

PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITACION AGROPECUARIA
Administrado por el
INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS – OEA
Oficina en Colombia

PNCA – 06

ACONDICIONAMIENTO DE GRANOS:
SECAMIENTO,
ALMACENAMIENTO Y COSTOS

Alvaro Castillo Niño



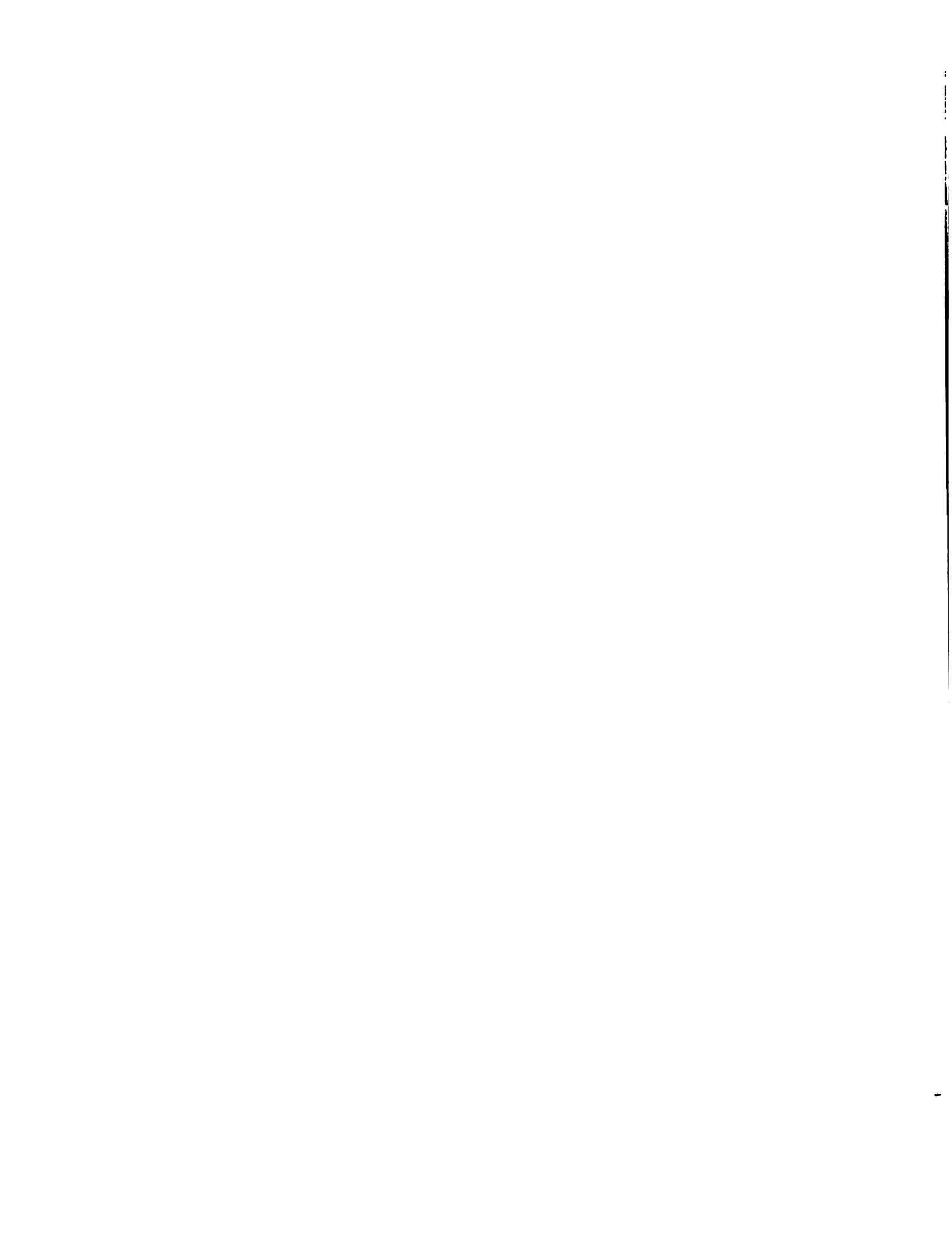
Noviembre de 1980
Bogotá, Colombia



AGRINTER-AGRI

VCA
E10
122

10-10-11



PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITACION AGROPECUARIA
ADMINISTRADO POR EL
INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS - OEA
OFICINA EN COLOMBIA

ACONDICIONAMIENTO DE GRANOS:
SECAMIENTO,
ALMACENAMIENTO Y COSTOS

ALVARO CASTILLO NIÑO

NOVIEMBRE DE 1980
BOGOTÁ, COLOMBIA

00003373

PRESENTACION

El Programa Nacional de Capacitación Agropecuaria fue creado en 1969, mediante Acuerdo entre el Gobierno de Colombia, el Ministerio de Agricultura y el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA).

El propósito fundamental del PNCA, ha sido el de ofrecer capacitación a funcionarios en ejercicio, de las principales entidades del sector agropecuario colombiano.

