la corriente de aire desecante reduce la eficiencia térmica, pero el secamiento acelerado que se logra al poder utilizar temperaturas más elevadas puede contrarrestar dicha reducción. Las pérdidas de calor pueden reducirse también, si se desea, haciendo recircular el aire por un tiempo después de cada cambio de dirección.

Secadores de Columna Estacionaria:

Esencialmente el mismo sistema de columna que se emplea en los carros a remolque puede construirse en una estructura estacionaria, como se ilustra en la figura 14. La figura 15 muestra un elevador simple y barato para llenar las trojas. Inclinando la columna de granos a 45 grados se reduce la altura total del edificio y se permite el uso de una tolva común. Así mismo, como se explica anteriormente, la inclusión de las columnas dentro de paredes a prueba de aire permite la inversión de las corrientes.

Secadores por Cargas:

En tanto que los secadores de columna están restringidos a formas granulares de cereales y leguminosas, este otro tipo resulta más versátil puesto que el espesor de la columna de granos, o profundidad de la troja, puede modificarse al gusto para

[illegible]

[illegible]

[illegible]

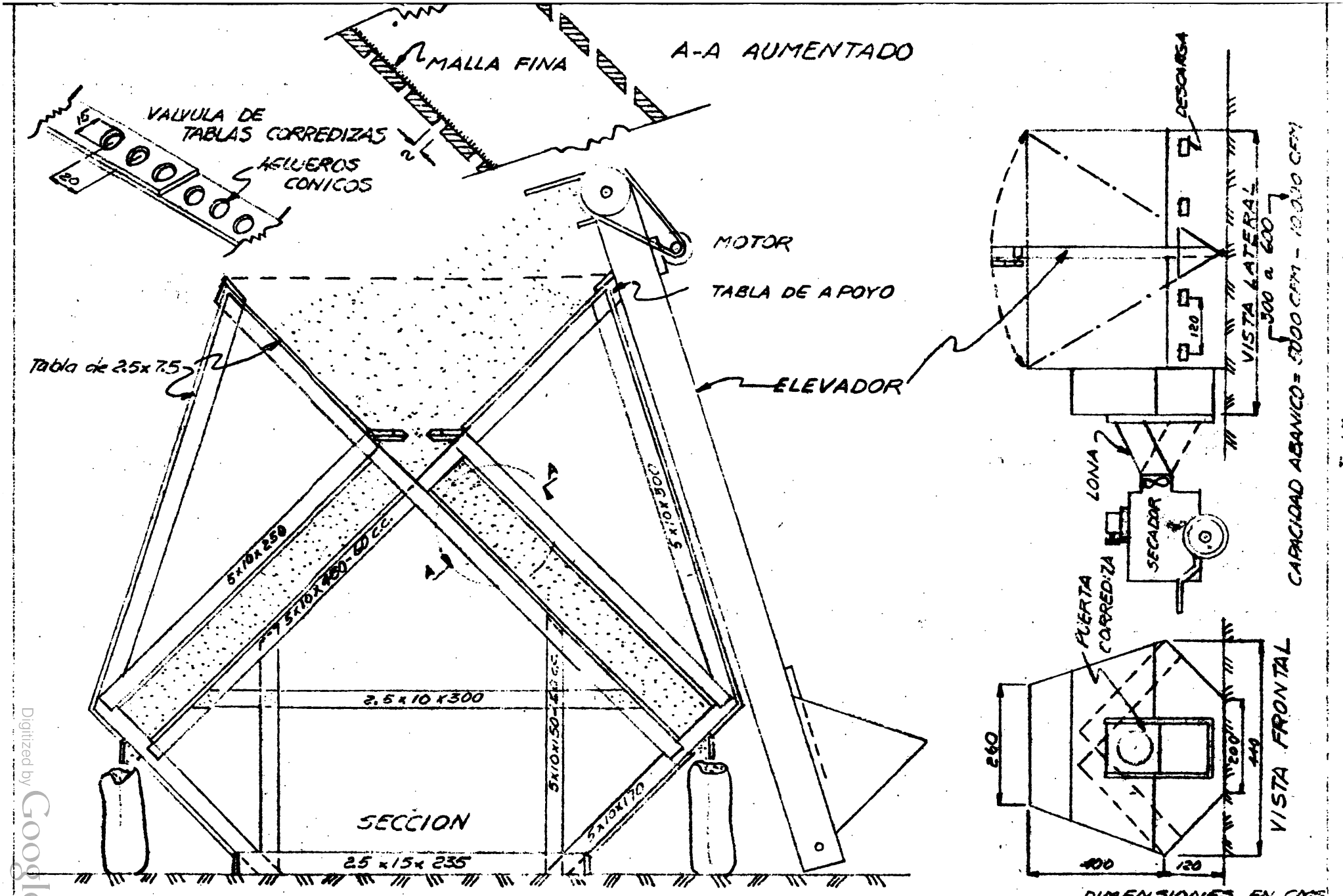


FIG. 14 - SECADOR DE COLUMNA ESTACIONARIA

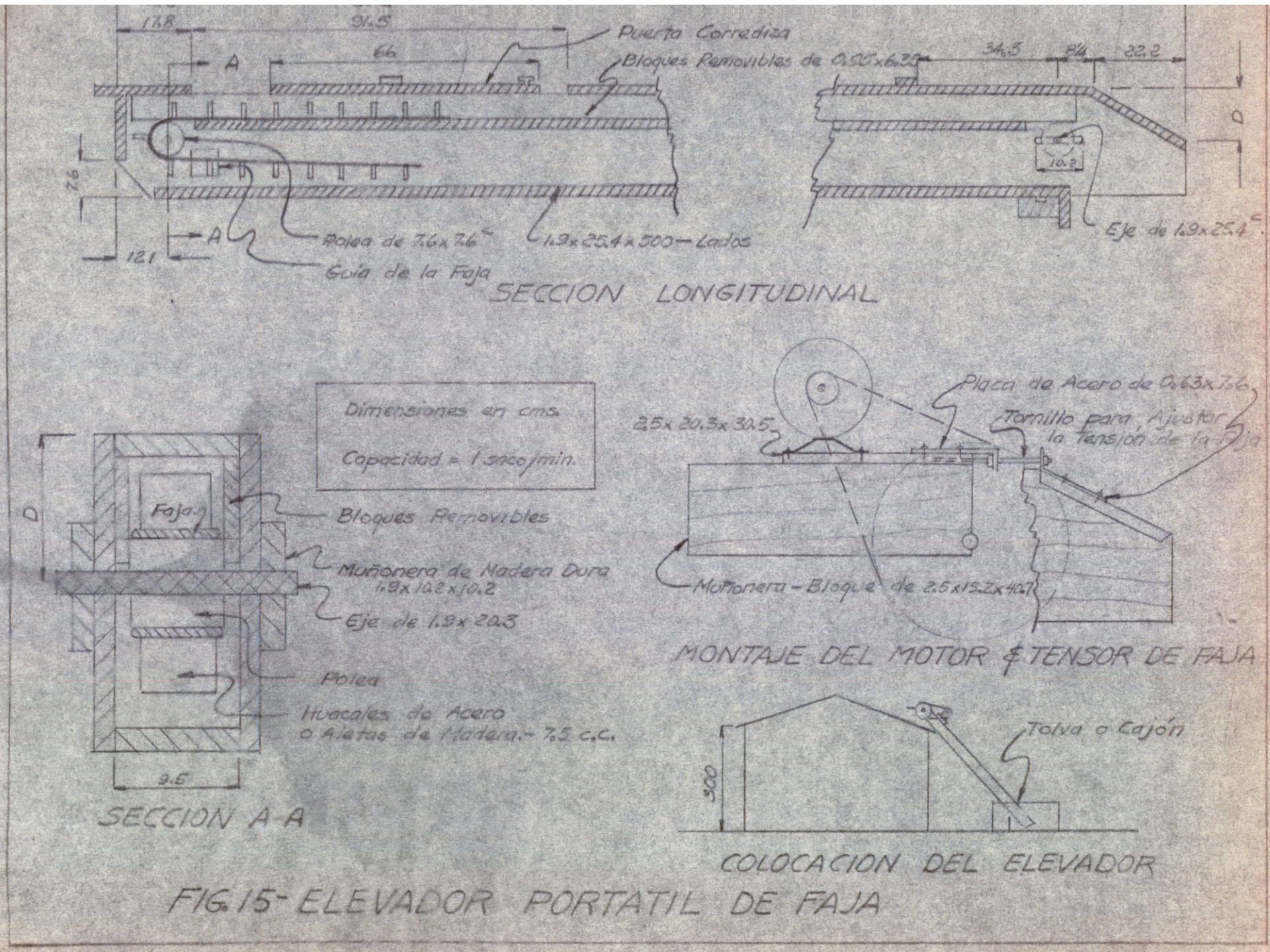


FIG. 15 - ELEVADOR PORTATIL DE FAJA

acomodar una gran variedad de formas y clases de materias - granos, maíz en mazorca, sorgo, manojos de maní, etc. Varias disposiciones de graneros y sistemas para dirigir el aire pueden emplearse, según la clase o forma de grano y la calidad deseable en el secado. La figura 16 muestra una troja secadora de diseño simple. Los pisos inclinados, cubiertos con cedazo o planchas metálicas perforadas, proveen un pasaje para el aire y facilitan el vaciado y limpieza de las trojas. Los conductores horizontales de faja pueden usarse con ventaja en este sistema.

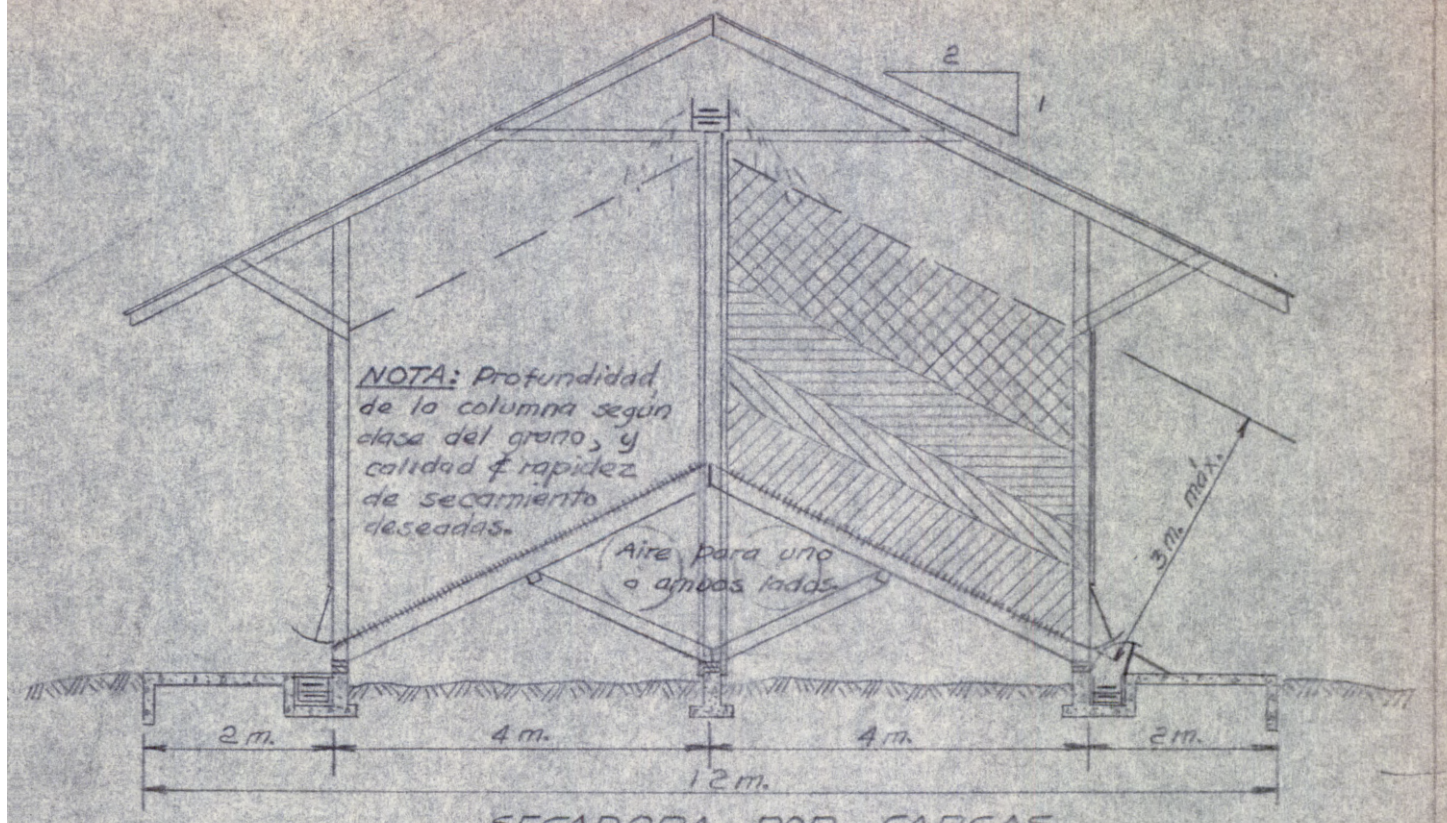
Para secar grandes cantidades de maíz en mazorcas a bajas temperaturas, como para semilla, es deseable contar con cuatro o más trojas. Con un pasaje central dividido en un conducto superior y uno inferior, como se muestra en la figura 17, el aire puede ser encauzado en las trojas de tal manera que se obtenga un secado uniforme. El aire puede insuflarse desde la parte superior de dos trojas con grano parcialmente seco, pasarse a través del conducto en el fondo de la estructura, y luego forzarse hacia arriba por una troja acabada de llenar, desde la cual es expulsado. Así pues, en un granero con cuatro compartimentos, habría cuatro períodos para cada uno: 1) vaciado y llenado, 2) ascenso de aire parcialmente utilizado en otra sección, 3) descenso de aire nuevo o entrante, y 4) igual a No. 3. Por lo tanto, en un granero con cuatro divisiones, el aire que desciende por dos compartimentos se combina y es forzado hacia arriba por una troja recién llena, mientras que la cuarta división se vacía y vuelve a cargarse.

Cuando haya que secar el maíz en mazorca antes de desgranarlo y las temperaturas altas sean permisibles, puede obtenerse un secamiento rápido y eficiente con un sistema como el ilustrado en la figura 18. Aquí el aire se hace ascender continuamente por las trojas. Cuando el compartimento inferior se encuentra suficientemente seco, se le descarga en unos pocos minutos. Entonces el contenido de la troja superior se deja caer en la inferior y aquélla se carga de nuevo inmediatamente. La capacidad desecante del aire que no se utilice en la parte inferior se aprovecha en el maíz más húmedo de la división superior. El operador puede cambiar las profundidades y los flujos de aire de modo que se obtenga una saturación casi completa del aire en todo momento.

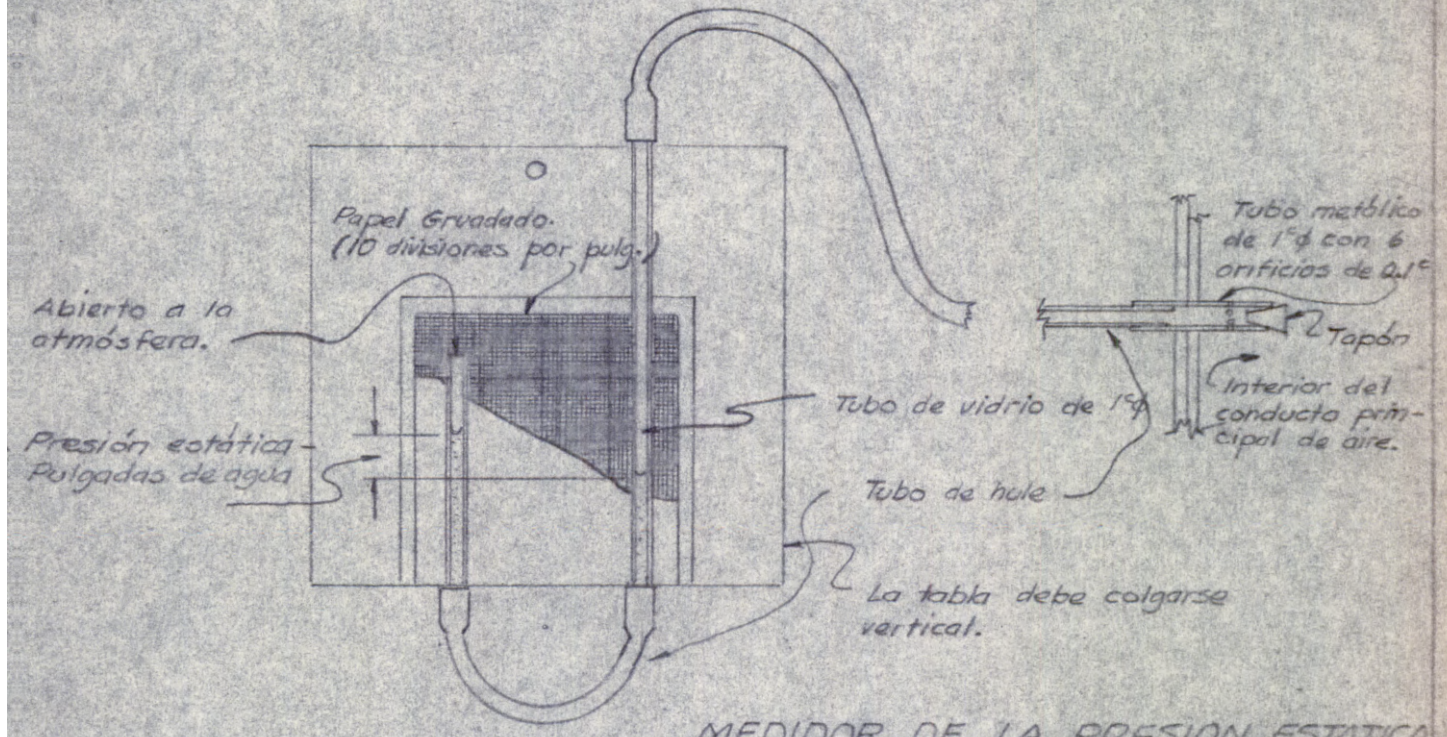
En una planta eficiente para secar mazorcas de calidad aceptable a pobre, puede esperarse que los olotes suplan un calor suficiente para secar las mazorcas si el contenido inicial de humedad en los granos no sobrepasa un 30 o 32%.

SECADO Y ALMACENAMIENTO A GRANEL

En su forma más simple, este sistema consiste de una troja equipada con un piso falso perforado que se tiende de ocho a diez pulgadas sobre el piso regular del granero. El aire



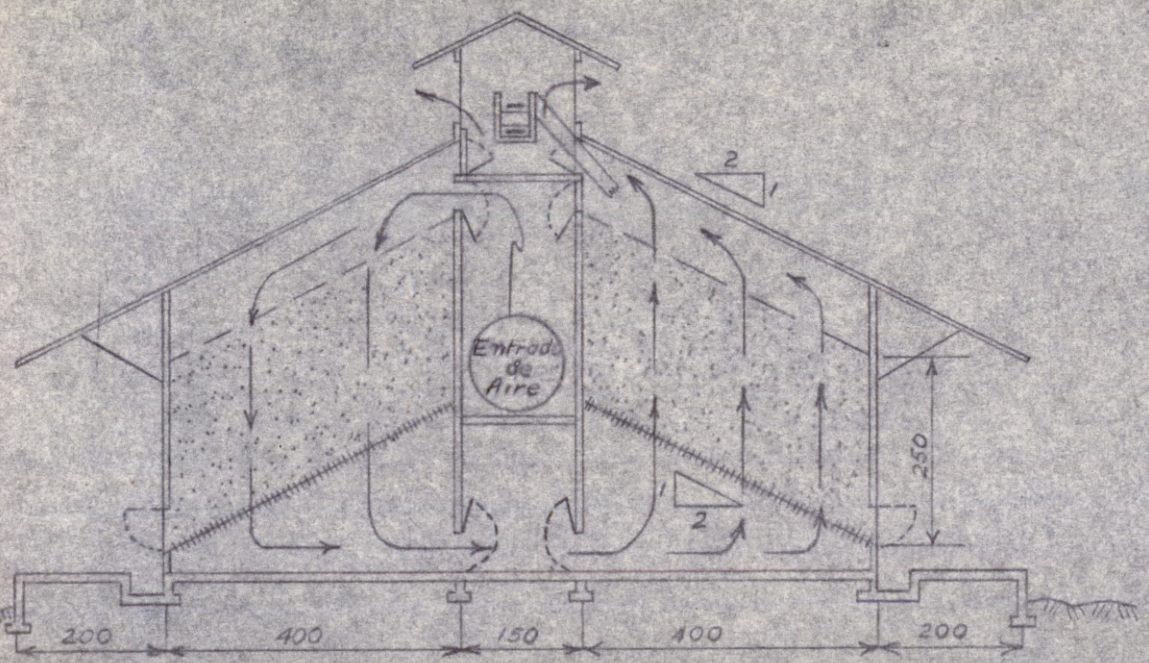
SECADORA POR CARGAS



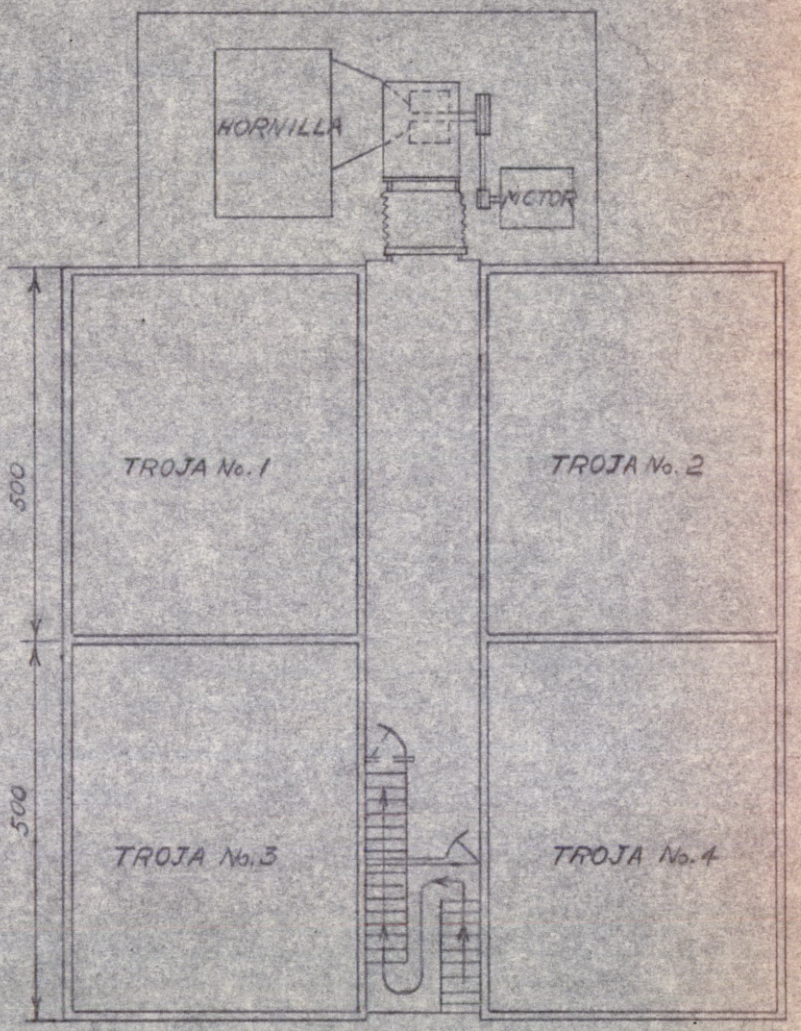
MEDIDOR DE LA PRESION ESTATICA

FIG. 16 - SECADORA POR CARGAS & MANOMETRO.

CAPACIDADES DE LA TROJA
PARA SECAR : 200 M^3 – 2800 BU. MAIZ EN MAZORCA
PARA ALMACENAR : 360 M^3 – 10000 BU. GRANO



SECCION



PLAN

FIG. 17. SECADOR DE AIRE REVERSIBLE PARA MAIZ EN MAZORCA

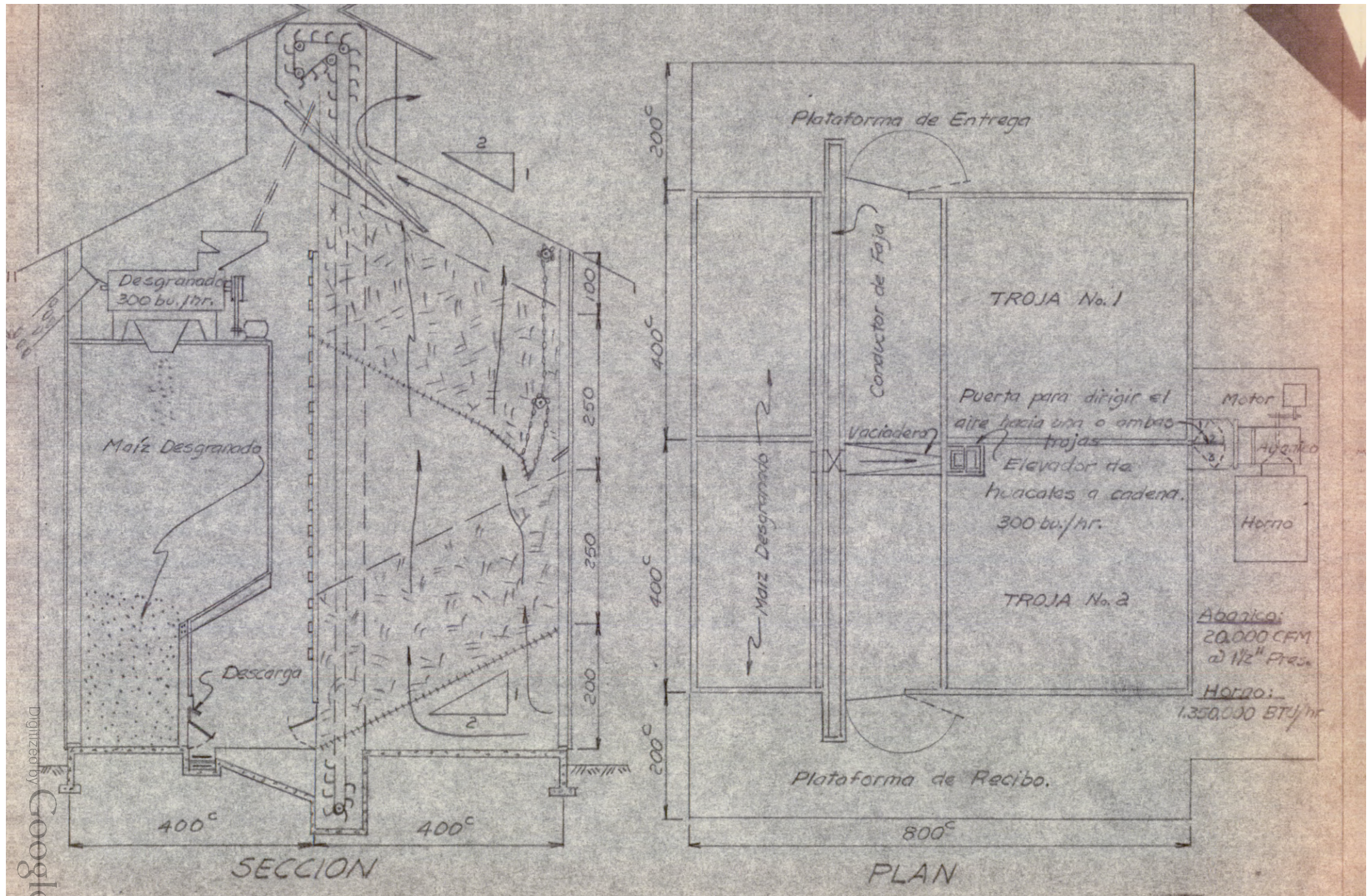


FIG. 18 - SECADORA DE TROJAS GEMELAS PARA MAIZ EN MAZORCA

desecante es forzado a través de todo el espesor de granos. Para evitar demandas excesivas de energía y prolongados tiempos de secamiento, las profundiades generalmente se limitan a ocho o diez pies si no se emplean conductos de aire en las capas superiores. El granero puede ser cilíndrico o rectangular, y sus dimensiones horizontales pueden variar mucho. Una unidad de esta clase se ilustra en la figura 19.

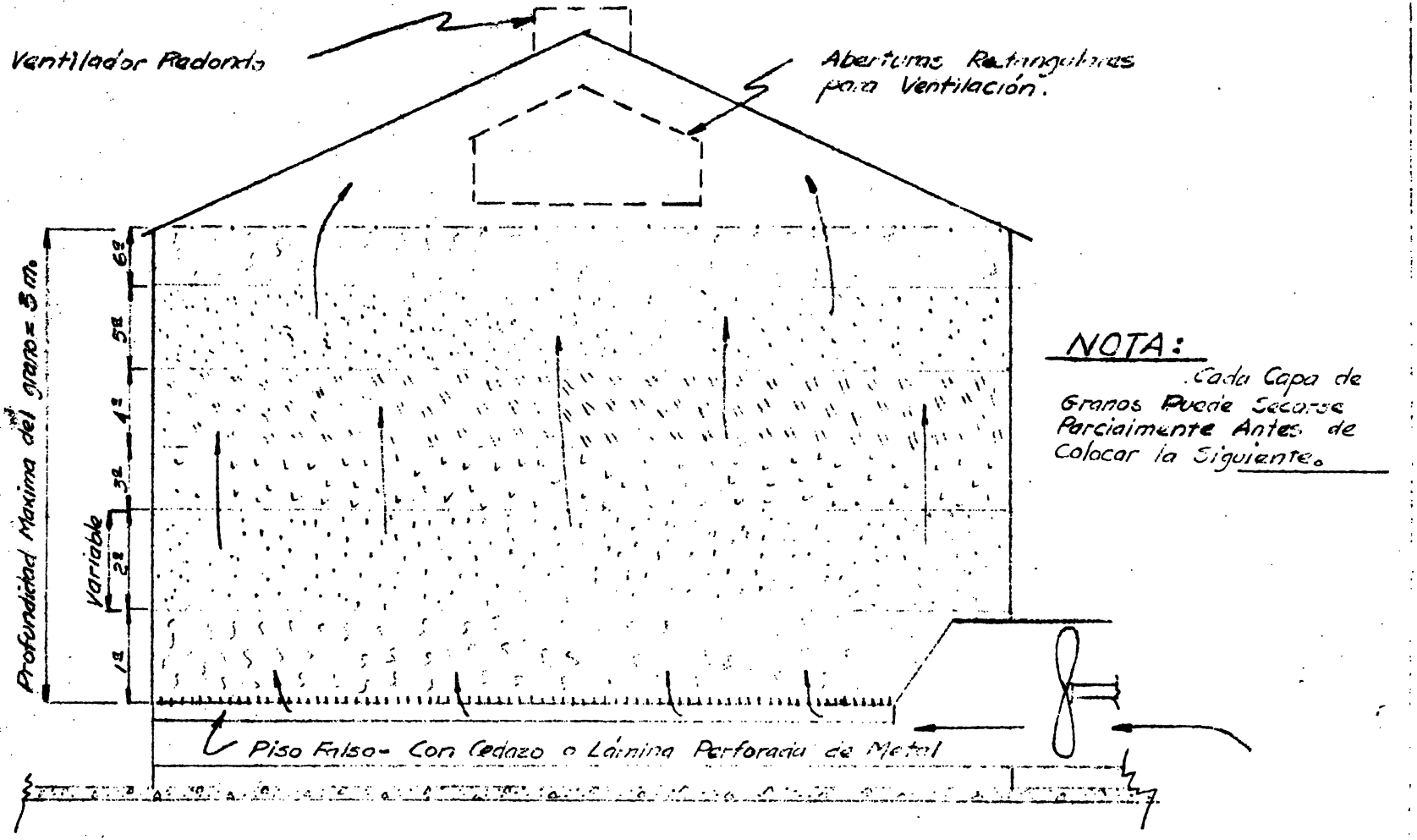
Pisos Falsos Perforados:

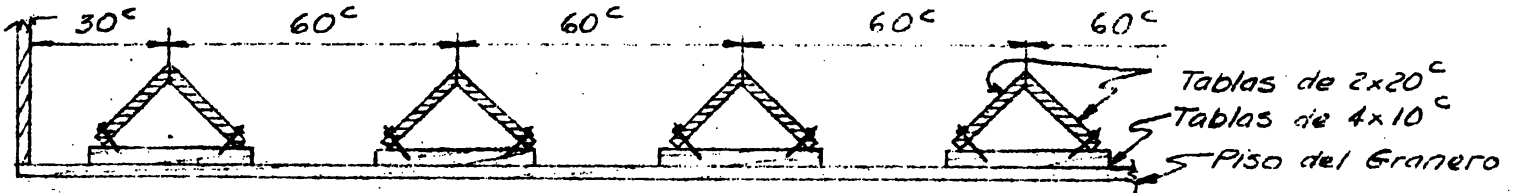
Un piso falso perforado satisfactorio para introducir y distribuir el aire puede construirse con diferentes materiales y métodos. Planchas pre-fabricadas y perforadas de metal, colocadas sobre bloques huecos de mampostería con los agujeros alineados horizontalmente para permitir el paso del aire, pueden usarse a satisfacción. Tablas forradas con cedazo grueso para apoyo y cedazo fino para evitar la filtración de granos, pueden también emplearse, aunque surge la dificultad de que la limpieza resulta difícil a menos que el piso se incline hacia la abertura de descarga. Las láminas perforadas de metal que se ilustran en la figura 20, pueden usarse con ventaja en conductos laterales sacados de un pasaje central al nivel del piso. O los conductos laterales pueden fabricarse en forma de "V" invertida (Fig. 20) con dos tablas corrientes de 1 x 8 pulgadas sobre bloques de 2 pulgadas espaciddos 2 pies de centro a centro. Los conductos de láminas perforadas y los de "V" invertida se colocan simplemente en su lugar y pueden removerse fácilmente cuando se limpia el granero.

El requisito funcional de cualquier sistema es buena distribución del aire sin excesivas pérdidas por fricción debida a altas velocidades o constricciones. La velocidad óptima del aire en los pasajes está usualmente en la región de 1000 a 1600 pies por minuto.

Fluses en la Masa de Granos:

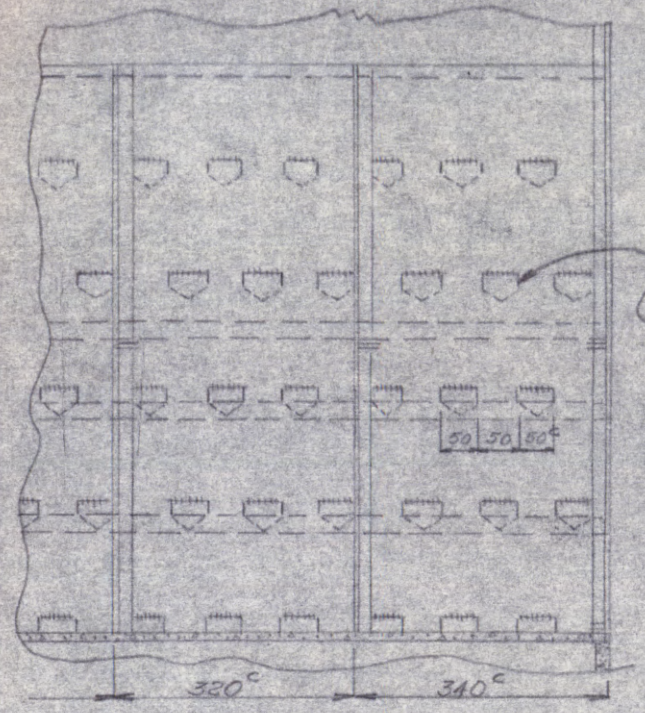
Las desventajas de los altos requisitos de energía de los abanicos con profundidades de grano mayores de cuatro pies, o las reducidas razones de secamiento resultantes; la severa localización del secamiento o el secado desigual que ocurre cuando se usan altas temperaturas; y la dificultad para secar las capas superficiales que se coloquen sobre los granos ya secos y fríos, - todo lo cual es característico de los sistemas de piso perforado simples-, pueden remediarse en parte con la introducción de tubos distribuidores en la masa de granos. Uno de estos sistemas se ilustra en la figura 20. Los fluses consisten de traviesas conectadas a miembros verticales en ambos lados de la troja. Las cubiertas de los conductos, que son removibles, consisten de planchas de acero de 8 x 18", pre-fabricadas. El ángulo de reposo formado por los granos provee un área adicional para el flujo del aire. En los conductos largos se colocan miembros aserrados diagonalmente sobre las traviesas



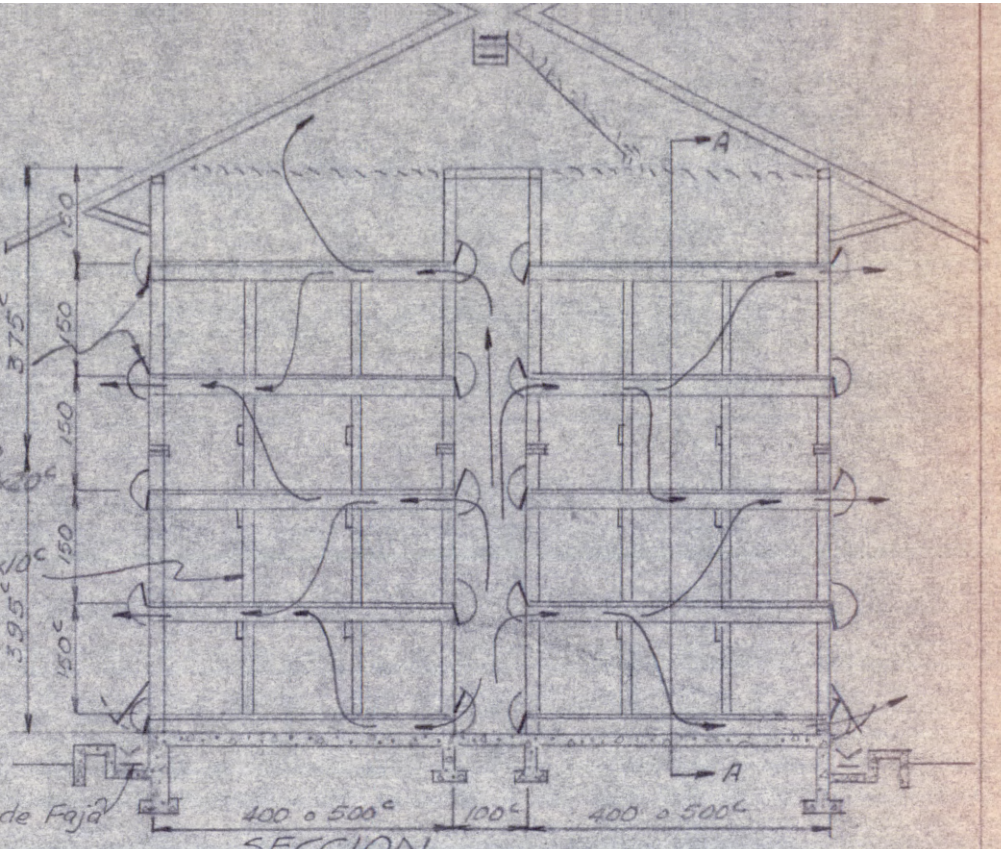


PISO REMOVIBLE, USANDO CONDUCTOS EN V INVERTIDA

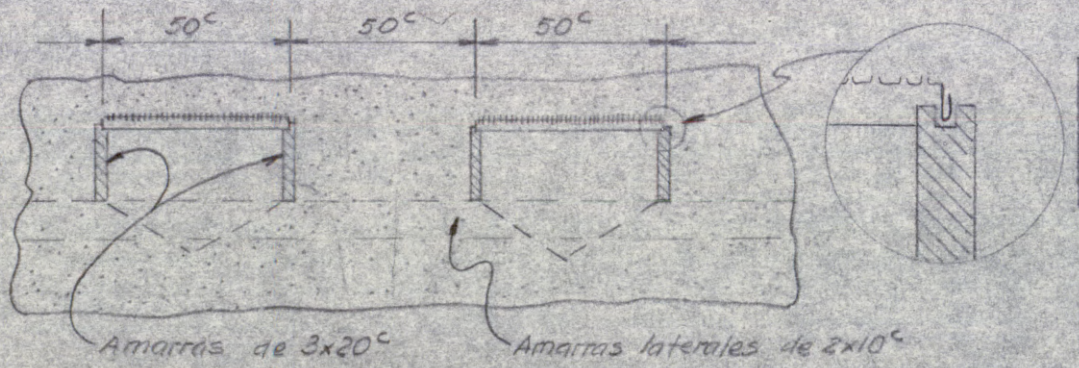
FIG. 19- TROJA PARA SECAR Y ALMACENAR A GRANEL



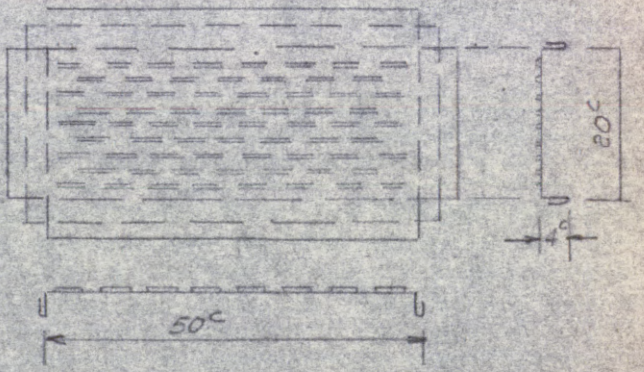
SECCION A-A



SECCION



DETALLE DE LOS CONDUCTOS DE VENTILACION



CUBIERTA METALICA DE LOS CONDUCTOS

Perforaciones de Aprox. 0.3x4c

FIG. 20- TROJA VENTILADA DE MADERA PARA ALMACENAMIENTO.

a la entrada del aire, para prevenir una distribución pobre debida a velocidades excesivas en la entrada o salida de los pasajes. La introducción de capas horizontales de tales fluses en el grano, hace que la profundidad máxima que debe atravesar el aire sea igual al espaciamiento vertical de dichas capas. Por consiguiente, cada estrato de granos puede secarse separadamente. Esto permite acomodar granos húmedos que pueden secarse después. Con profundidades menores se obtienen secamientos acelerados con reducido gasto de energía. Un secado uniforme en todo el granero puede lograrse bajando al nivel deseado el contenido de humedad de cada capa y recirculando entonces el aire despaciosamente de abajo hacia arriba. Lo anterior igualará la humedad en toda la profundidad de la troja.