La capacitación ofrecida por el PNCA se efectúa a través de tres áreas: una primera área, relacionada con mercadeo agropecuario, agroindustria y crédito rural; una segunda área, que comprende cursos sobre Comunicación y Extensión Agrícola y Metodología de la Enseñanza; finalmente, en la tercera área se involucran las actividades sobre Formulación y Evaluación de Proyectos Agrícolas, Administración Rural y Administración Financiera.

EL PNCA es consciente de la importancia que tiene en un proceso de capacitación, el poder ofrecer materiales didácticos que tengan vigencia y que reflejen la situación actual del país. Es por ello que el propósito fundamental, a través de sus 11 años de existencia, ha sido el de actualizar permanentemente los materiales de enseñanza, utilizados en los diferentes cursos.

En esta forma, el PNCA presenta con mucha satisfacción, el libro titulado: "Acondicionamiento de Granos, Secamiento, Almacenamiento y Costos", del cual es autor el doctor Alvaro Castillo Niño y cuya revisión estuvo a cargo del doctor Ismael Peña Díaz, Jefe de la Unidad de Mercadeo del PNCA y Edith Torres T., de la Unidad de Publicaciones del IICA.

El doctor Castillo cuenta con una amplia experiencia en los aspectos técnicos concernientes al manejo y conservación de granos y ha colaborado significativamente en la realización de los cursos que sobre el particular desarrolla el Programa.

Estamos seguros del beneficio inmediato que este libro tendrá para los participantes a los cursos que sobre conservación y mercadeo de granos realice el PNCA en el futuro, lo mismo que para los profesionales que se desempeñen en este campo, dada la temática y claridad con que se presentan los conceptos técnicos incluidos en la obra.

*Ismael Peña D.
Jefe Unidad de Mercadeo-PNCA*

CONTENIDO

	<u>Pag.</u>
I. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CONSERVACION DE GRANOS ALMACENADOS	1
A. Humedad	1
1. Medición de humedad	3
2. Aparatos medidores de humedad	4
B. Método de Destilación	4
C. Hornos al Vacío	5
D. Medidores Eléctricos	5
3. Migraciones de humedad	6
4. Temperatura	8
E. Contenido de Impurezas y Grano partido	10
F. Microorganismos	13
G. Muestreo y Controles de Laboratorio	20
Referencias	24
II. ALMACENAMIENTO (BODEGAS-SILOS)	25
A. Recomendaciones Generales para Diseño y Construcción de Bodegas para Almacenamiento de Granos	26
1. Diseño de bodegas	26
2. Control de roedores	34
3. Almacenamiento a granel en bodegas	35
4. Almacenamiento en silos	35
5. Almacenamiento hermético	39
6. Explosiones de polvo	41
7. Soldaduras	43
8. Disminución de daños	44
9. Medidas de emergencia y evacuación	44
10. Accidentes en silos	46
11. Aireación	46
Referencias	49

	<u>Pag.</u>
III. SECAMIENTO DE GRANOS	50
A. Secado	50
B. Psicrometría	50
C. Presión de Vapor (P.V.)	50
D. Humedad Relativa (H.R.)	51
E. Combustibles	59
F. Energía Solar	60
Referencias	61
IV. ZONIFICACION DE LA PRODUCCION DE GRANO EN COLOMBIA, DE ACUERDO CON SUS CONDICIONES DE RECOLECCION	62
A. Zonas	62
1. Llanos Orientales	62
2. Cesar	63
3. Valle del Cauca	65
4. Costa Atlántica	65
5. Tolima - Huila	65
B. Condiciones adecuadas de Recolección	66
V. EQUIPO MECANICO PRINCIPAL UTILIZADO EN RECIBO Y SECADO DE GRANOS ..	67
A. Sistema de Descargue	67
1. Recibo de sacos	67
2. Recibo a granel	70
B. Control de Polvo en las Tolvas	72
C. Transportadores	72
1. Tornillo sinfín (o de Arquimedes)	74
2. Transportadores de arrastre	77
3. Transportadores de banda	77

	<u>Pag.</u>
D. Elevadores de Cangilones	79
1. Base	81
2. Cabeza	81
3. Cubetas	82
4. Banda	84
5. Piernas	85
6. Accesorios	85
7. Potencia	85
8. Prelimpiadoras	85
9. Limpiadoras	87
10. Secadoras	89
11. Transporte por gravedad	98
Referencias	101
VI. DISEÑO Y OPERACION ECONOMICA DE PLANTAS DE SECADO	102
A. Condiciones y Necesidades de la Zona	102
1. Climatología	102
B. Determinación de Capacidad	103
C. Diseño de la Instalación	104
D. Equipo e Instalaciones	104
1. Tolva de recepción	104
2. Secadora de granos	104
3. Prelimpiadoras	107
E. Manejo con Pérdida de Identidad	107
VII. REGLAS BASICAS PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE MANEJO DE GRANOS	108
A. Motores Trifásicos	108
B. Conversión de Unidades	108
C. Conversión de Temperaturas	109
D. Potencias	109
1. Tornillos sinfín	109
2. Capacidad de sinfines	110