Secamiento Progresivo en un Sistema a Granel:

Cuando únicamente se usa un piso falso perforado, un método de secado que puede emplearse con ventaja en granos cosechados mecánicamente es la provisión de suficiente área de piso, de manera que no más de uno o dos pies de grano sean añadidos por día. Así, la capa formada por la recolecta cotidiana puede secarse, total ó parcialmente, en la tarde o por la noche. Con un sistema tal, el secado inicial de cada estrato puede efectuarse a temperaturas de menos de 110°F. A medida que la profundidad aumenta, la temperatura del aire aplicado puede subirse progresivamente hasta el nivel de 130 a 150°F., de acuerdo con la calidad del grano y su destino. Es evidente que las temperaturas aumentarán progresivamente en el grano más seco. Tal tipo de exposición a temperaturas altas generalmente causa poco o ningún daño a la calidad o poder germinativo del grano, pero reseca considerablemente las capas inferiores. Esta excesiva sequedad puede ser ventajosa en regiones cálidas y húmedas, sin embargo, ya que destruye los insectos y prácticamente previene el retorno de cualquier infestación. Tal secamiento excesivo puede lograrse con calor que de otro modo se desperdiciaría, y por consiguiente, se ocasionará sólo un pequeño o ningun aumento en el costo.

CALCULO DEL CALOR Y TIEMPO DE SECADO REQUERIDOS

Sería ventajoso poder estimar con exactitud el tiempo de secado y la demanda térmica en un sistema propuesto. Sin embargo, los intentos para obtener cálculos exactos se tornan bastante complicados, y con nuestros conocimientos actuales resultarían apenas valores aproximados. Los resultados más seguros se logran haciendo estudios u observaciones en sistemas similares. Ciertamente, procedimientos de cálculo relativamente simplificados son valiosos para controlar la operación del sistema o para predecir el efecto de cambios en las condiciones de operación.

Un control simple y rápido de la eficiencia calórica de cualquier secador es la medida de la humedad relativa del aire exhausto. En granos húmedos con contenidos de humedad iguales o mayores

a los que corresponden a una humedad relativa de 100% en equilibrio, el aire utilizado puede descargarse muy cerca del punto de saturación, a despecho de la temperatura de entrada. En secadoras por cargas simples, no obstante, se hace necesario expeler el aire aún no saturado, al finalizar el periodo de secamiento, para deshumedecer las capas exteriores.

La humedad relativa del aire expulsado puede determinarse con la lectura de las temperaturas del bulbo húmedo y del bulbo seco y el uso de un gráfico psicrométrico. A menos que se emplee un psocrómetro del tipo aspirante, resulta generalmente muy difícil obtener lecturas exactas del bulbo húmedo en el aire exhausto, debido a su rápida mezcla con el aire exterior. Sin embargo, el principio de la temperatura constante del bulbo húmedo puede utilizarse con ventaja en este caso, y por consiguiente, efectuar la lectura en el aire cuando atraviesa uno de los conductos de descarga. La velocidad del aire sobre un bulbo húmedo no debe ser menor de 600 pies por minuto para obtener lecturas correctas, pero dicha velocidad en un conducto normalmente estará en la región de 1000 pies por minuto. Debe tenerse cuidado de que la gasa esté húmeda cuando la lectura del termómetro se tome, y que éste haya alcanzado una temperatura constante. Lo único que además se necesita medir es la temperatura del bulbo seco del aire exhausto. Si un probador del punto de rocío es utilizado en el aire expelido, la humedad relativa para una depresión dada del punto de rocío puede leerse directamente en la curva A de la fig. 1.

UN METODO APROXIMADO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD SECADORA DE UN SISTEMA PROPUESTO

Basado en la asunción arbitraria de que un promedio total de 60% del calor utilizable en el aire desecante se usará para evaporar agua del grano, y de que todos los materiales serán secados hasta un promedio de 12% de humedad, el método siguiente es una solución relativamente simple y directa que proporcionará alguna idea de la capacidad de secamiento de un sistema propuesto. Con la experiencia como guia, la cifra de 60% puede ser aumentada un poco para ciertas condiciones y sistemas, o debe decrecerse para otras. En realidad, es apenas un indicador y depende del tipo de sistema y de las condiciones del grano y del aire. Tres valores deben conocerse o asumirse:

1. Cantidad de aire desecante. Esto se expresa convenientemente en términos de libras de aire por minuto por bushel de grano seco.

2. Capacidad desecante del aire. Las libras de agua que cada libra de aire puede evaporar y absorber.

3. Carga de secamiento del grano. Las libras de agua que deben ser removidas por cada 100 libras de grano seco (v.g. grano con 12% de humedad)

Ejemplo Ilustrativo:

Asúmanse los siguientes valores o condiciones:

1. Cantidad de aire: 15 pies cúbicos por minuto por bushel (1 lb. por minuto por bushel)

2. Capacidad de secamiento.-
Asúmase aire atmosférico:
68°F punto de rocío
77°F bulbo seco; caliéntese el aire a
131°F bulbo seco
Las propiedades de este aire caliente, según el gráfico, son:
84.5°F bulbo húmedo
180.5 granos por libra de aire seco a 84.5 y saturación
-103.0 granos por libra de aire seco a 68°F punto de rocío
77.5 granos por libra de aire seco como aumento de humedad.
77.5 x 60% es igual a 46.5 granos o 0.00664 libras

3. Carga de secamiento según la tabla II (asúmase un contenido de humedad inicial de 24%).
15.8 libras por 100 libras de grano seco =
8.84 libras por bushel (maíz desgranado)
El tiempo de secado, por lo tanto según los cálculos vale:

$$8.84 \frac{\text{lbs. agua}}{\text{bushels}} \times \frac{1 \text{ lb. de aire}}{0.00664 \text{ lb agua}} \times \frac{1 \text{ bushel min.}}{1 \text{ lb de aire}} = 1{,}330 \text{ min,}$$

es decir, 22 horas de secamiento.

El tiempo de secado puede reducirse proporcionalmente aumentando la cantidad de aire hasta un cierto punto. Mayores aumentos del flujo de aire, empero, no darían un tiempo de secado proporcionalmente disminuido. Esto es así porque cierto tiempo mínimo es necesario para que el aire recoja del grano su carga óptima de humedad.

LIMITACIONES EN LA CANTIDAD DE AIRE CONTRA EFICIENCIAS EN LA UTILIZACION DEL CALOR

La máxima cantidad de aire que puede usarse manteniendo eficiencias buenas en el uso del calor cedido por el aire, depende casi enteramente de la temperarura con que el aire entra y de la humedad y clase de grano. El maíz desgranado es uno de los granos que secan más despacio y el arroz uno de los que lo hacen más rápidamente. En sistemas donde el aire circula solamente una vez, las cantidades máximas de aire consistentes con buena eficiencia en el uso del calor han sido calculadas y se tabulan en la tabla III abajo.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Tabla III

Cantidades máximas de aire apropiadas para secadoras por cargas o al granel, para eficiencias térmicas buenas y para 4 temperaturas del aire desecante y 2 contenidos de humedad granular inicial

Temperaturas de entrada del aire		Pies cúbicos por libra de aire seco	Pies cúbicos por minuto por bushel 1/					
			Mazorcas 2/		Maíz en grano		Arroz en granza	
			Humedad inicial en el grano					
°F	°C		35%	24%	24%	18%	24%	18%
149	65	15.7	26	14	45	30	65	40
131	55	15.2	20	10	35	20	50	30
113	45	14.45	17	8	25	15	35	20
95	35	14.3	12	6	20	10	25	10

1/ Un bushel es igual a 35.24 litros, igual a 1 1/4 pies cúbicos.
Un bushel es igual a 56 libras de maíz seco.
Un bushel contiene 45 libras de arroz en granza seco.
Para maíz desgranado, multiplíquese $\frac{PCM}{bu.}$ x 4 para obtener $\frac{PCM}{100\ Kg.}$ (aproximadamente)

Para arroz, multiplíquese $\frac{PCM}{bu.}$ x 5 para obtener $\frac{PCM}{100\ Kg}$ (aprox.)

2/ El maíz seco en mazorca pesa aproximadamente 1 1/4 veces más, y tiene un volumen doble, que el maíz seco desgranado.

Estos son valores aproximados, en el límite superior y basados únicamente en consideraciones de eficiencia térmica. No pueden interpretarse como condiciones óptimas o deseables, puesto que otros factores deben también considerarse, tales como la potencia del abanico y el efecto de la rapidez de secamiento en la calidad del producto seco.

CAPACIDAD DESECANTE DEL AIRE

Los valores dados en la tabla II se basan en las asunciones de un aire atmosférico con humedad alta y de que solamente 60% del calor extraído puede ser utilizado. El contenido de humedad del aire entrante corresponde a su temperatura del punto de rocío. La humedad máxima teórica del aire exhausto corresponde a la temperatura del bulbo húmedo en el punto de humedad relativa equilibrante, según la figura 1. Para humedades del grano sobre 24% este valor es de 100%, o la humedad corresponde a la intersección de la línea del bulbo húmedo y la curva de saturación. Ambos valores de la humedad pueden leerse directamente en el gráfico.

CARGAS DE SECAMIENTO

La carga de secamiento o cantidad de humedad a remover en un lote dado de granos depende lógicamente de la diferencia entre sus contenidos de humedad inicial y final. Estos cálculos asumen 12% como la humedad final, y las cifras de la tabla II pueden así usarse directamente. No todos los granos necesitan secarse al 12%. Para almacenamiento a corto plazo en sacos los contenidos de humedad correspondientes al valor crítico de humedad relativa de 75% (Fig. 1) pueden ser satisfactorios, aunque tales condiciones de humedad no proveen un margen de seguridad y en climas cálidos no prevendrán el desarrollo de mohos por más de un mes o dos.

En secadoras por cargas, donde el grano junto á la entrada de aire se seca más que el grano cerca de la salida, que generalmente no se seca lo suficiente, la humedad media puede ser llevada al nivel deseado. Mezclando bien el grano al sacarlo de la secadora y almacenarlo, se equipararán las diferencias de humedad. Debe tenerse cuidado de obtener una muestra que represente verdaderamente las condiciones del grano en el secador, si se desea una apreciación exacta del contenido medio de humedad.

Con los tres valores anteriores conocidos o asumidos (cantidad de aire, capacidad desecante del aire y carga de secamiento) el tiempo de secado puede estimarse para secadores por carga o a granel, y pueden efectuarse comparaciones para diferentes condiciones de secado.

ABANICO, MOTOR, Y QUEMADOS

Un galón de aceite combustible No. 3 tiene aproximadamente 133,000 BTU, de los cuales - en un secador de calor directo donde los gases de combustión son acarreados por el aire desecante - 120,000 BTU pueden considerarse como utilizables para incrementar la temperatura del aire. Se necesitan 0.24 BTU para levantar la temperatura de una libra de aire seco en un grado farenheit. Si fuera incluido el calor necesario para cambiar la temperatura del vapor en un aire con un punto de rocío de 68°F, el calor requerido para levantar un grado farenheit la temperatura de la mezcla de aire y vapor sería aumentado apenas a 0.245 por libra de aire seco. Así pues, el calór demandado por el vapor de agua es generalmente descartable y, por consiguiente, no se toma en cuenta. Para cada 10°C de aumento de temperatura del aire, un galón de aceite (120,000 BTU) por hora puede suministrar suficiente calor para aproximadamente 7,000 pies cúbicos de aire por minuto.

Un problema ilustrativo demostrará un método para diseñar un sistema de secado (motor, abanico, horno y estructura para alojar el grano)

1. Asúmase una rapidez de cosecha de 300 bushels diarios de maíz desgranado con 24% de humedad, y una secadora que va a ser operada solamente 10 horas. El resto del día puede entonces usarse para demandas de emergencia. Un bushel de maíz seco pesa como promedio 56 libras; de modo que lo anterior representa 16,000 libras de maíz, lo cual, con una carga de secado de 15.8 libras de agua por 100 libras de maíz seco, (tabla II) representa 2,660 libras, o 320 galones, de agua a remover.

2. Se selecciona una temperatura del aire desecante, digamos 55°C. Con un aire atmosférico de 25°C de temperatura del bulbo seco y 20°C de punto de rocío, esto representa un aumento de temperatura de 30°C, que debe ser suplido por el combustible.

3. Como asunción inicial, puede usarse una eficiencia en en el secado de 7 galones de agua por galón de combustible . El cálculo tentativo de la demanda de combustible es, entonces, de 4.56 galones por hora.

4. Pruébese una cantidad de aire de 35 pies cúbicos por minuto por bushel (tabla III). El flujo total de aire requerido es así de 10.500 pies cúbicos por minuto.

5. Determínese el aumento de temperatura de esta cantidad de aire con 4.56 galones de combustible por hora:

$$\frac{7.000 \times 4.56}{10.500} = 3.04 \times 10 = 30.4\ °C$$

6. Asúmase que puede conseguirse un secador que se somete aproximadamente a las especificaciones dadas en la página 22 Asúmase que el abanico es del tipo de propulsión, con diámetro de 27 pulgadas, conectado a un motor de tres caballos y 2,400 revoluciones por minuto, y con una curva característica de funcionamiento como la curva B de la figura 8.

7. Según la información provista en las figuras 8 y 9, proporciónese esta masa de maíz desgranado de manera que el abanico descargue cerca de 10.500 PCM.

Pruébese primero con una columna de 1 pie de profundidad o espesor (300 bushels son 375 pies cúbicos). Por consiguiente, el area de exposición del maíz o la cara interior de la columna será de 375 pies cuadrados. La velocidad del aire a través de esta columna tendrá que ser de 10.500/375, o 28 pies cúbicos por minuto por pie cuadrado de área expuesta. De la figura 9, la presión estática requerida para forzar 28 pies cúbicos por minuto

a través de un pie de maíz desgranado, se encuentra que es 0.32 pulgadas de agua. Agreguése 0.6 pulgadas a ésto valor para compensar las pérdidas por fricción en el secador y sistema de distribución. Ahora compruébese la descárga del abanico contra una presión estática de 0.92 pulgadas (curva B, figura 8), la cual se encuentra que es de 10,400.

8. Ahora calcúlese de nuevo el tiempo de secado, por el método ilustrado en la página

   a. Flujo de aire = 10,400 PCM = 684 libras de aire seco por minuto.

   b. Absorción de humedad - Del ejemplo en la página se desprende que la absorción de humedad por libra será aproximadamente de 0.00664 libras, lo que multiplicado por 684 da 4.55 libras de agua por minuto.

   c. La carga de secado para 300 bushels de maíz desgranado con 24% de humedad es de 2,660 libras de agua.

Por consiguiente, el tiempo de secamiento será, de acuerdo con estas figuras:

$$\frac{2,660}{4.55 \times 60} = 9.75, \text{ o alrededor de 10 horas.}$$

ALMACENAMIENTO DE GRANOS EN REGIONES CALIDAS Y HUMEDAS

La preservación de granos y leguminosas en regiones cálidas y húmedas generalmente requiere tres operaciones básicas: (1) acondicionamiento; (2) manipulación; y (3) almacenamiento.

El acondicionamiento adecuado puede requerir limpieza, clasificación, desinfestación y secamiento. Cualquier secamiento que sea necesario demanda atención primordial. No debe intentarse el almacenamiento de granos que estén inadecuadamente secos. Sin embargo, como se verá luego, el secado puede hacerse inmediatamente después de que los granos son almacenados.

El éxito en el almacenamiento de granos propiamente acondicionados depende de la buena administración, lo mismo del correcto diseño funcional y estructural de la construcción.

REQUISITOS FUNCIONALES PARA EL ALMACENAMIENTO SIN PELIGRO

El propósito de una troja o granero es funcionalmente similar al de una bóveda para depósitos bancarios. La función de ambos es guardar su contenido en una forma segura. Para cumplir esta tarea, un granero debe prevenir las pérdidas provenientes de daños causados por agentes internos y externos. Esto requiere protección contra los perjuicios causados por alta humedad, alta temperatura e insectos, lo mismo que contra pérdidas debidas a derrames y robos.

La buena administración se favorece y alienta con un diseño funcional correcto el cual, además de lo anterior, provee mayor facilidad y seguridad en el transporte, inspección y tratamiento de los granos, cuándo esto último se requiere durante el período de almacenamiento.

Así pues, todo granero debe tener un diseño funcional que suministre protección contra:

I Alto contenido de humedad
II Temperatura elevada
III Insectos
IV Derrames y robos

Esta protección demanda buena administración, la cual se facilita grandemente por medio de un diseño funcional para:

V Inspección
VI Tratamiento (durante el período de almacenamiento)
VII Transporte (hacia, dentro y fuera del granero)

I Alto Contenido de Humedad

La protección contra una humedad excesiva es de importancia primordial en las regiones de clima cálido y húmedo. Estas acumulaciones de humedad se presentan frecuentemente, después de un período de almacenamiento, en partes localizadas de granos inicialmente secos. Las causas que motivan la formación de estas acumulaciones son muchas y muy complejas, y por lo general se interpretan erróneamente.

La entrada directa de agua pluvial a través de huecos o rajaduras en el techo o las paredes puede sér prevenida por medio de una buena construcción a prueba de agua. El diseño y construcción inapropiados de las uniones entre el piso y las paredes permiten frecuentemente la penetración de agua dentro de la troja por estos puntos.

El paso por acción capilar de la humedad del suelo a través de pisos de concreto impropiamente mezclados y colocados causa comúnmente el deterioro de los granos inmediatos al concreto.

El contenido de agua de los granos almacenados en un granero, puede aumentar con el paso de vapor de agua a través de paredes, techos y pisos que sean permeables al mismo (aunque impermeables al agua) si el aire exterior tiene una humedad relativa más alta que aquélla en el aire intergranular de la troja. El contenido de humedad de ciertas partes de los granos puede también aumentar debido al agua extraída del aire de ventilación o del airé que se infiltra a través de la estructura. Por consiguiente, las paredes, el techo, y el piso de un granero en regiones húmedas deben de sér no sólo impermeables al agua, sino también a prueba de vapor. Aún más, la ventilación debe ser proporcionada con precauciones.

El traslado o la migración de agua dentro del granero ocurre aún en granos secos, siempre que exista una gradiente o diferencia de temperatura en la masa de granos. La intensidad de dicho traslado varía grandemente, dependiendo de la magnitud y cercanía de la diferencia de temperatura. La magnitud de esta diferencia depende del valor aislante de las paredes expuestas, de la intensidad y la duración de la radiación solar sobre las paredes, de las variaciones en el promedio de temperatura diaria debidos a las estaciones, y de la restricción o libertad en el movimiento del aire intergranular a través de la masa de granos o a través de los pasajes o conductos colocados en los granos cerca del lugar donde ocurren dichas diferencias.

La causa o mecanismo de esta migración puede ser explicada por medio de las figuras 1 y 4. Un grano con cierto contenido de humedad digamos un 13% - tiene un valor casi constante de humedad relativa en equilibrio con el aire intergranular, Fig. 1, independiente de los cambios de temperatura. Por ejemplo, maíz

desgranado con un 13% de humedad, que mantiene aire intergranular con una humedad relativa de un 65% a una temperatura de 25°C., conservaría dicho aire una humedad relativa de 65% si su temperatura fuera aumentada a 50°C. o más. De manera que un grano en almacenamiento tiende a mantener practicamente constante la humedad relativa de su aire intergranular. Pero, para un valor dado de la humedad relativa, la cantidad de vapor en el aire intergranular por unidad de volumen aumenta grandemente con un aumento en temperaturas (Fig. 4). Así, cuando la temperatura de una porción del grano aumenta, la temperatura y el contenido de vapor en el aire intergranular también aumentan, la última a costas de la humedad en el grano. Este aire con una temperatura y un contenido de humedad mayores, se vuelve menos denso o más liviano que el aire intergranular más frío de otras partes del granero. Esto da como resultado una convección natural, la cual mueve el aire hacia arriba a través de los granos. Finalmente, si dicho aire cargado de humedad se enfría o entra en una región en donde el grano está a menor temperatura, el proceso opuesto toma lugar y el grano en esta zona absorbe gradualmente agua, aumentando así su contenido de humedad. Sin embargo, si este aire con temperaturas y humedad absoluta más altas es expulsado por la parte superior del granero antes de que tenga oportunidad de enfriarse, la fase última de este proceso puede ser controlada o grandemente disminuída.

Repitiendo, la radiación solar y las fluctuaciones diarias o estacionales de temperatura térmica causan la formación de una gradiente en la masa de granos. Un traspaso de humedad ocurre entre los granos más calientes, que pierden agua, y los granos más fríos que atraviesa primero aire caliente, los cuales absorben humedad. La intensidad con que esta agua migra varía directamente con la severidad de la gradiente de temperatura. Por consiguiente, cualquier diseño que tienda a nivelar dicha gradiente disminuye la migración de agua en el granero causada por fuentes externas de calor. El problema puede ser atacado incorporando innovaciones que reduzcan la transferencia de calor tal y como se explica en la próxima sección. También los aumentos de temperatura debidos a la transferencia de calor pueden ser disminuídos colocando pequeños pasajes en la superficie interna de las paredes. Estos pasajes aumentan la velocidad de la transferencia de calor por convección, hacia arriba en las superficies del granero y luego hacia afuera a través de las claraboyas.

Generalmente, en regiones con fluctuaciones pequeñas en el promedio anual de temperatura, la acumulación de humedad en las capas superiores de los granos que inicialmente estaban secos y libres de insectos no es un problema serio si se proporciona una buena ventilación.

La localización de la humedad puede también ser causada por la actividad intensa de los insectos. El agua es un sub-producto del metabolismo de los insectos y a su vez un alto contenido de humedad conduce a un mayor desarrollo de plagas. Así unos pocos

insectos en grano secos pueden muy pronto causar condiciones favorables para una rápida propagación, dando como resultado la formación de "bolsas" de humedad.

II Temperaturas Elevadas

Los insectos producen calor, y la humedad que desarrollan pueden permitir el crecimiento de mohos, los cuales también generan calor. Así, el calentamiento de los granos puede ser el resultado de la actividad de los insectos o del desarrollo de mohos, o de ambos. Sin embargo, los insectos no pueden elevar la temperatura más allá de un cierto nivel, igual al que establece un estado de equilibrio en su actividad. También el desarrollo de los mohos tiene un alto punto terminal de temperatura. Se deduce por consiguiente, que el calentamiento del grano puede ser clasificado en dos grupos: 1) calentamiento del grano seco debido a insectos, 2) calentamiento del grano húmedo debido a mohos.

El "calentamiento del grano seco" es generalmente causado por la actividad de los insectos y puede ser diagnosticado cuando se observe que, 1) la temperatura máxima tomada en cualquier lugar de la masa de granos es de 38 a 42°C y 2) el contenido de agua en la mayoría de los granos (para maíz y trigo) es menor de 15%.

El "calentamiento del grano húmedo", que es causado por la actividad de los mohos, puede diagnosticarse notando que,1) la humedad de los granos excede de 15% y en la mayoría de los casos, pasa de 16 a 18%, y 2) la máxima temperatura excede 42°C, aunque rara vez pasando de 62°C en una masa grande de granos. Los insectos pueden o no haber estado originalmente presentes.

Rara vez un daño es causado directamente por la radiación del sol, o por variaciones cíclicas de temperatura durante el día o las estaciones; pero las temperatura elevadas, no importa su origen, son las causantes del traspaso de humedad discutido anteriormente. Temperaturas elevadas junto con humedades altas estimulan el desarrollo de mohos e insectos.

Por eso el mantenimiento de temperaturas uniformes en un depósito a granel merece una atención especial. Los aumentos de calor ocasionados por la radiación solar a través del techo y las paredes, lo mismo que el enfriamiento marcado debido a la radiación negativa durante la noche, pueden ser reducidas pintando las superficies en contacto con el aire con un blanco altamente reflectivo o con pintura de aluminio. Estas superficies deben ser mantenidas limpias y brillantes para conservar su efectividad. La provisión de sombra en los edificios también ayuda, pero prácticas tales como sombrear el techo sin hacer lo mismo con las paredes cuando la estructura es alta, pueden aumentar en vez de

disminuir el problema del traspaso de humedad. El aire caliente que se eleva por los granos junto a las paredes calentadas por el sol se enfría en los techos a la sombra. Esto interrumpe la convección natural y previene el acarreo del aire cargado de humedad hacia el exterior y a través de los ventiladores colocados en el techo. Se permite de esta manera el traslado de vapor de agua hasta la capa superior de granos, lo cual puede causar exceso de humedad y deterioro.

Medida de la Temperatura en Granos Almacenados

Si granos de alta calidad bien acondicionados no cambian su temperatura durante el período de almacenamiento, puede considerarse que no están sufriendo ningún deterioro serio. Por consiguiente, temperaturas estables en puntos seleccionados y bien distribuídos a través de la masa de granos ofrecen seguridad de que el grano se está preservando satisfactoriamente. Un aumento de temperatura en cualquier lugar puede indicar el principio de una dificultad; Por estas razones un medio conveniente para controlar periódicamente las temperaturas en una serie de puntos dentro de la masa de granos es muy deseable. Los termómetros corrientes de vidrio, especialmente si están montados en una cubierta de metal, dan lecturas falsas, a pesar de que siempre pueden indicar la presencia de una gradiente de temperatura. Es muy difícil medir con exactitud las temperaturas del interior de una masa grande de granos con procedimientos simples a base de cualquier clase de termómetros de vidrio.

Pares térmicos colocados en la troja o granero antes de llenarlo o instalados permanentemente, proporcionan el método más conveniente, fácil y rápido para leer y llevar un registro de las temperaturas de los granos durante el período de almacenamiento. El instrumento indicador usado con los pares térmicos es algo caro, pero su compra se justifica generalmente en cualquier central grande de almacenamiento que recibe granos de regiones húmedas y calientes.

III Control de Insectos

En los trópicos y sub-trópicos abundan los insectos y las cosechas se infestan frecuentemente durante la recolecta. Parte del trabajo para acondicionar el grano es, por consiguiente, la desinfestación, la cual puede llevarse a cabo antes o después de que los productos han sido puestos en el granero. Los frijoles y el maíz en mazorca son a menudo infestados durante la recolecta, pero el arroz en granza algunas veces llega del campo libre de insectos. Granos en condiciones dudosas o con infestaciones leves pueden ser mantenidos en bodega durante varias semanas sin que hayan pérdidas apreciables debidas a los insectos. Esto se halla completamente en contraste con los granos que contienen mucha humedad inicial, ya que encontrándose ambos en condiciones óptimas, los mohos pueden causar daños severos en término de pocos días,

mientras que los insectos requieren varias semanas o tal vez meses para desarrollar poblaciones dañinas. Por estas razones la desinfestación puede ser, y generalmente lo es, ignorada con pequeño o ningún daño para aquéllos granos que van a ser vendidos o consumidos inmediatamente. Por esta propensión a ignorar la desinfestación de los granos que van a ser almacenados puede resultar en infestaciones severas y fuertes pérdidas de grano en las regiones húmedas y cálidas.

Los granos adecuadamente secos cuya infestación esté dudosa pueden ser almacenados sin previa fumigación. Pero dichos granos necesitan una vigilancia constante durante el período de almacenamiento para descubrir cualquier principio de infestación. Precisamente para este propósito es que un sistema indicador de temperaturas como el descrito en la sección anterior tiene mucho valor.

La desinfestación o el control de insectos puede hacerse de diferentes maneras. Caulquiera de los cinco métodos siguientes puede servir, y por lo tanto todos merecen considerarse cuando se planea el almacenamiento de granos en regions tropicales o subtropicales:

1) Secamiento hasta una baja humedad
2) Tratamiento al calor
3) Fumigación
4) Insecticidas
5) Bodegas herméticas

Secamiento hasta una baja humedad:

En las regiones en donde un principio de infestación es muy probable, se aconseja una buena protección del grano contra el severo ataque de los insectos. El contenido de humedad de los granos afecta grandemente su susceptibilidad al ataque de insectos. La humedad excesiva favorece la propagación de insectos.

En los granos secos, el agua que los insectos necesitan para su proceso vital puede ser obtenida solamente por medio de la desintegración de sus reservas alimenticias.

Ocurre entonces una pérdida de peso y los insectos tarde o temprano mueren. Mientras que el agua requerida por los diversos insectos varía para diferentes especies, se ha demostrado que los gorgojos de arroz y otros granos por ejemplo, no pueden vivir en trigo que no tenga menos de un 8% de humedad, y que un contenido mayor es necesario para que se puedan procrear normalmente. El secado de los granos hasta una humedad menor del 10% reduce grandemente su susceptibilidad a fuertes daños causados por insectos.

Se debe tener especial cuidado en prevenir el deterioro del germen o de las cualidades físicas del grano causado por las altas temperaturas que son generalmente usadas en un secamiento

rápido hasta nivel es bajo de humedad. Dando suficiente tiempo, sin embargo, dicho secado puede efectuarse de varias maneras que requieren poco o ningún aumento de temperatura y que por consiguiente ocasionan poco daño al germen o las cualidades físicas del grano.

Tratamiento al Calor:

Exponiendo los insectos a temperaturas elevadas por suficiente tiempo se les destruye. Esto se conoce como "tratamiento al calor". Una temperatura de 60°C durante 10 minutos es fatal para cualquier insecto que sea sometido a ella. Sin embargo, la temperatura en el centro de los granos húmedos que pasan a través de un secador continuo del tipo de columna, es con frecuencia 10, 20 o más grados inferior a la del aire desecante. En secadores por cargas las gradientes de temperatura entre el centro del grano y el aire desecante son menores, y rara vez se obtiene una temperatura en el grano de 60°C sin que éste se seque hasta una humedad menor del 10%. En este caso no solamente se matan los insectos con la alta temperatura, sino que el excesivo secamiento del grano lo hace altamente resistente contra cualquier infestación posterior. En los secadores por cargas, las temperaturas elevadas y un fuerte secamiento de los granos tienden a ir unidos; sin embargo, un secamiento extremo puede ser efectuado a temperaturas bajas y el tratamiento al calor puede realizarse sin secar demasiado los granos. Pero no es práctico seguir cualquiera de los dos cuando se usan métodos de aire calentado e insuflado.

Fumigación:

No existe el desarrollo espontáneo de insectos en los granos almacenados. Alguna forma de vida tiene que estar presente para iniciar su propagación. Por consiguiente, si los granos han sido completamente fumigados, la única fuente de re-infestación es la exterior. La fumigación es usada extensivamente para esterilizar el grano contra los insectos. Este es el método que dá mejores resultados para contrarestar las plagas incipientes o avánzadas en una troja o granel o que está herméticamente cerrado.

Los fumigantes generalmente matan a los insectos por asfixia. Para que sea efectivo, por consiguiente, el fumigante debe estar bien distribuído a través de los granos y su concentración debe mantenerse por un tiempo suficiente para matar todos los insectos. Una temperatura elevada durante el tiempo de la fumigación ayuda a exterminar los insectos, pero al mismo tiempo aumenta la velocidad de la vaporización y la perdida de fumigantes volátiles.

En la práctica un buen operador de fumigantes considera: 1) una propia distribución del fumigante y 2) una concentración apropiada de acuerdo con el tiempo de aplicación y con la temperatura del grano a la hora de ser fumigado. El tiempo, la temperatura

la concentración y los métodos de aplicación de los diferentes fumigantes han sido investigados a través de muchos años de estudios y de práctica. La tabla IV da las dosis recomendadas de un grupo de fumigantes para el tratamiento de granos almacenados en trojas de acero cerradas. Dosis más altas pueden ser necesarias para trojas de madera. Cuando la profundidad de la masa de granos no pasa de 15 pies, buenos resultados pueden ser obtenidos rociando el líquido sobre la superficie superior de los granos. En elevadores con trojas profundas la fumigación es generalmente más efectiva cuando se aplica a los granos mientras éstos están siendo transferidos de una troja a otra. El fumigante se vierte en el chorro de granos (en proporción adecuada) en la última porción de cada 25 a 35 toneladas métricas que entren a la nueva troja. Si es imposible o muy difícil volcar los granos en trojas muy profundas, la fumigación se puede efectuar, siempre que la temperatura del grano sea de 27°C o más alta, aplicando la dosis entera de un fumigante bien proporcionado sobre la superficie superior de los granos.

Un fumigante bien proporcionado para este propósito podría consistir de una mezcla de dibromuro de etileno, dicloruro de etileno, y tetracloruro de carbono. El dibromuro de etileno permanece en las capas superiores, el dicloruro de etileno en los estratos intermedios y el tetracloruro de carbono se difunde a las partes más bajas. Una penetración hasta de 75 pies puede ser obtenida por este medio.

Los fumigantes líquidos resultan voluminosos y caros cuando la mayoría de los granos que se van a almacenar tienen que ser tratados. Por estas razones se ha intentado recientemente fumigar en las regiones tropicales con gases tales como "chloropierin" y bromuro de metilo. Cuando toda o una gran parte de los granos llega en sacos y la mayoría tienen que ser fumigados, se recomienda emplear una cámara de gas. Estas cámaras a prueba de escape deben tener un diseño apropiado, estar construídas herméticamente y hallarse provistas de facilidades para la manipulación de los sacos, tales como el uso de pequeños pescantes a motor. Se requiere manipuleo adecuado de los granos a través de las cámaras de fumigación para prevenir la recontaminación de los granos que se acaban de fumigar. Dosis de dos libras de chloropierin o una libra de bromuro de metilo por cada 1.000 pies cúbicos de espacio, con una retención de 16 a 24 horas, son sugeridas hasta que la experiencia muestre las dosis exactas requeridas para la completa exterminación de los insectos.

La mejor manera de medir la eficiencia de un sistema de fumigación se logra determinando la obtenida. Se pueden recoger muestras de los granos tratados por medio de jaulas (tubos pequeños con orificios minúsculos), en las cuales se introducen insectos y granos con huevos. Las jaulas se colocan en puntos selectos y bien distribuídos en la masa de granos, removiéndose después de la fumigación para determinar si la exterminación ha sido completa. Las muestras tienen que ser incubadas a 30°C y a una humedad

TABLA IV

DOSAJES DE ALGUNOS FUMIGANTES DE GRANOS RECOMENDADOS EN BODEGAS CERRADAS

Fumigante	Proporción de la mezcla (por volumen)	Dosis para 1000 pies cúbicos de grano			
		Trigo	Maíz	Arroz granza	Sorgo
		G A L O N E S			
Tetracloruro de carbono		2.4	3.2	*	4.8
Tetracloruro de carbono con:					
Dibromuro de Etileno	19:1	1.6	*	*	*
Sulfuro de Carbono	4:1	1.6	4.0	1.6	4.8
Dicloruro de Etileno	1:3	3.2	4.0	2.4	*
Chloropicrin	6:1	1.2	0.8	1.2	*
Acido Prúsico **	--	20 lbs.	20 lbs.	16 lbs.	*

Nota: Para otras mezclas comerciales las recomendaciones del fabricante deben seguirse hasta que se haya obtenido suficiente experiencia.

* No existen datos publicados
** Cianuro de calcio crudo conteniendo aproximadamente 25% de ácido prúsico.

relativa de 75% durante varias semanas para asegurar una correcta comprobación de su estado. Este es un proceso laborioso raramente seguido en la práctica.

Recientemente, investigadores de los E.E. U.U. han dado a conocer varios métodos rápidos para comprobar la presencia o ausencia de insectos en los granos. Uno de esto procedimientos emplea una técnica especial de rayos X, y está aparentemente en espera de que se desarrolle un aparato adecuado de estas ondas. Un segundo método hace uso de colorantes fluorescentes que son absorbios por los huevos. El colorante es una solución en agua de 20 ppm. del alcaloide sulfato de berberina. La muestra de granos se sumerge en esta solución por un minuto y se inspecciona luego en un cuarto óscuro o un recipiente oscuro especial con rayos ultravioleta. Cualquier núcleo de huevos que esté presente se observa de inmediato.

Un detector de gas halógeno es muy útil para determinar concentraciones del inodoro e invisible gas de bromuro de metilo en cualquier lugar o momento, lo mismo que para localizar algún escape de este fumigante.

Donde no existan cámaras herméticas, la fumigación con gas pueden hacerse amontonando los sacos sobre un piso de concreto y luego cubriéndose con una lona impermeable a prueba de escapes. Las orillas de la tela pueden ser fijadas al piso por medio de un tubo de lona o una manguera de más o menos 7 centímetros de diámetro que se llena de arena y se coloca en el piso sobre las orillas de la carpa usada para la fumigación.

Seguridad:

Todos los fumigantes son peligrosos de manejar. Ningún tratado sobre fumigación, por breve que sea, sería completo sin una palabra de precaución sobre los peligros que encierra el uso de materiales tóxicos para los humanos, tal como los son la mayoría de l s fumigantes de granos. A nadie se le debe pérmitir el manejo de fumigantes por sí solo. Los operadores deben usar máscaras contra gases equipadas con "filtros" del tipo apropiado para el fumigante que se está usando. Un apunte escrito de las horas de uso debe ser llevado en la caja exterior del "tanque filtro". Todas las instrucciones deben ser cuidadosamente estudiadas y observadas.

Insecticidas:

Un excelente control de insectos puede ser obtenido espolvoreando la superficie de los granos con dosis muy diluídas de insecticidas tales como DDT o hexacloruro de benzeno, pero los granos así tratados no serían útiles para el alimento de hombres

o animales debido al peligro de envenenamiento que esto constituye. El insecticida más nuevo "pyrenone" no ofrece peligro en este respecto, pero su costo relativamente alto puede impedir su uso extensivo en las regiones tropicales.

Almacenamiento Hermético:

Los granos y los insectos necesitan oxígeno para el mantenimiento de sus procesos de vida y ambos producen dióxido de carbono. Por consiguiente, en una bodega hermética las condiciones del aire intergranular son tóxicas para la vida de los insectos. La provisión y el uso de bodegas herméticas sin embargo, envuelve otras consideraciones que son discutidas en la página .

Construcciones a prueba de insectos:

Indudablemente, indicarían pobre administración el desinfestar una troja de granos y luego no tomar las precauciones del caso contra nuevos insectos provenientes del exterior. Cualquier abertura de ventilación debe ser apropiadamente protegida con cedazo contra insectos. Una malla con 24 aberturas por pulgada (escala Tyler) prevendría el paso de la mayoría de las especies de insectos importantes. Una con 32 aberturas por pulgada es recomendada para una protección completa. Un cedazo tan fino como éste puede obstruirse con el polvo, de manera que son generalmente necesarias inspecciones y limpieza periodocas. También, cedazos tan finos resisten el paso de cantidades grandes de aire, de modo que cuando se necesita insuflar considerables volúmenes hay que recurrir a mallas con abertura mayores.

IV Pérdidas por Derrames o Robos

Una localización y construcción apropiadas disminuirán la probabilidad de pérdidas de granos. Especialmente importantes son las puertas y demás aberturas. Si éstas están pobremente diseñadas y construídas, en un año o poco más permitirán los derrames de granos y la entrada de roedores. Aunque al principio estuvieren ajustadas; con el deterioro ocasionado por el uso y en parte el mal diseño, se hacen difíciles de cerrar ajustadamente.

Las trojas de madera deben construirse a prueba de ratas, protegiendo los primeros tres pies de la estructura con mampostería o una malla o lámina de metal para que las ratas no puedan abrirse paso hacia el interior. Luego una banda metálica de aproximadamente 25 centímetros se coloca a los 3 pies de altura y alrededor de la pared exterior del edificio. Las ratas no pueden subir por la superficie resbalosa de la lámina de metal.

V Inspección

La inspección periódica de granos almacenados es de suma importancia en climas cálidos y húmedos. Facilidades apropiadas para la inspección ayudan y alientan grandemente estas revisiones periódicas. Debe haber suficiente espacio entre el techo y la superficie superior de los granos, o proveerse portuezuelas en el techo, para permitir la obtención conveniente de muestras, en cualquier parte del granero, con un probador de granos. Debe existir un promedio mínimo de ochenta a noventa centímetros de espacio para la fumigación efectiva, y la superficie superior de los granos debe ser accesible en toda su extensión para inspecciones visuales. Puertas en las paredes u otras aberturas similares pueden facilitar grandemente la inspección y la obtención de muestras durante los períodos de almacenamiento.

VI Tratamiento

Las facilidades para el tratamiento de granos durante el almacenamiento pueden ser útiles en muchos casos. Si se desarrollan "bolsas de infestación" o "puntos calientes" durante este lapso, facilidades para volcar, limpiar, mezclar o secar los granos permitirán su tratamiento y así la prevención de un deterioro mayor.

VII Traslado de Granos

Segunda en importancia a la tarea de mantener seco el grano durante el período de almacenamiento, está la provisión de buenas facilidades para la manipulación o transporte de los granos hacia dentro, y fuera de las bodegas al seleccionar apropiadamente el equipo para cualquier parte de este trabajo tienen que considerarse los métodos que van a usarse en las labores. El costo de almacenamiento puede ser influenciado grandemente por el tipo y diseño de las facilidades para la manipulación.

Los granos son un matorial fácil de manipular, pero en centros donde muchos lotes pequeños de diferentes clases y calidades deben ser acomodados, el diseño inapropiado del sistema puede embrollar un proceso básicamente simple.

La venta de granos en las regiones equatoriales de la América puede esperarse que se haga primordialmente en sacos durante los próximos años, pero a medida que se introduzcan facilidades y métodos modernos de distribución, más y más cantidad del grano llegará a las bodegas en forma de lotes. Por consiguiente, centros de almacenamiento construídos para servir por varias décadas deben ser diseñados para la manipulación conveniente del grano en sacos y en lotes, y quizá con facilidades para cambiarlos exclusivamente al sistema de lotes cuando así se requiera.

Debe esperarse la entrada de muchas partidas pequeñas insuficientemente acondicionadas para el almacenamiento. Tales partidas pueden requerir secamiento y desinfección antes de ser almacenadas. Pero a medida que las facilidades para la manipulación y acondicionamiento de granos se desarrollan en las fincas y áreas rurales, la necesidad de este tratamiento en los centros terminales disminuirá, por lo que estas facilidades no requieren ser diseñadas, tal vez, como parte permanente de una planta terminal.

La manipulación económica y conveniente del grano exige una localización apropiada o buena selección del sitio con respecto a las areas de producción, caminos, ferrocarriles y mercados. Debe proveerse amplio espacio y buena accesibilidad, y presentar el menor riesgo posible de incendios, inundaciones y robos. El movimiento conveniente y fácil de granos hacia adentro y fuera del granero requiere una planificación inteligente y un conocimiento completo del equipo moderno. Existen muchos sistemas de elevar y transportar el grano. El uso de pequeños pescantes a motor disminuyen en gran parte el trabajo arduo y el costo de manipular los sacos de granos en los centros de almacenamiento. Existen en el mercado muchos elevadores de tipo simple, liviano; con fuerza propia y portables, los cuales están especialmente diseñados para mover granos hacia adentro y fuera de trojas de poco altura.

La figura 15 muestra un elevador de bajo costo y manufactura hogareña, hecho de madera y empleando una faja encauchada con aletas de madera. Este elevador, equipado con una faja de 7½ centímetros de ancho y un motor eléctrico de ¼ de caballo, o su equivalente en motores de gasolina, puede elevar un saco de granos por minuto hasta 3 metros de altura.

El diseño de sistemas para el transporte de granos en los elevadores terminales requiere ingenio especial para la selección y aplicación apropiadas del equipo obtenible en la fábrica. Elevadores y fajas de transporte fabricadas localmente pueden ser instalados ventajosamente en unidades pequeñas de almacenamiento.

La situación, tamaño y distribución de las aberturas para cargar y descargar deben ser hechas con un conocimiento completo del tipo de elevadores y equipo de transporte que va a usarse. Tolvas en el fondo o pisos inclinados facilitan grandemente la remoción de la última porción de granos. El costo adicional de las tolvas o pisos inclinados, sin embargo, elimina su uso en trojas que tienen que ser descargadas solamente una o dos veces por año.

TIPOS DE ALMACENAMIENTO

Los granos pueden ser almacenados y preservados por varios lapsos de tiempo de muchas maneras. En las regiones tropicales es una práctica común dejar las mazorcas de maíz en las matas, con las puntas hacia abajo para que el agua escurra. O el producto es recogido y colgado por las tusas debajo de un alero o techo. Cualquier cereal o leguminosa puede ser guardado sin peligro por varias semanas, sin importar las condiciones climáteríca de la región, si se secan bien y se introducen luego en una lata, caja; barril o saco. Existen también varias prácticas desarrolladas por gente primitiva para preservar pequeñas cantidades de granos destinados al consumo hogareño. El estudio analítico de estos métodos primitivos generalmente revela el empleo de alguna forma de tratamiento al calor, el uso de un agente desecante, o la obtención de un buen secado natural antes del almacenamiento. Aunque algunos de estos métodos han sido catalogados como técnicas especiales de almacenamiento, realmente lo que se efectúa es un acondicionamiento del grano por almacenar. El éxito de estas prácticas varía de acuerdo con la habilidad para inmovilizar cualquier exceso de agua y prevenir su incremento posterior durante el período de almacenamiento. Donde tales métodos son todavía usados en forma adecuada y satisfactoria, hay muy poca o ninguna razón para desalentar su continuación. El desarrollo de la civilización y el encremento de la población en las regiones húmedas y calientes del mundo, y la consecuente necesidad de una producción mayor y una búsqueda de marcados distantes, hacen que dichos métodos primitivos y de pequeñas escalas se vuelvan inadecuados. Métodos especiales tales como el almacenamiento sellado y bajo tierra serán discutidos en secciones venideras.

Un estudio preliminar de los requisitos para el almacenamiento de granos en las regiones equatoriales, ha demostrado que ningún método sería universalmente satisfacorio, pero que los siguientes cuatro sistemas, propiamente introducidos y adaptados, podrían operar eficientemente bajo las condiciones prevalentes en estas regiones:

1. Un sistema para secar y almacenar granos cultivados en solares y para uso doméstico tal como un gabinete o cajón de secado y conservación.

2. Una planta o centro rural para el acondicionamiento y almacenamiento de cosechas en áreas de fincas pequeñas.

3. Un sistema para el secado y almacenamiento de granos, adaptado al cultivo mecanizado, regiones tropicales y subtropicales.

4. Una central terminal o centro metropolitano de almacenamiento.

Estos tipos pueden también clasificarse de acuerdo con su tamaño o capacidad tal como 1) pequeño, 2) mediano, 3) grande. Las instalaciones para comunidades rurales y para fincas mecanizadas pueden ser conjuntamente agrupadas en la clase mediana. Finalmente, si los grandes terminales de granos fueran considerados y tratados como asociaciones de varias unidades del tipo mediano, quedaría solamente dos clases de almacenamiento:

1. Sistemas pequeños, para el acondicionamiento y almacenamineto doméstico, donde el diseño estructural y la manipulación requieren poca o ninguna consideración.

2. Estructuras grandes para el acondicionamiento y almacenamiento de granos.

1. Sistemas Caseros de Acondicionamiento y Almacenamiento

Varios métodos pueden ser usados para secar, desinfestar, limpiar, y almacenar pequeñas cantidades de granos en una casa rural durante un período de varios meses. El secado al sol se usa generalmente cuando es posible; pero en un extremo este sistema puede sobre-calentar y destruir la germinación y en el otro puede que no seque el grano lo suficiente para prevenir el desarrollo de mohos durante el almacenamiento. En cualquier caso, este método requiere mucho atención y generalmente una excesiva labor por unidad de grano seco.

El tratamiento al calor en un recipiente abierto y de poco fondo o en un barril giratorio colgado sobre una hoguera de leña o carbón, puede positivamente desinfestar y secar cualquier grano. Sin embargo, buenos resultados sin pérdida de germinación se obtienen sólo después de mucha experiencia. En este sistema la germinación puede destruirse fácilmente permitiendo que la temperatura se eleve mucho prematuramente en el período de secamiento. Esto inutiliza el grano para semilla y lo hace más susceptible al ataque de mohos. En áreas rurales de los trópicos el grano se seca a veces, por métodos naturales, lo suficiente para controlar los mohos pero no los insectos. En estas situaciones se necesita un método simple de fumigación. La fumigación con tetracloruro de carbono puede ejecutarse efectivamente en barriles de acero o en receptáculos de madera bien cerrados, y aunque este método requiere cierto gasto de dinero, el grano salvado paga frecuentemente con creces el valor del fumigante. La fumigación usando tetracloruro de carbono puro es simple y relativamente segura. En barriles de acero herméticamente cerrados, una dosis de un volumen de tetracloruro por cada 1000 de espacio total de almacenamiento, matará efectivamente toda clase de insectos. Un fumigante mejor para tales propósitos sería una mezcla de tres partes de dicloruro de etileno por cada parte de tetracloruro de carbono la cual corrientemente se vende bajo diferentes nombres comerciales, pudiendo comprarse de una vez listo para el uso. Una dosis similar de 1 a 1.000 por volumen hará una destrucción

TABLA V

PREPARACION Y CAPACIDAD DESECANTE DE BLOQUES DE MADERA

Tratamiento:- (Descripción de los ensayos sobre los cuales se incluyen datós abajo). Bloques de balsa y cedro de 3 x 3 x 3/4 cms. (véase fig. 21) fueron secados al horno a 95-100°C y sumergidos luego en una solución de cloruro de calcio con gravedad específica de 1.20 (sal agregada al agua hasta que un litro pesó 1.20 kg.) La solución fué calentada a alrededor de 95°C durante 4 horas y se dejó enfriar luego por otras 20 horas. Nuevamente se secaron los bloques al horno a 90-100°C, y la absorción de sal se midió por la diferencia de pesos secos antes y después de la impregnación. La balsa absorbió un promedio de 0.24 gramos por centímetro cúbico de madera y el cedro 0.11.

Una muestra uniforme de maíz desgranado con 16.88% de humedad (probador Brown Duvel a 190°C) fué colocada en latas con tapas bien ajustadas. Se mezclaron los bloques con el maíz en proporción de 10% por volumen (1 parte de bloques por 9 partes de maíz). Se tomaron registros diarios del peso del maíz, separado de los bloques por medio de un cedazo de aberturas grandes. Después de 3 días prácticamente no ocurrió ningún traspaso de agua del grano a los bloques. A los 8 días se removieron los bloques y se reemplazó el maíz inmediatamente en las latas mientras aquéllos se volvieron a secar al horno durante unas 4 horas. Este proceso de regeneración de los bloques se repitió 3 veces; los resultados obtenidos se muestran abajo, para solución salina de 1.20 de gravedad específica. En general, soluciones de 1.10, 1.15 y 1.25 dieron absorciones más pobres. Se ensayaron varios períodos de calentamiento y enfriamiento de los bloques, obteniéndose una superior impregnación de sal con 4 horas de calentamiento y 20 horas de enfriamiento.

DATOS
CAPACIDAD DESECANTE DE BLOQUES DE MADERA IMPREGNADOS CON SAL

Tiempo Cumulativo	Contenido de Humedad del grano, b. h.		Absorción de los Bloques,	Agua por gramos / c.c.
	Balsa	Cedro	Balsa	Cedro
Al principio	16.88	16.88	....Secado	al horno....
3 días	12.2	13.4	0.32	0.24
8 días	12.2	13.4	0.32	0.24
Bloques removidos y re-secados al horno				
12 días	9.92	11.13	0.146*	0.14*
			Bloques	re-secados
16 días	8.5	9.37	0.083	0.109
			Bloques	re-secados
19 días	7.79	8.24	0.041	0.069
			Bloques	re-secados
24 días	7.06	7.31	0.043	0.055

* Los ensayos demostraron que los bloques alcazaron un peso constante en 3 ó 4 días. Bloques con tal cantidad de agua parecen secos y pueden dejarse en el grano así si no se requiere mayor

completa de insectos en recipientes bien cerrados. No se produce ningún efecto adverso a la germinación de los granos debido a este fumigante, sin que importe la concentración, el tiempo de exposición, o el contenido de humedad en el grano.

La aplicación de fumigantes líquidos debe ser hecha preferiblemente con un atomizador de mano, que rocíe el fumigante en la superficie superior de los granos. En los recipientes de poco fondo, el asperjamiento o goteo simple son suficientes. El recipiente debe cerrarse inmediatamente y mantenerse en esta forma por lo menos un día.

Gabinetes domésticos para secar y almacenar granos.

El método que se describe a continuación es nuevo, pero tiene ciertas propiedades que pueden resultar en su extensa aceptación. Consiste de un recipiente a prueba de vapor, tal como un barril de acero, un gabinete metálico, un cajón de madera apropiadamente construído y a prueba de vapor como se muestra en la figura 21, o pequeñas cajas de lata como las que se encuentran en el mercado. Bloques de madera especialmente tratados se mezclan con los granos. El volumen de bloques por volumen unitario de espacio total de almacenamiento puede variar, pero alrededor de un 10% puede considerarse como óptimo. En unos 5 días, los bloques absorberán su carga de agua, que depende del contenido de humedad del grano y de la capacidad de absorción que tenga.

La cantidad de agua que puede esperarse sea absorbida por los bloques varía de acuerdo con (1) la humedad resultante del grano después de que los bloques han recogido su carga y (2) la probable capacidad de absorción de los maderos, que es influenciada por su clase, sus dimensiones, el modo en que se cortan y la cantidad de sales que se incorporan al tratarlos.

La absorción lograda por los bloques puede o no ser suficiente para deshumedecer los granos hasta el punto deseado. Sin embargo, los mismos bloques saturados pueden usarse una y otra vez por el simple proceso de volverlos a secar en una estufa u hornilla. Así pues, nuevos tratamientos de los bloques en un lote dado de granos pueden obtener humedades bajas, no imprta cuáles las condiciones iniciales. No obstante, un excesivo número de regeneraciones son necesarias si el grano tiene más de un 16 o 17% de humedad cuando se coloca en el recipiente. Los pequeños bloques pueden separarse fácilmente del grano por medio de un cedazo de aberturas grandes (por ejemplo una malla con agujeros de 1 pulgada). Los bloques tienen que mezclarse bien con el grano para efectuar un secamiento uniforme en el menor tiempo posible. Para acomodar diferentes clases de granos y materiales y para obtener un manejo conveniente al remover y re-mezclar los bloques con el producto, pequeños recipientes individuales como los mostrados en la figura 21 son deseables.

Preparación de los Bloques Desecantes

Los bloques deben aserrarse de tal modo que se exponga una cantidad máxima de hilos cortados perpendicularmente y que se mantenga sin embargo un bloque físicamente durable. Un tamaño deseable parece ser alrededor de 3 x 3 x $\frac{3}{4}$ cms; con el grano de la madera paralelo a la dimensión de $\frac{3}{4}$. Piezas largas de madera con una sección de 3 x 3 cms. pueden aserrarse fácilmente cada $\frac{3}{4}$ de cm. Los bloques deben secarse en una hornilla a 90 o 100 grados centígrados para remover toda la humedad inicial. Entonces se les sumerge y cocina en una solución de cloruro de calcio a temperatura levemente menor que el punto de ebullición y por un lapso de una a cuatro horas, después de lo cual la solución y los bloques que contienen se dejan enfriar de 12 a 24 horas.

Los bloques de la solución salina se secan de nuevo a 90 o 100 grados centígrados. La absorción de sal, que puede determinarse pesando los bloques secos antes y después del tratamiento, debe ser de alrededor de 0.15 a 0.20 gramos de sal por centímetro cúbico de madera; aunque esto variará de acuerdo con la clase de madera y la gravedad específica de la solución. La absorción excesiva causaría sangría y goteo de los bloques en granos con humedades altas. Sin embargo, para secar granos hasta un contenido de humedad bajo, bloques con absorción mayor de sal recogerán más agua. La gravedad específica de la solución debe ser de alrededor de 1.20 (véase tabla V), esto es, un litro de la solución debe pesar alrededor de 1.20 kgs.

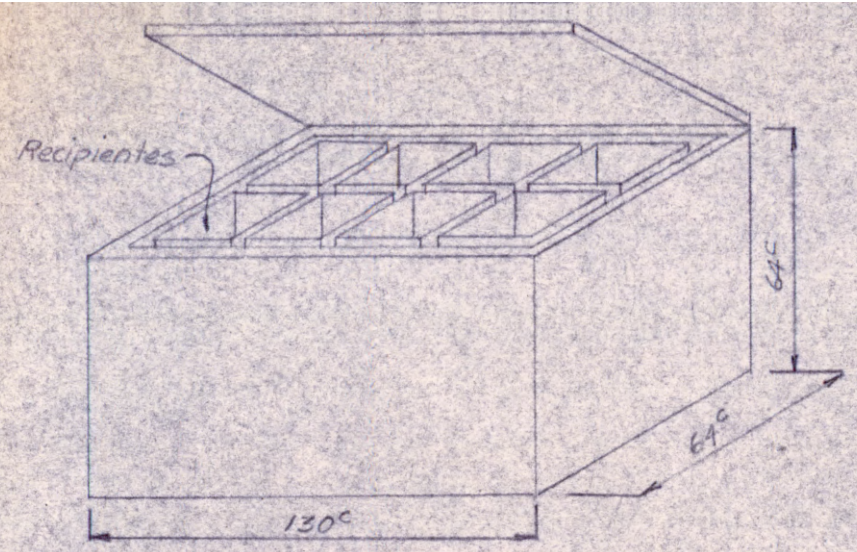
Clase de Madera

Clases diferentes de madera tienen capacidades de absorción diferentes, otros factores menteniéndose constantes. El cedro parece ser una de las especies mas adecuadas para este propósito. La balsa tiene una absorción mayor, pero es tan durable como el cedro.

Reducción de Humedad por Lote de Bloques Desecantes

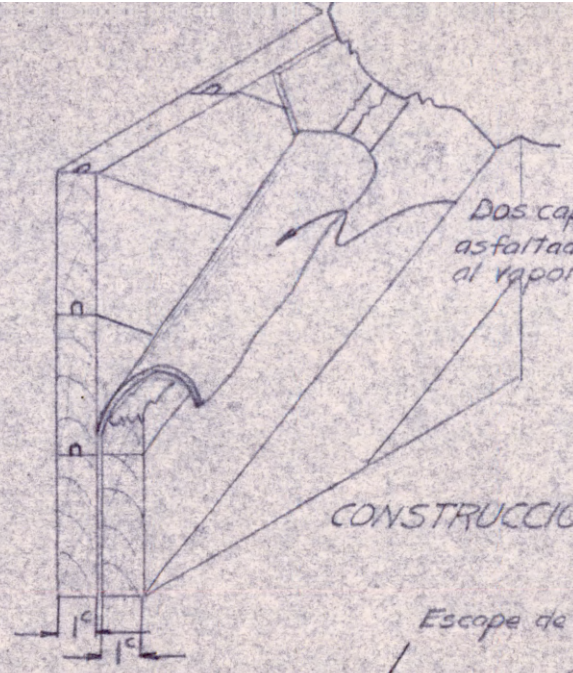
La tabla V da datos en este respecto. Para propósitos de cálculo, puede asumirse que los bloques pueden absorber de 0.15 a 0.25 gramos de agua por centímetro cúbico de madera; o que pueden absorber agua hasta un cuarto de su propio volumen.

Como se discute en la página , el agua en maíz desgranado con 15.5% de humedad ocuparía, si fuera removida y recogida, 11.15% por volumen del espacio total abarcado por el grano. Con un 13% de humedad, el agua ocuparía un 9.35% por volumen, o existe una diferencia de 1.8%. Ahora bien, si los bloques desecantes absorben 20% de su volumen y ocupan un décimo del espacio total de almacenamiento, removerían 2.2% (1/9 de 20) por volumen del grano. Así pues, un lote de bloques podría secar el grano de un 15.5% - alrededor de un 13% de humedad. Cargas adicionales de bloques regenerados continuarían reduciendo la humedad hasta el valor mínimo posible (alrededor de un 40% de humedad relativa en equilibrio) Después de este punto los bloques no podrían efectuar ningún secado.

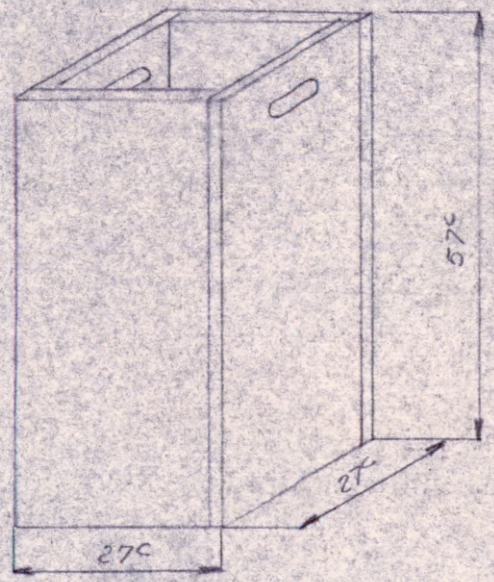


GABINETE DE ALMACENAMIENTO

Capacidad = 400 lbs. aprox.

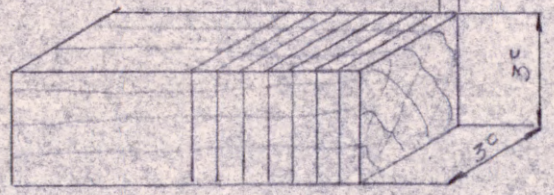


CONSTRUCCION DE LA PARED

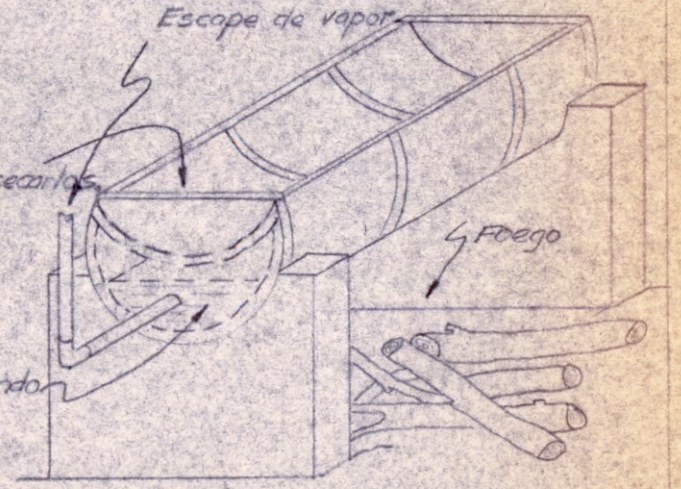


RECIPIENTE

Capacidad = 35 litros ≈ 50 lbs.



DIMENSIONES DE LOS BLOQUES



HORNILLA DE AGUA PARA PROCESAR Y SECAR LOS TROZOS DE MADERA, HECHA DE UN BARRIL DE ACERO.

FIG. 21 - GABINETE DOMESTICO PARA SECAR Y ALMACENAR GRANOS

2. Estructuras Grandes para el Acondicionamiento y Almacenamiento de Granos

Trojas bajas vs. Trojas Profundas

Los trojas de almacenamiento poco profundas pueden ser definidas como aquéllas donde la profundidad máxima del grano no excede de 5 a 6 metros, y las trojas profundas como aquéllas donde la altura del grano sobrepasa 9 a 10 metros. La mayoría de las bodegas estarán incluídas en una de estas dos clases arbitrariamente establecidas.

Aunque existe poco o ningún efecto directo de la forma o profundidad de la troja sobre la facilidad que los granos aceptan el almacenamiento, una masa con menos de 6 metros de profundidad es más accesible al control y la inspección visual durante el período de almacenamiento. En caso de que algún tratamiento sea necesario, las masas de granos poco hondas pueden ser fumigadas y secadas sin moverlas mucho más fácilmente que las masas profundas. Donde varias clases y calidades de granos deben mantenerse separados en bodega, las trojas de poco fondo pueden ser divididas más fácilmente que las otras. El equipo para elevar y transportar el grano puede ser mas pequeño y requiere menos potencia. Así mismo, la construcción de troja poco profundas pueden hacerse en forma considerablemente más fácil y a menos costo por unidad de volumen y si la estructura está propiamente diseñada, resulta posible usar su espacio para muchos propósitos diferentes. Por ejemplo, granos en sacos pueden ser almacenados convenientemente hasta alturas de 5 a 6 metros, altura recomendable para bodegas o para talleres.

Las trojas de poco fondo extendidas horizontalmente no están adaptadas, por supuesto, para grandes elevadores terminales donde sólo se dispone de áreas limitadas o donde se impone el recibo y la entrega de grandes cantidades en una forma centralizada. Existe probablemente un tamaño óptimo de trojas de poco fondo sobre el cual las estructuras profundas son preferibles en lo referente a su funcionamiento y costo de construcción. Sin embargo, centros de almacenamiento a base de graneros de poca altura con capacidades sorprendentemente grandes pueden estar situados en lotes pequeños. Por ejemplo, media hectárea cubierta en un 75% con trojas de poco fondo (5 metros de profundidad), representaría una planta con una capacidad de 15,000 toneladas métricas.

Requisitos Económicos de Unidades Grandes

Un tratado sobre economía del almacenamiento de granos no está dentro del propósito alcance de este manual. Debe reconocerse, sin embargo, que un estudio completo de las prácticas existentes en los mercados, precios y probables desarrollos futuros, es necesario para determinar la urgencia, el tamaño y la ubicación probable de cualquier centro grande de almacenamiento lo mismo que para estimar los beneficios probables que puedan derivarse de una

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[

bodega en la propia finca. Complemento de dicho estudio debe ser también un cálculo de las pérdidas de granos debidas a la falta de acondicionamiento y facilidades de almacenamiento adecuados, lo mismo que una investigación del probable incremento en la producción que mayores medios de distribución ocasionarían.

Los requisitos económicos, una vez que el tamaño, el tipo y la ubicación de la bodega han sido determinados, exigen generalmente el eficiente uso de los materiales que pueden conseguirse localmente y de los métodos de construcción a los cuales la destreza de los obreros locales se adapta mejor. El diseño estructural depende parcialmente de la clase de materiales de construcción y de la destreza de los obreros.

Requisitos Estructurales

Estructuralmente, cualquier bodega debe diseñarse para soportar, mantener y proteger los granos apropiadamente. Para lograr este propósito, la construcción debe resistir las presiones laterales y verticales de los granos. Un buen anclaje es esencial para prevenir daños por vientos fuertes cuando la estructura tiene poca o ninguna carga de granos.

Es obvio que se pueden hacer muchos diseños estructurales. La descripción y discusión en detalle de más de unos pocos tipos básicos implicaría una repetición innecesaria. Los datos para el diseño y las ideas para la construcción que se presentan más adelante son dirigidos primordialmente hacia las estructuras o trojas de poco fondo, pero en forma general son también aplicables a las estructuras profundas. Una construcción para el almacenamiento de granos consiste de bases, pisos, paredes, techo, puertas y otras aberturas especiales, y en algunos casos, de equipos especiales tales como pasajes de aire para la ventilación, elevadores y transportadores de granos.

Fundaciones

Las bases son necesarias principalmente para distribuír cualquier peso de madera que la resistencia del suelo no sea excedida. Un sub-suelo de arcilla bien drenado puede soportar hasta 150 libras por pulgada cuadrada; La tabla VI muestra los pesos y otras propiedades físicas de los granos, útiles en el diseño estructural. Solamente una porción de la carga total de granos en una troja es resistida por el piso. El resto lo soportan las paredes debido a fricción y presión lateral de los granos contra ellas y esta parte del peso total se trasmite directamente a las fundaciones. Las figs. 22 y 23 dan las cargas sobre el piso y las paredes verticales de acuerdo con el diámetro y profundidad de una troja cilíndrica. La fig. 24 suministra diámetros equivalentes para graneros rectangulares. A la carga vertical de la pared debe ser adicionada aquella parte de la carga del piso se le trasmite directamente, y el peso muerto de la troja. Los requisitos generales para cualquier fundación deben ser considerados y respetados, tales como continuidad del acero de construcción,

anclaje apropiado, y resistencia a presiones laterales debidas a irregularidades del terreno.

Pisos

En los graneros, los pisos de concreto pueden descansar directamente sobre el suelo o sobre rellenos, siempre que se construyan a prueba de vapor. El procedimiento más seguro es seleccionar un sitio con buen drenaje y luego colocar un relleno de 8 a 10 pulgadas de tierra o piedra bien compactada con unas pocas pulgadas de grava para controlar el movimiento capillar del agua desde la tierra al piso. Es muy difícil, en la práctica, proporcionar mezclar y colocar las planchas de concreto de tal manera que queden a prueba de vapor. Por esta razón se recomienda un piso doble de concreto en áreas de suelo húmedo. Un piso de este tipo se hace en dos operaciones, 1) se coloca una plancha o fundación que se deja endurecer y 2) se cubre esta base con un papel asfaltado o dos o tres capas de asfalto líquido, sobre la cual se pone una capa delgada de concreto de agregado fino y alta calidad para prevenir el desgaste y proteger la barrera contra vapor. La fig. 25 muestra la construcción correcta de las uniones entre el piso y las paredes en estructuras de madera o de metal, la cual prevendrá que el agua se introduzca en el edificio por esta parte.

Si se desean pisos inclinados o en forma de tolva, el ángulo de reposo mostrado en la tabla VI aumentado cerca de 10 grados suministrará pisos que se limpian solos. Si el grano se debe manipular húmedo, la inclinación debe ser de unos 25 grados mayor que la dada en la tabla VI.

Las cargas del piso estipuladas en la fig. 22 son un promedio de las presiones representadas por un peso que aumenta uniformemente hacia el centro y que produce un aumento de flexión dado por la fórmula $M = \frac{WL}{6}$, en donde M es el momento, W el peso total y L la distancia o luz.

Los pisos falsos perforados o los conductos de aire ventilados son necesarios si se quiere secar o aerear el grano en sitio después de almacenado. Estos pisos falsos deben ser estructuralmente adecuados y tener cerca del 20% de su área con aberturas para que el aire pase, lo mismo que suficiente espacio para una buena distribución y pasaje del aire por debajo. Veáse la pag. ( ) para la descripción de varios tipos de pisos falsos. La tabla VII suministra el tamaño y la separación recomendados para vigas de piso, de acuerdo con la luz, la longitud, y la carga de la troja. Estos datos son para madera de resistencia media y gravedad específica de 0.50 o 0.60.

Paredes

Las paredes exteriores deben repeler la lluvia y el vapor de agua atmosférico. Las paredes de metal o de concreto de alta calidad pueden dar buen servicio en ambos respectos. Las figs. 25 y

TABLA VI

ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS GRANOS

Clase de Grano	Peso máximo prova-ble por bushel, lbs. (En ensayos)	Densidad en Bulto Lbs. por pie cub. (Promedio)	Densidad en Bulto Kilos por litro (Promedio)	Espacios de Aire o Intersticios, %	Gravedad Específica del grano propio	Angulos de Reposo		Coeficientes de Friccion Media en:		
						Vaciado	Llenado o Amontonamiento	Metal Liso	Madera Lisa	Concreto Liso
Trigo Rojo Duro	64	48	0.77	42.6	1.30	27	16	0.340	0.294	0.444
Trigo Durum	65	48	0.77	--	--	26	17	0.414	0.321	---
Maíz en Grano	60	44.8	0.72	40.0	1.19	27	16	0.447	0.530	0.423
Arroz en Granza	52	36.0	0.58	50.4	1.11	36	20	0.479	0.530	0.52
Frijol de Soya	58	48.0	0.77	36.1	1.18	29	16	0.368	0.312	0.442
Sorgo en Grano	58	44.8	0.72	37.0	1.22	33	20	0.372	0.294	--
Cebada	50	38.4	0.62	47.9	1.24	28	16	0.378	0.287	0.452
Avena	42	25.6	0.41	47.6	1.05	32	18	0.445	0.380	0.466
Linaza	54	44.8	0.72	34.6	1.10	25	14	0.372	0.275	0.414

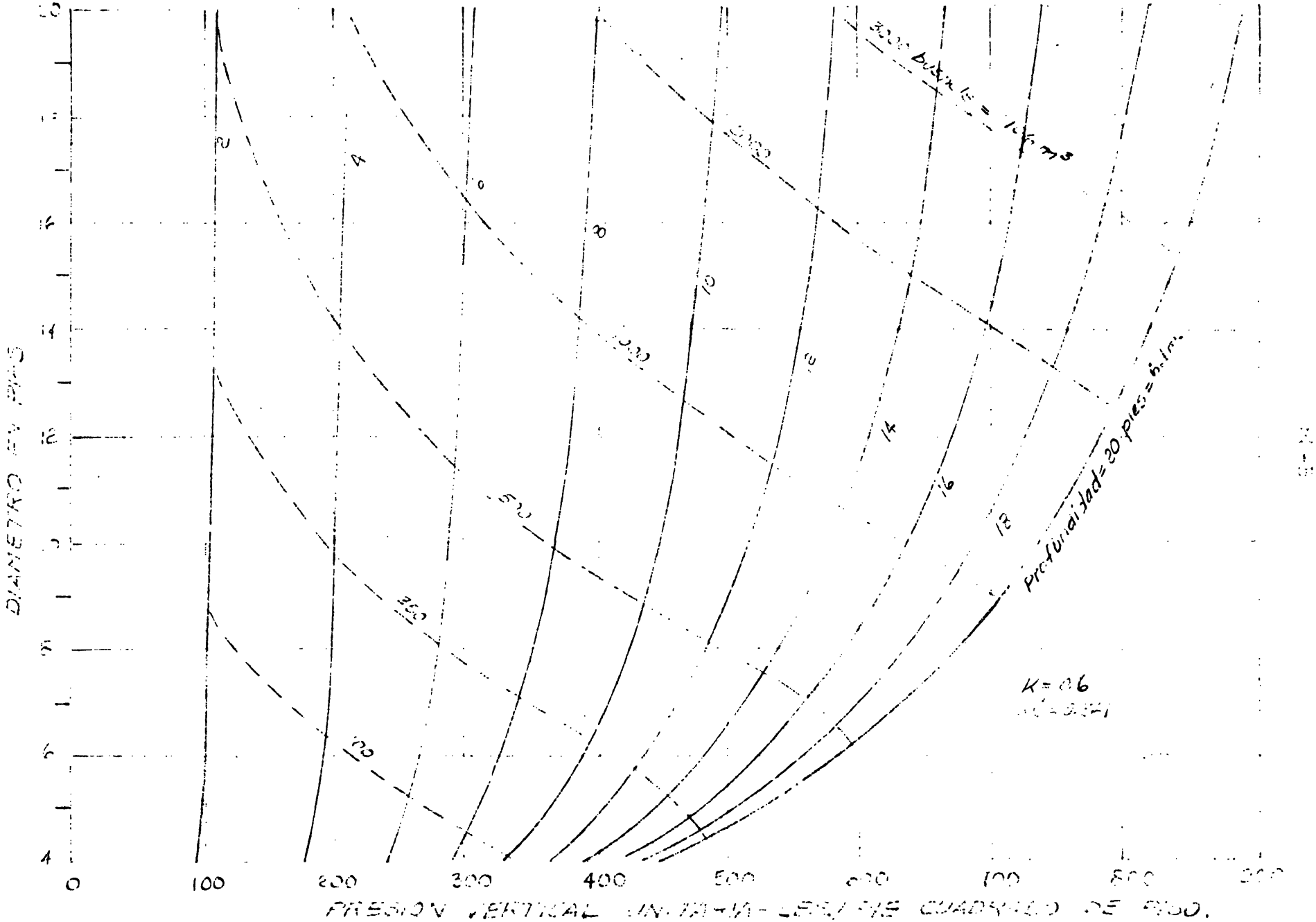


FIG. 22 – CARGAS Y CAPACIDADES DE GRANEROS CILINDRICOS

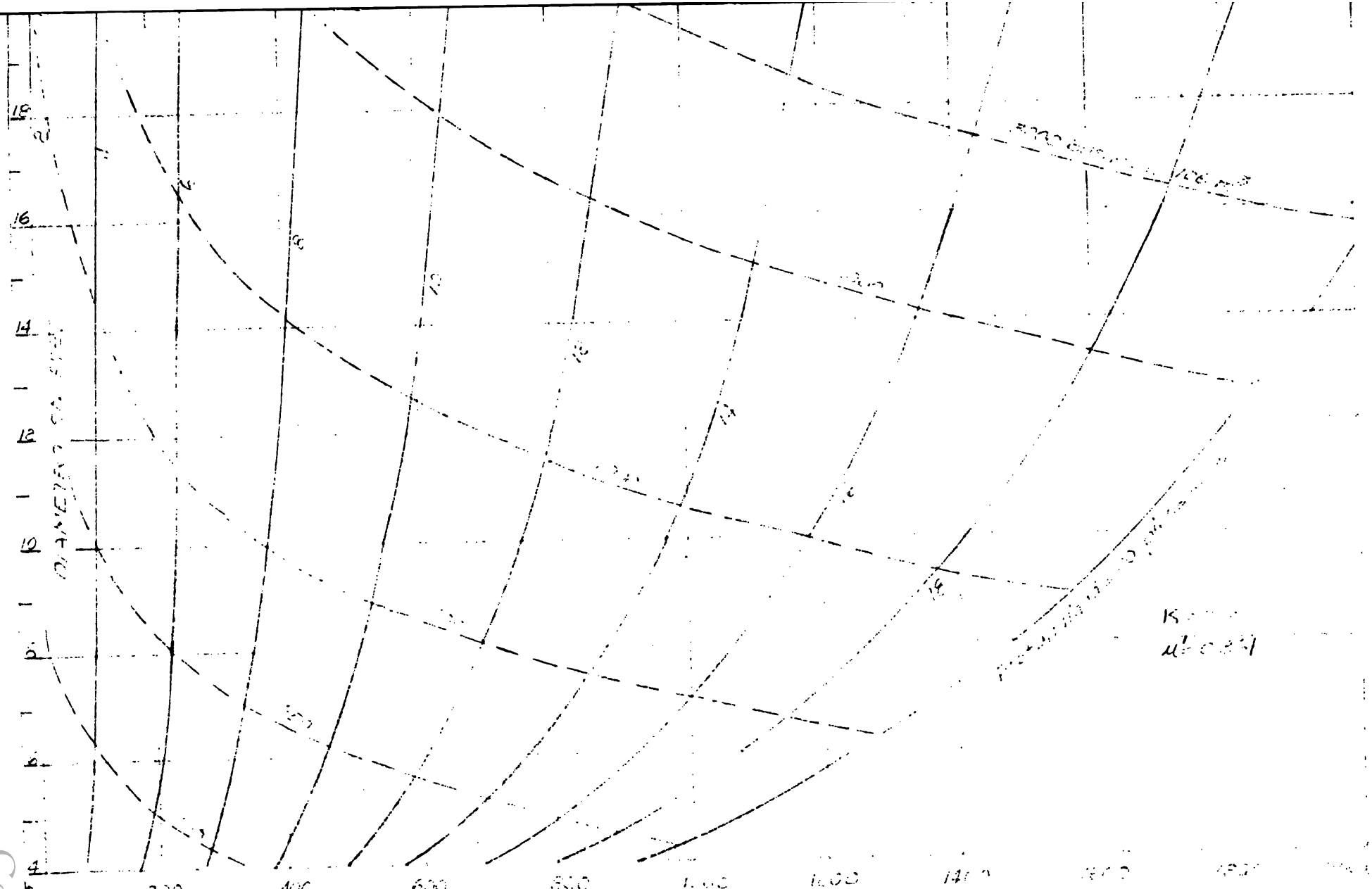


FIG. 26-A – CARGAS Y CAPACIDADES DE GRANEROS CILINDRICOS

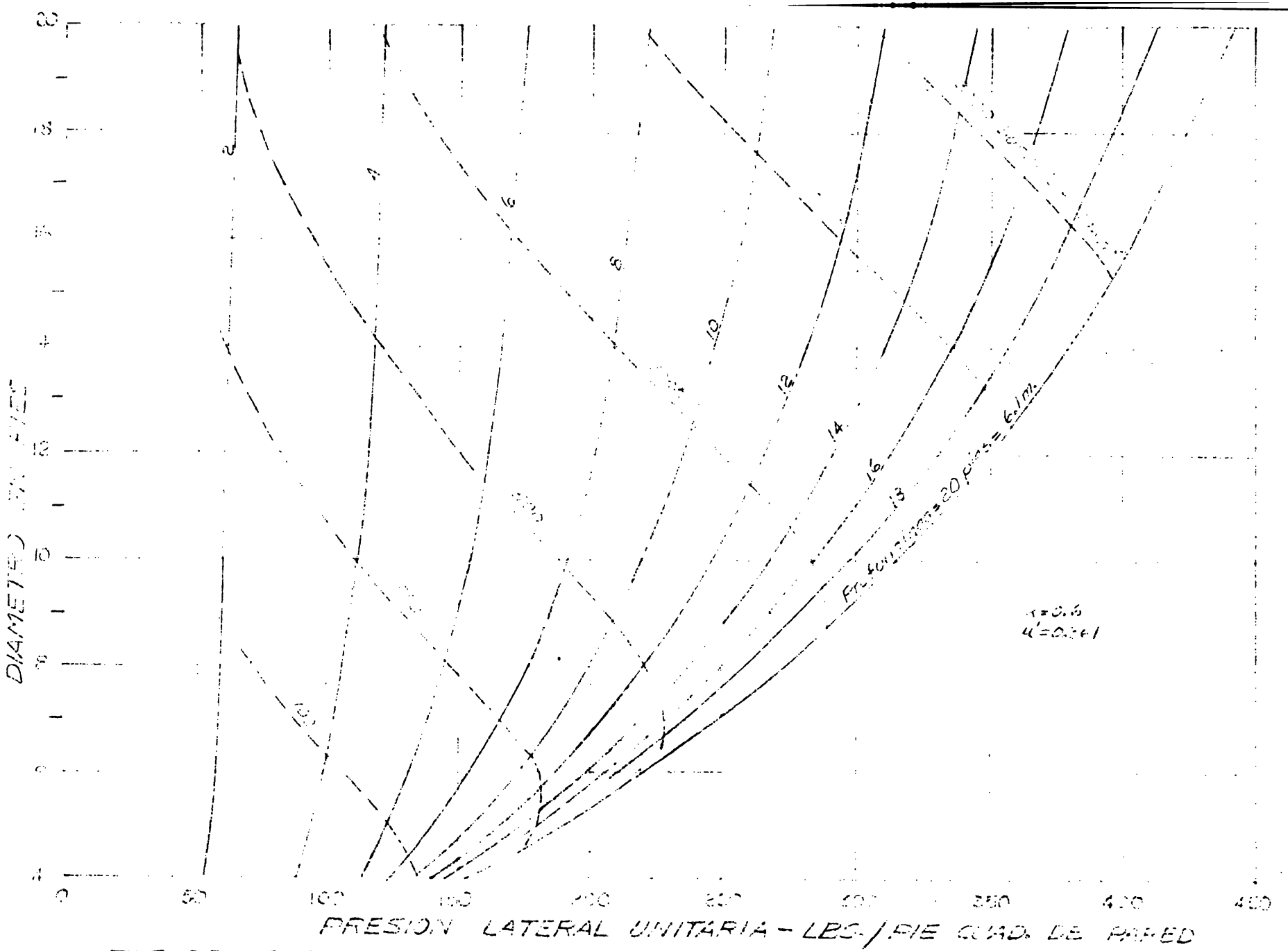


FIG. 23 - CARGAS Y CAPACIDADES DE GRANEROS CILINDRICOS

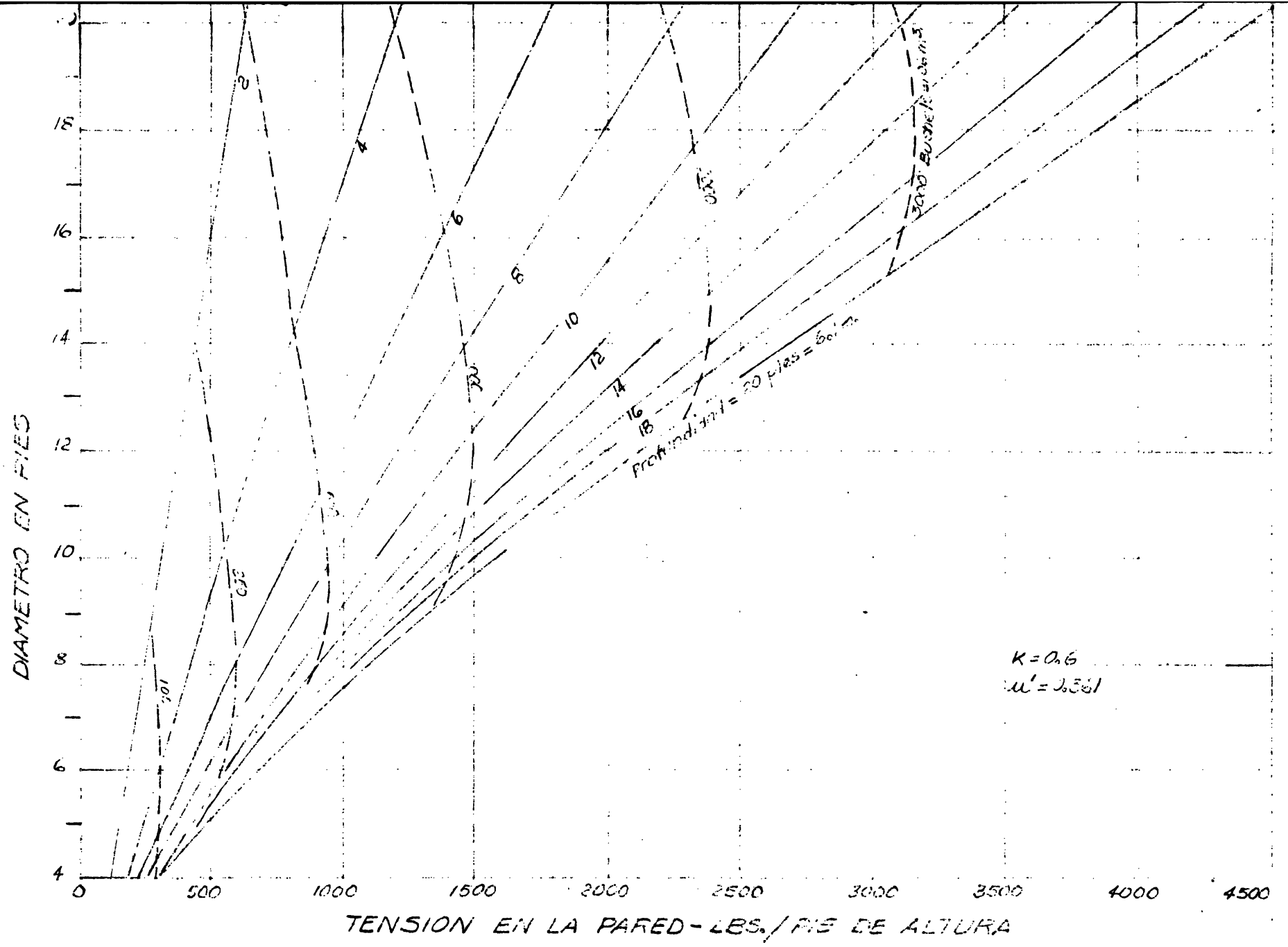


FIG. 23-A - CARGAS Y CAPACIDADES DE GRAVEROS CILINDRICOS

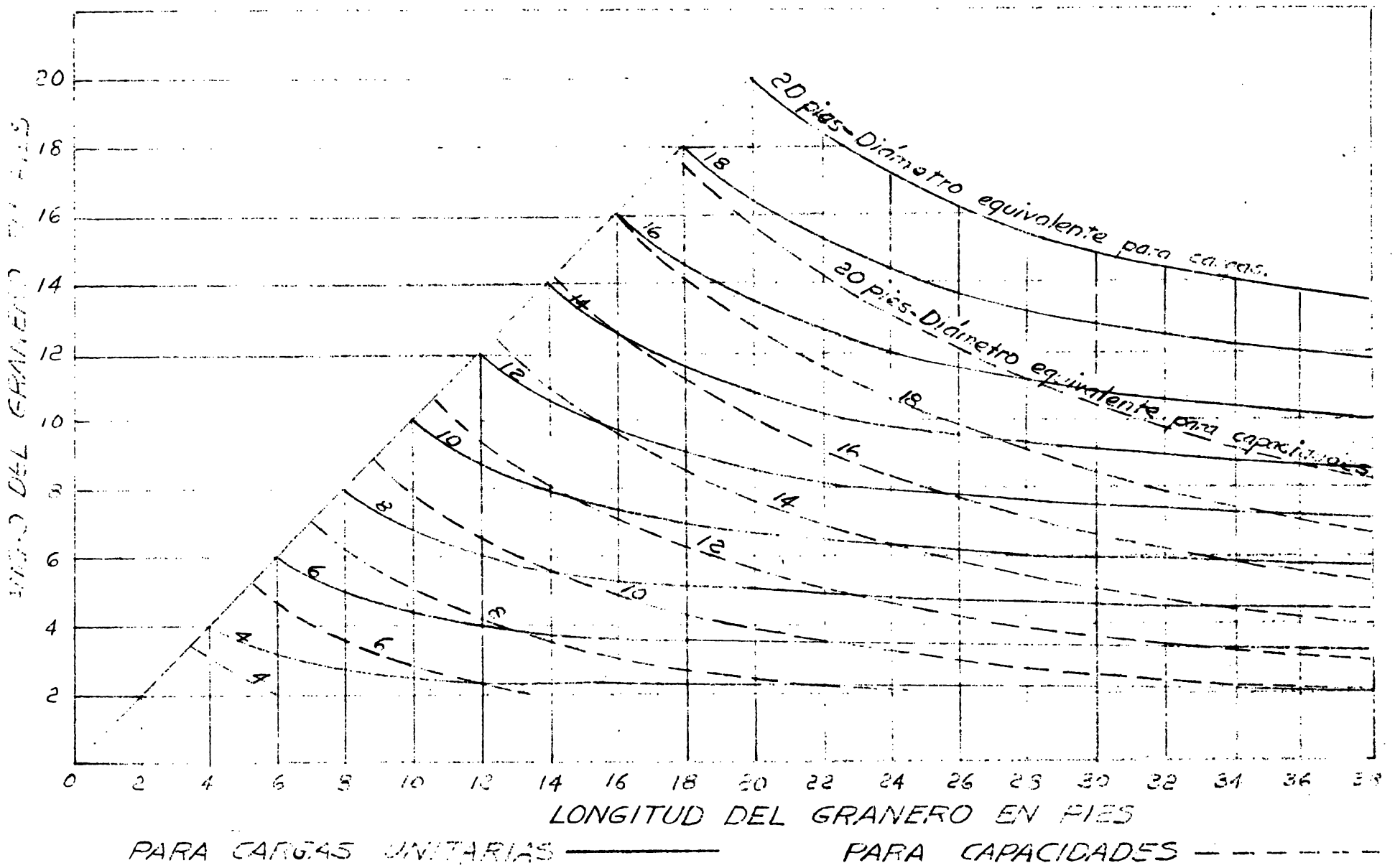
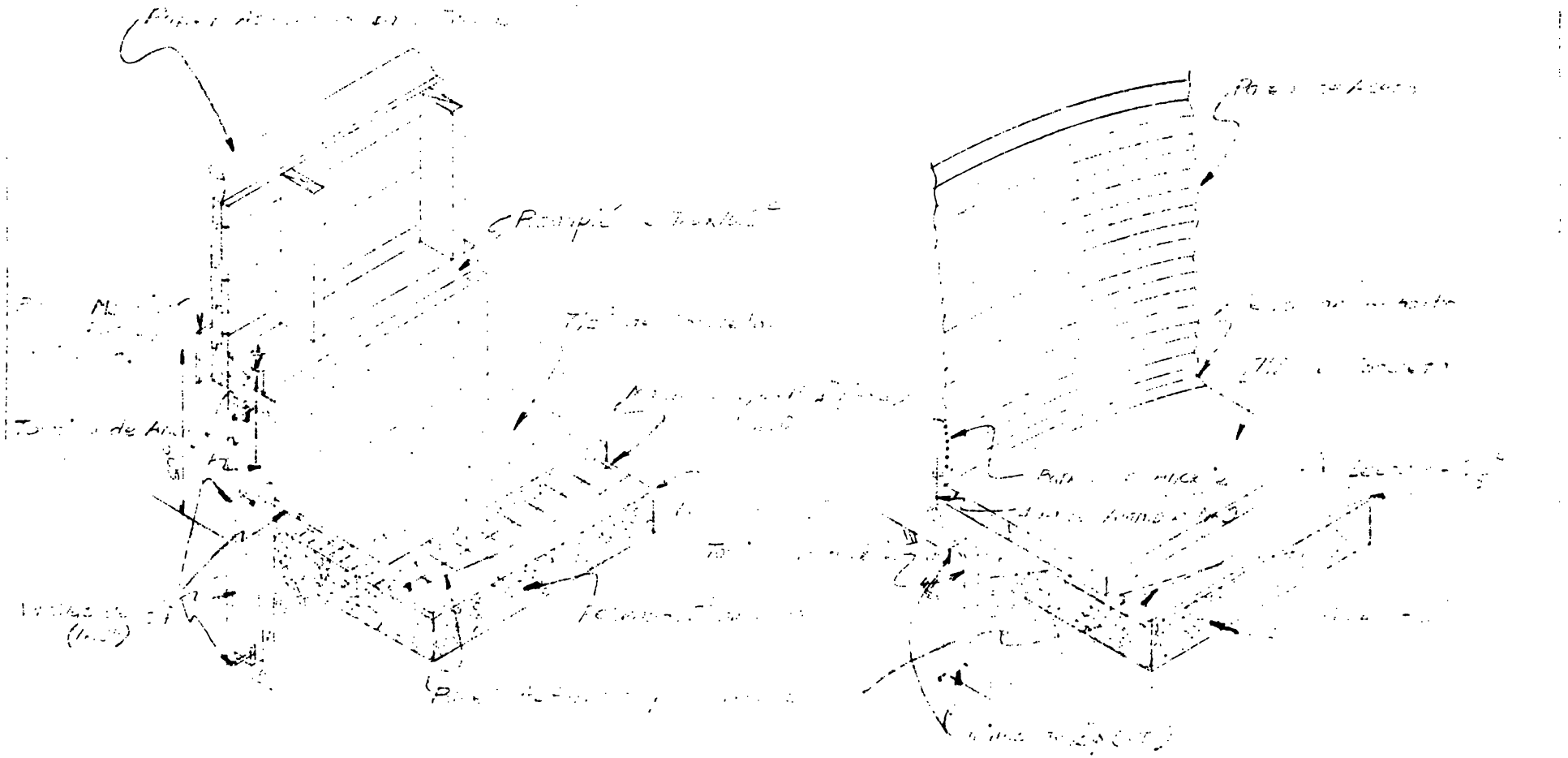


FIG. 24 - DIAMETROS EQUIVALENTES DE TROJAS RECTANGULARES



1. GRAVERO DE MADERA

2. ESTARO CILINDRICO DE ACERO

FIG. 25 – CONSTRUCCIÓN DE UNIONES ENTRE FIJO Y MÓVIL.

TABLA VII

PROFUNDIDADES DE GRANO QUE PUEDEN SOPORTAR LAS VIGAS DE PISO Y LAS CIMBRAS, DE ACUERDO CON SUS TAMAÑOS Y ESPACIAMIENTOS. #

Tamaño de la Pieza (Pulgadas)	Cimbras en Paredes* Verticales			Vigas de Piso Horizontales, Espaciadas 24" c.c. **							
	Distancia Centro a Centro en Pulgadas.			2 Soportes (Sólo Extremos)				3 Soportes (Extremos y Centro			
				Longitud de la Viga en Pies				Longitud de la Viga en Pies			
	12"	16"	24"	6'	8'	10'	12'	6'	8'	10'	12'
	Profundidad o Alturas Máxima de Grano, en Pies										
2 x 4	7.5	7	6	--	--	--	--	4.5	--	--	--
2 x 6	10	9	8	4.5	--	--	--	8	6	4.5	4
2 x 8	12.5	11.5	10	6.5	4.5	--	--	10.5	8	6	5
2 x 10	--	13.5	11.5	8	6	4.5	--	13.5	10	8	6.5
2 x 12	--	--	13.0	10	7.5	6	4.5	--	12	9.5	8

Esta tabla está basada en tamaños completos de la madera según descrita y especies de peso medio adecuadas para propósitos estructurales.

* Para cimbras de longitud igual a la altura especificadas del grano y correctamente conectados, en sus extremos superior e inferior.
Nota: El tamaño de las cimbras puede reducirse grandemente usando amarras transversales cuando la profundidad alcanza o sobrepasa 10 pies.

** Para un espaciamiento de 12", la profundidad del grano puede ser doblada.

26 muestran varios métodos para la construcción de paredes que ofrecen resistencia al paso del vapor de agua.

En algunos casos es deseable aislar ciertas partes exteriores contra el paso del calor solar. Para que sea efectiva esta aislación debe ser equivalente a la que propociona un pie de grano. Varios métodos pueden usarse separada o conjuntamente para protección contra la radiación solar, tales como aleros para detener los rayos directos, construcción de paredes dobles (fig. 26,) pintura de las superficies exteriores de blanco u otros tonos altamente reflectivos etc. Sin embargo, es generalmente preferible controlar los efectos adversos de la radiación solar por medio de una ventilación especial que comprando y colocando materias aislantes en las paredes del granero.

La fig. 23 puede ser usada para estimar las cargas laterales en paredes verticales. O la tabla VII puede usarse directamente para seleccionar tamaños y la separación es en el entramado de madera. El uso de traviesas o amarras en las trojas de marco rectangular de madera reduce grandemente el tamaño de los montantes o postes. En trojas con poco fondo donde se necesita palear el grano a mano es deseable un espacio mínimo de 6 pies entre el suelo y la parte inferior del travesaño.

Para trojas muy pequeñas 5 pies puede considerarse como mínimo. Los travesaños pueden también usarse ventajosamente como lados de conductos de distribución en las partes centrales o altas de la masa de granos (Véase fig. 20).

Techos

Es deseable inclinar cualquier tipo de techo que se coloque sobre una troja por dos razones importantes: 1) el desnivel permite un drenaje inmediato del techo y 2) cierto espacio es necesario para el llenado, la inspección y el tratamiento durante el almacenamiento. Además, los techos inclinados son generalmente más económicos estructuralmente.

Usualmente un techo debe suministrar ventilación y al mismo tiempo ser a prueba de lluvias. Los ventiladores de regla o rejillas al final dan buenos resultados con techos de dos aguas. Para techos redondos o cónicos colocados sobre edificios circulares, un ventilador en el centro de la cumbrera o ventiladores en el alero pueden ser empleados.

Sistemas de Trojas Bajas

A continuación se presentan y duscuten brevemente planos esquemáticos y para diseños de trojas de poco fondo. Se desea apenas que éstos sean sugestivos e ilustrativos en naturaleza. Puedden conseguirse planos detallados para algunas de estas construcciones, y unidades pre-fabricadas comercialmente pueden adaptarse a otras.

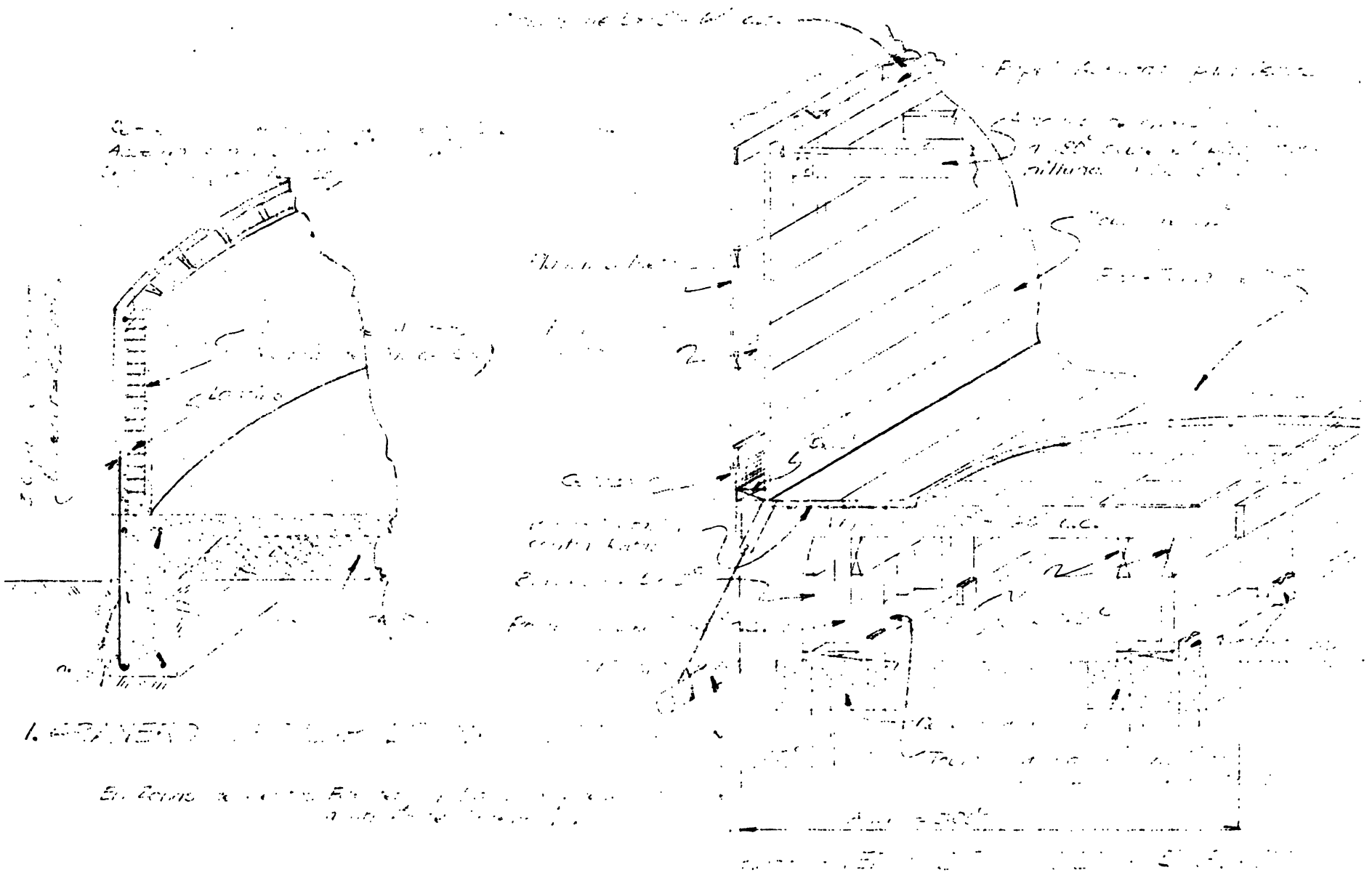


FIG. 26 –

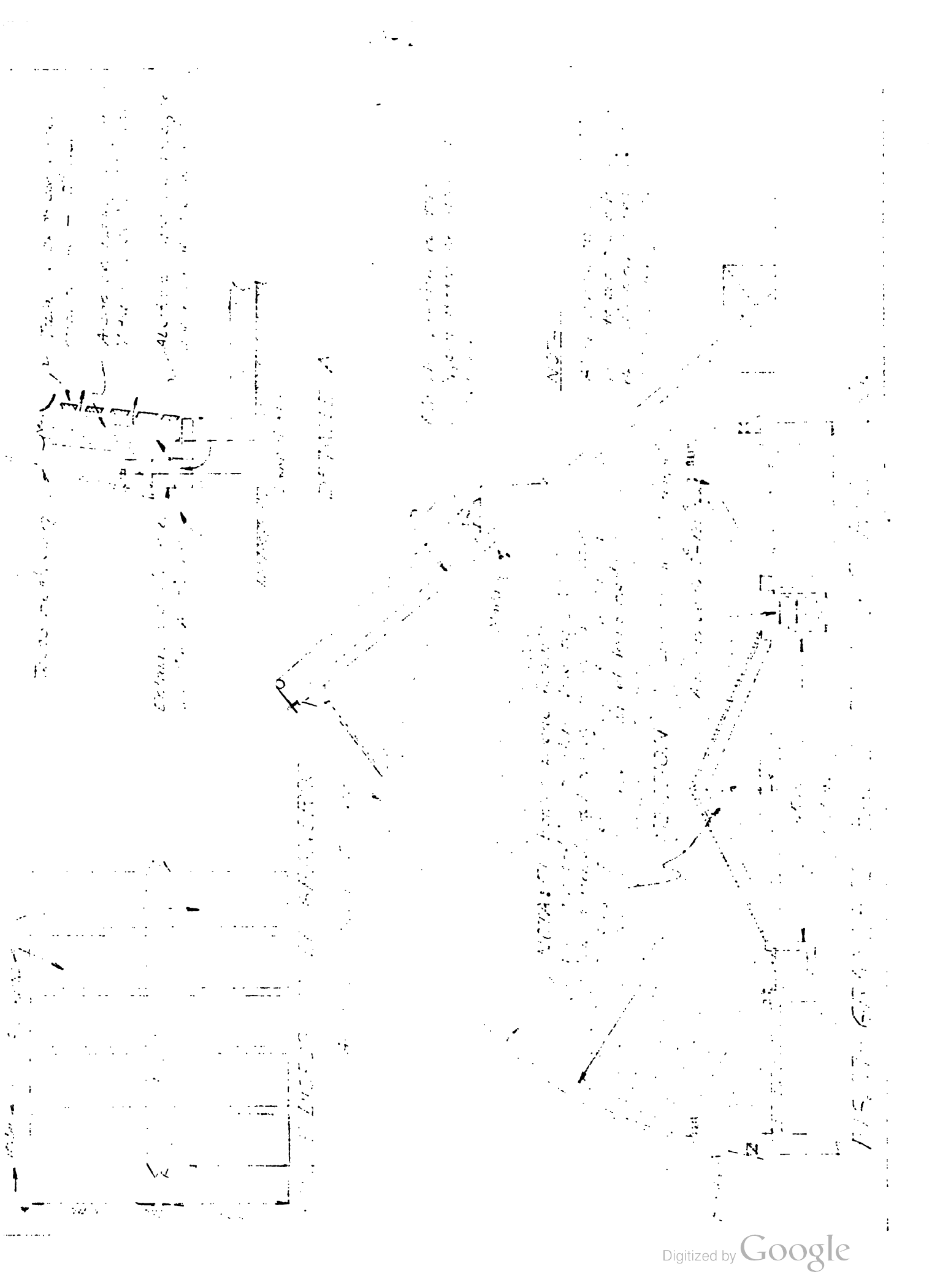
Figura 19 - Unidad de Almacenamiento por Cargas o a Granel equipada únicamente con pasajes al nivel del piso o con un piso falso perforado. Los métodos para operar esta clase de secadores-almacenadores se discuten en la página .

Figura 20 - Unidad de Almacenamiento con Ventilación - que emplea conductos para distribuir el aire en la masa de granos. La ventilación forzada o el pasaje de aire naturalmente seco o artificialmente calentado, se obtiene cuando es deseable abriendo y cerrando las puertas de control en cualquiera de los finales de los conductos ventiladores. El uso abundante de traviesas en los lados de los conductos de aire hace posible una armadura del tipo "ballon" para profundidades del grano hasta 7 u 8 metros. Una cubierta metálica para los conductos, prefabricada y perforada, fácilmente colocable y removible, se muestra detalladamente en la figura .

Figura 27 - Troja Baja de Techo Redondo - Con facilidades para la ventilación y o el secado del grano después de almacenado. Si se ubica esta estructura en un área donde existe intensa radiación solar por lo menos parte del día, el calor solar que atraviesa el techo puede ser conducido hacia el grano y de ese modo obtener secamiento haciendo que el abanico succione el aire hacia abajo y a través de los granos. El secado puede también lograrse forzando aire natural o artificialmente calentado hacia arriba. Una serie de estas trojas conectadas a un edificio central con equipo de conducción y elevación, puede constituir un centro de almacenamiento de tamaño variable y fácil expansión.

Figura 28 - Trojas Individuales Pequeñas - arregladas de modo que se obtengan un manejo y movimiento convenientes del grano. La provisión en algunas o todas las trojas de conductos de aire o pisos falsos permitán el acondicionamiento del grano después de puesto en almacenamiento.

Figura 29 - Centro Comunal de Secado y Almacenamiento de Granos en Saco - Tal sistema puede servir satisfactoriamente para secar y almacenar por contrato diversas clases y lotes de granos en un área de pequeños productores. Todos los cuartos de almacenamiento deben ser construídos lo suficientemente cerrados para permitir la fumigación con gases.



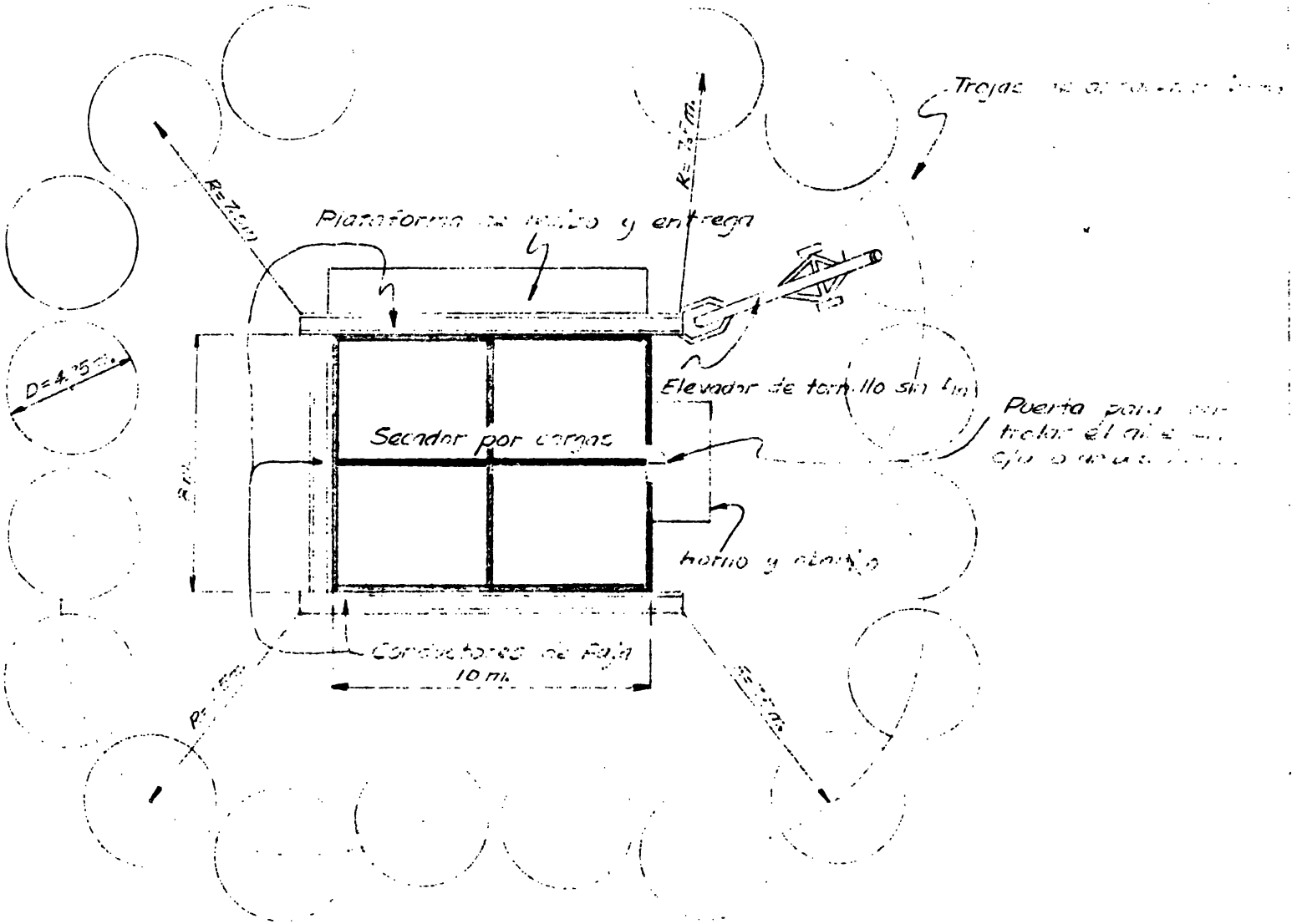


FIG. 28 - CENTRAL DE SECADO Y ALMACENAJE - TRUJAS PEQUEÑAS

Alamcenamiento Hermético

El almacenamiento hermético ha sido considerado por algunos investigadores como la solución de todos los peligros del almacenamiento de granos húmedos e infestados. Aunque han sido hechos varios estudios de graneros herméticos, y existe por lo menos un tipo que ha tomado auge comercialmente, las posibilidades y limitaciones de esta clase de bodegas para granos en regiones húmedas y cálidas no han sido todavía exploradas en forma completa. Las características intrínsicas de las trojas herméticas que ofrecen ciertas ventajas para el almacenamiento de granos producidos en regiones cálidas y húmedas, son:

1. El dióxido de carbono, que se produce en un granero debido a la vida que existe en su interior (respiración del embrión del grano y vida biológica incluyendo mohos e insectos) aumentará en concentración con una disminución correspondiente de oxígeno. La acción conjunta de estos fenómenos tiende a prevenir y finalmente a destruir todo proceso de metabolismo. Por consiguiente, insectos y mohos no pueden desarrollarse bajo condiciones herméticas.

2. Un recipiente a prueba de aire o de gas naturalmente prevendrá la entrada de agua, vapor, insectos o roedores desde el exterior.

Aunque lo anterior es sin duda verdadero, constituye sólo parte de la historia. Si bien el agotamiento del oxígeno previene los procesos del metabolismo, causa también la respiración anaeróbica y facilita el desarrollo de micro-organismo de este género, los cuáles en poco tiempo pueden matar todos los embriones de los granos. También se ha demostrado que algunos organismos tienen que sobrevivir a los olores ácidos y los alcoholes producidos cuando los granos húmedos se almacenan herméticamente. Aparentemente el contenido de humedad de los granos en el momento de ser almacenados herméticamente tiene mucho efecto sobre el tipo y velocidad del proceso anaeróbico. El grano seco puede ser mantenido durante largo tiempo en bodegas herméticas con poco cambio en su calidad, excepto por la pérdida de germinación y el desarrollo de ciertos olores indeseables que algunas veces pueden ser disipados después del almacenamiento por medio de una aereación forzada. Entre más húmedo el grano, más pronto se harán sus condiciones indeseables para propósitos de alimentación. El valor real de estos granos como alimento para animales no ha sido todavía investigado detenidamente. Es posible que tales granos con valores peculiares puedan ser útiles en la nutrición para animales. Sin embargo, hasta que no se tenga mas información respecto a los valores alimenticios de los granos almacenados herméticamente y mientras no se determinen los efectos, tiempo vs. contenido de humedad tienen sobre la rapidez con que el grano pierde su buena calidad, parece que este método de almacenamiento apareja un alto riesgo, especialmente en regiones en donde el grano

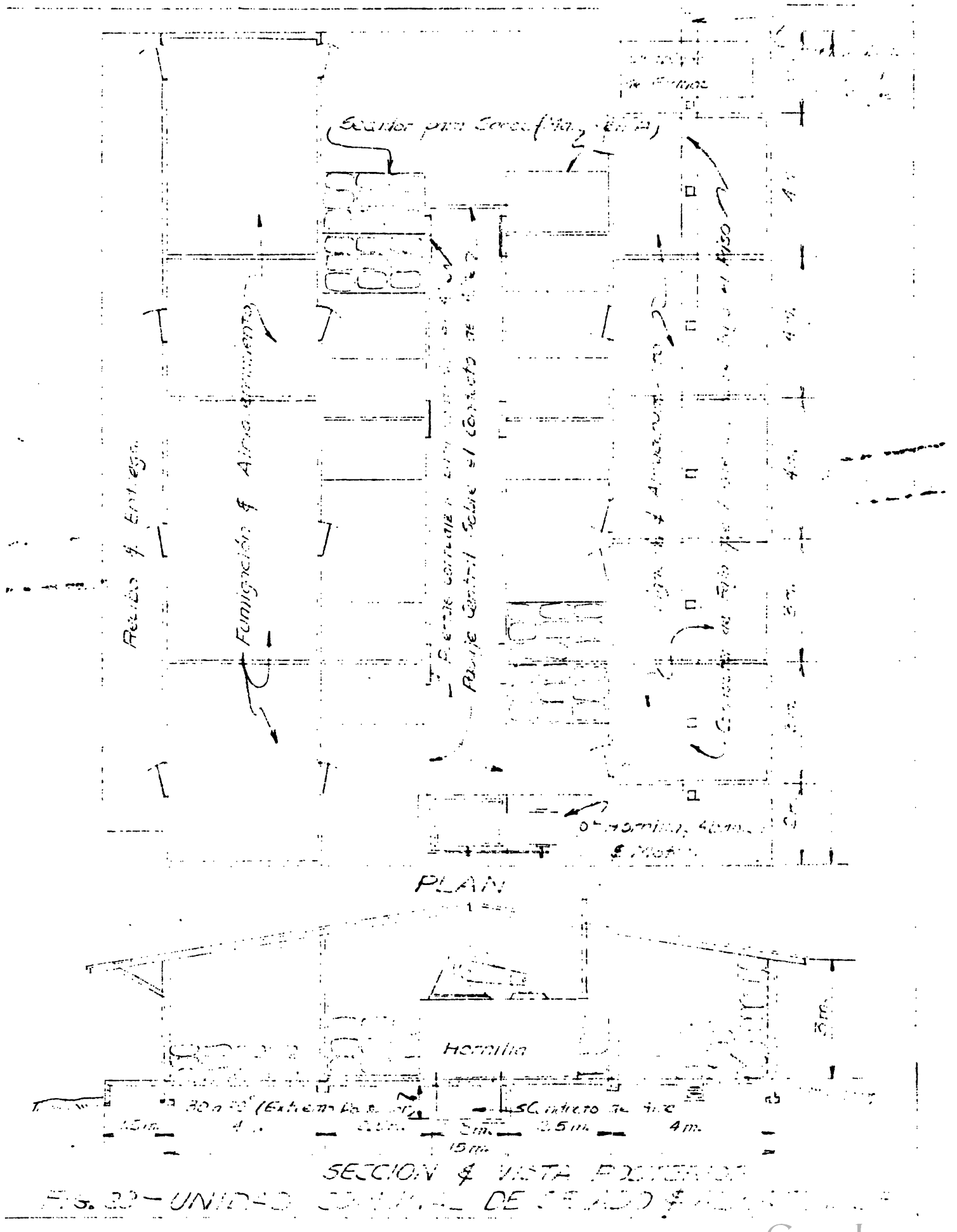


FIG. 32 — UNIDAD CENTRAL DE SECADO Y

almacenado se destina primordialmente al consumo humano. El costo de los graneros herméticos es mayor que el de las trojas cerradas corrientes, ya que una bodega verdaderamente hermética es difícil de obtener y requiere métodos especiales de construcción.

Bodegas Subterráneas

Ambos tipos de bodegas bajo tierra, el de hoyo y el de trinchera, han sido usados con resultados satisfactorios en ciertas regiones del mundo. En climas secos y en sitios con buen drenaje y sub-drenaje, bodegas de este tipo con grandes capacidades pueden ser construídas con poco costo. Los lados y el fondo del hoyo o la trinchera se protegen generalmente con concreto. Durante períodos de poca o ninguna precipitación, la parte superior puede consistir de una capa o papel especial para techos o asfaltado, cubierto con tierra para protegerlo y preservarlo.

Los granos que están apropiadamente secos y preservados en esta forma durante su almacenamiento; se mantendrán en tan buenas condiciones como en cualquier otro tipo de granero. Sin embargo, en regiones cálidas y con fuertes lluvias, resulta muy difícil y costoso construir bodegas subterráneas que mantengan el grano seco por períodos largos de tiempo. Además, las bodegas a granel demasiado grandes no son adecuadas ni convenientes para la manipulación de pequeños lotes de granos.

Noviembre 15, 1951
AE-21-51

SELECTED BIBLIOGRAPHY

TEXTBOOKS, HANDBOOKS, CATALOGUES, AND MANUALS

		Approximate Price
1.	Anon. Consolidated Grain Milling Catalogs (Catalogue directory), American Miller & Processor, 330 S. Wells St., Chicago 6, Ill. 562 pp.	$5.00
2.	Barre, H. J. & Sammet, L. L. 1950. Farm Structures, John Wiley & Sons, Inc., New York. 650 pp.	7.50
3.	FAO, 1948. Preservación de Granos Almacenados. Trabajos presentados en la Reunión Internacional sobre Infestación de Alimentos, Londres, 1947. La Prensa Médica Mexicana. 176 pp.	1.50
4.	Guide 1951. American Society of Heating and Ventilating Engineers, 51 Madison Ave., New York 10, N. Y.	7.50
5.	Ketchum, Milo S. 1929. The Design of Walls, Bins, and Grain Elevators. McGraw-Hill Book Co, Inc., New York. 556 pp.	7.00
6.	Metcalf, C. L. & Flint, W. P. 1939. Destructive and Useful Insects, Their Habits and Control. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York. 981 pp.	7.00
7.	Oxley, T. A., 1948. The Scientific Principles of Grain Storage. The Northern Publishing Co. Ltd., Liverpool, England. 103 pp.	3.00
8.	Stahl, Benton M., 1948. Engineering Data on Grain Storage. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. 11 pp.	.50

BULLETINS

9.	Back, E. A. & Cotton, R. T., 1942. "Industrial Fumigation against Insects." U.S.D.A. Circular No. 369. 63 pp.	.10
10.	_____ & _____., 1940. "Stored-Grain Pests." U.S.D.A. FB. No. 1260. 46 pp.	.15
11.	Balzer, A. I. & Cotton, R. T., 1947. "Insect Pests of Stored Rice and Their Control." U.S.D.A. FB. No. 1906. 24 pp.	.10

BULLETINS (Cont.)

		Approximate Price
12.	Coleman, D. A. & Boerner, E. G., 1936. "The Brown-Duvel Moisture Tester and How to Operate It." U.S.D.A. Dept. Bul. No. 1375. 44 pp.	.10
13.	Combs, Willis B. & Smith, Fred G., 1948. "Grain Grading Primer." U.S.D.A. MP. 325. 61 pp.	.20
14.	Cotton, R. T., Frankenfeld, J. C., & Dean, G. A., 1945. "Controlling Insects in Flour Mills." U.S.D.A. Cir. No. 720. 75 pp.	.15
15.	Cotton, R. T., 1942. "Control of Insects Attacking Grain in Farm Storage." U.S.D.A. FB. No. 1811. 24 pp.	.15
16.	Cotton, R. T., & Wagner, G. B., 1941. "Control of Insect Pests of Grain in Elevator Storage." U.S.D.A. FB. No. 1880. 22 pp.	.05
17.	Davis, L. L., 1950. "California Rice Production." California Agricultural Extension Service, Univ. of Calif., Berkeley. Circular 163. 56 pp.	---
18.	Hinton, H. E. & Corbet, A. S., 1943. "Common Insect Pests of Stored Food Products--A Guide to Their Identification." British Museum (Natural History), London Economic Series No. 15. 44 pp.	.20
19.	Holman, L. E. et al, 1949. "Storage of Dry Shelled Corn in Farm-Type Bins." U.S.D.A. Cir. No. 826. 36 pp.	.15
20.	Kelley, M.A.R., & Boerner, E. G., 1936. "Farm Bulk Storage for Small Grains." U.S.D.A. FB No. 1636. 46 pp.	.05
21.	Kelly, C. F., 1940. "Methods of Ventilating Wheat in Farm Storages." U.S.D.A. Cir. No. 544. 74 pp.	.15
22.	Kirk, L. E., Ling, Lee & Oxley, T. A., 1949. "Almacenamiento y Secado de Granos." Estudios Agropecuarios de la FAO, Numero 6. Roma, Italia. 45 pp.	.50
23.	Leggett, J. T. & Gilbert, S. G., 1948. "Dehydration of Tung Nuts." Florida Engineering and Industrial Experiment Station, Gainesville, Florida. Bulletin No. 21. 35 pp.	---
24.	Marvin, C. F., 1941. "Psychrometric Tables--Vapor Pressure, Relative Humidity, and Temperature of the Dew Point from Readings of the Wet- and Dry-Bulb Thermometers." U. S. Dept. of Commerce. W. B. No. 235. 87 pp.	.15

BULLETINS (Cont.)

Approximate Price

25. Perry, R. L et. al., 1946. "Fruit Dehydration--Principles and Equipment." California Agricultural Experiment Station, Berkeley, Calif., Bulletin 698. 68 pp.

26. Ramstad, P. E. & Geddes, W. F., 1942. "The Respiration and Storage Behavior of Soybeans." University of Minnesota, St. Paul, Minn. Agricultural Experiment Station. Tech. Bul. No. 156. 54 pp.

27. Shedd, C. K., 1950. "Mechanical Drying of Corn on the Farm." U. S. D. A. Cir. No. 839. 26 pp.

28. Shedd, C. K. et al., 1949. "Storage of Small grains and Shelled Corn on the Farm." U.S.D.A. FB. No. 2009. 30 pp.

29. Smith, W. D., et al, 1938. "Effect of Date of Harvest on Yield and Milling Quality of Rice." U.S.D.A. Cir. No. 484. 20pp.

30. Stahl, M., 1950. "Grain bin Requirements." U.S.D.A. Cir. No. 835. 23 pp.

31. U.S.D.A. Agricultural Marketing Service--Service and Regulatory Announcement No. 147--"Air-Oven and Water-Oven Methods Specified in the Official Grain Standards of the United States for Determining the Moisture Content of Grain." Revised 1941. 3 pp.

32. U.S.D.A. Production and Marketing Administration, Grain Branch. 1947. Handbook of Official Grain Standards of the United States. 101 pp.

Note:-- All U.S.D.A. publications are for sale at the prices indicated by the Superintendent of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington 25, D. C.

MIMEOGRAPHED AND PUBLISHED ARTICLES

33. Barr, H. T. and Coonrod, L.G. "Present Status of Bulk Drying and Storage of Rice on the Farm." Lousiana State University, Baton Rouge, La. Mimeographed paper presented at Annual ASAE Meeting at Houston, Texas, June 1951.

34. Dexter, S.T. "A Colorimetric Test for Estimating the Percentage Moisture or the Storage Quality of Farm Products or Other Dry Materials." Michigan Agricultural Experiment Station Quarterly Bulletin. 30:4. May 1948.

35. Dexter, S. T., and Creighton, J. W., 1948. "A Method for Curing Farm Products by the Use of Drying Agents. Jour. Am. Soc. Agron. 40:70-79.

36. Holman, L. E. &Carter, D. G. "Corn and Grain Conditioning with or without Heat." Agricultural Engineering 28:397-401. September 1947.

37. Hukill, W. V. "Basic Principles in Drying Corn and Grain Sorghum." Agricultural Engineering 28:335-340. August 1947.

38. Ives, Norton G. "Graneros para la América Tropical." La Hacienda. August 1949.

39. Ives, Norton C. "Nuevos Sistemas para el Secamiento de Granos en los Trópicos Americanos." La Hacienda. Oct. 1949.

40. Kramer, H. A. "The Mechanics of Rice Drying." Agricultural Engineering. 28:411-414. September 1947.

41. _____ "Drying Combined Rice." Mimeographed report prepared under Research and Marketing Act of 1946. U.S.D.A. Bureau of Plant Industry, Soils, and Agricultural Engineering. July 1948.

42. Langley, C. et al. "Harvesting and Drying Peanuts in Texas." Texas Agricultural Experiment Station, College Station, Texas. Progress Report 1124. June 1948.

43. Milner, Max, Christensen, Clyde M., & Geddes, W. F. "Grain Storage Studies VI. Wheat Respiration in Relation to Moisture Content, Mold Growth, Chemical Deterioration, and Heating." Cereal Chemistry, 24:3. May 1947.

44. Smith, W. D. "Recommended Drying Air Temperatures for Drying Rough Rice in Rice Dryers." Mimeographed. U.S.D.A. Production and Marketing Administration, Grain Branch. July 1944.

45. Sorenson, J. W. "Hay and Grain Drying." Texas Agricultural Experiment Station. Progress Report 1070. March 1947.

46. Quisenberry, K. S. "Grain Values to be Safeguarded During Conditioning and Storage." Agricultural Engineering 30:586. December 1949.

GRAIN STORAGE BUILDING PLANS

47. Midwest Plan Service. 1949. Farm Grain Storage Building Plans. Address request to Henry Giese, Chairman, Agricultural Engineering Department, Iowa State College, Ames, Iowa. Plan catalogue available upon request. Complete set of plans. $ 7.50