	<u>Pag.</u>
E. Transportadores de Arrastre	110
1. Potencia	110
2. Capacidad	110
F. Elevadores de Cangilones	110
G. Ventiladores Centrifugos	110
H. Tuberías	110
 VIII. RECOMENDACIONES PARA SECAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE MAIZ - SORGO - ARROZ - SOYA - FRIJOL	 112
A. Maíz	112
B. Sorgo	119
C. Arroz	124
D. Soya	137
E. Frijol	140
 IX. COSTOS DE ACONDICIONAMIENTO	 141
A. Comparación de Alternativas	141
 X. ESTRUCTURA DE COSTOS DE SECAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS	 143
A. Control de Costos	143
B. Clasificación de los Costos	143
C. Precio (Tarifa) de Venta	143
D. Punto de Equilibrio	144
E. Costos Fijos y Variables	144
APENDICE 1	153
APENDICE 2	154

FE DE ERRATAS

<u>No. Pág.</u>	<u>Párrafo</u>	<u>Renglón</u>	<u>Dice</u>	<u>Debe decir</u>
11	6	4 y 5	recoletado y recoleta	recolectado y recolecta
34	3	2	callejores	callejones
35	5	4	Figura No.	Figura No. 9
41	5	5	comprensión	compresión
55	3	1	Figura No.	Figura No. 25
57	Acápite c.	1	$Q_v = (0.45) \times \Delta H \times W$	$Q_v = (0.45) \times T \times \Delta H \times W$
65	4	1	Córdiba	Córdoba
84	1	5	$RPM = \frac{54.2}{R}$	$RPM = \frac{54.2}{\sqrt{R}}$
103	1	4	preveer	prever
104	3	3	Sección VIII	Capítulo VIII
108	Fórmula A	último	EP	FP
109	Acápite D.	1	$4.13 \times M^3 \times \text{hora} \times \text{long. (mts.)}$	$\frac{4.13 \times M^3 \times \text{hora} \times \text{long. (mts.)}{1.000}$
110	Acápite G.	1	Ventiladores Centrifugos	Ventiladores (centrifugos)
120	Tabla No. 16	3 Col. 2	41%	42%



I. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CONSERVACION DE GRANOS ALMACENADOS

El almacenamiento de granos en climas tropicales no ha sido aún suficientemente estudiado; en promedio las temperaturas ambientes son más elevadas y no se dispone -como en las zonas templadas- de temperaturas frías, después de las cosechas, que permiten enfriar en forma fácil y económica los granos, mediante el uso de sistemas de aireación

En Colombia, el aumento constante de la producción de granos de los últimos años ha obligado al desarrollo y adaptación de técnicas de almacenamiento que aunque susceptibles a mejorarse, constituyen una acumulación de experiencia valiosa.

En todos los granos almacenados se producen cambios, los cuales, con muy pocas excepciones, son perjudiciales. El objeto principal de las técnicas de acondicionamiento y almacenamiento es mantener la calidad, disminuyendo los cambios.

Son varios los factores que determinan el comportamiento de los granos almacenados, y aunque ellos se relacionan y afectan entre sí, es conveniente analizarlos separadamente; los principales son: humedad, temperatura, ambiente, temperatura del grano, presencia de microorganismos e insectos, nivel de impurezas, y grano partido, forma y tiempo de almacenamiento.

El acondicionamiento más apropiado, se determinará, de acuerdo a los factores anteriores, con las condiciones del sitio de almacenamiento y el uso para el cual se destinará el grano: semilla, molienda, fina, alimento para animales, etc.

A. Humedad

Es el factor más importante que controlar, para que un grano pueda conservarse adecuadamente. La actividad biológica depende principalmente del contenido de humedad. Para que se presente la germinación, se necesita gran cantidad de agua que produce transformaciones químicas importantes en el interior del grano se aumenta su contenido de ácido ascórbico, se modifican sus hidratos de carbono ... si la humedad disponible es inferior a la necesaria para la germinación, las condiciones son adecuadas para el desarrollo de bacterias; si es aún menor se presenta el desarrollo de hongos y ácaros; los insectos pueden sobrevivir con humedad aún más baja.

Es creencia general, que el calentamiento se debe a la respiración de los granos, pero frecuentemente los hongos y los insectos presentes pueden respirar con mayor intensidad.

Experimentos realizados en 1954 permitieron determinar, que la velocidad de respiración de grano sin la presencia de hongos, apenas aumenta al variar el contenido de humedad entre el 12% y el 20%; el calentamiento de granos almacenados en consecuencia, se debe a la respiración de agentes externos (1).

El control del desarrollo de hongos y de la respiración de los granos por medio de secamiento es la forma más práctica y económica para facilitar su conservación, aunque en los últimos años se ha conseguido avances importantes en la utilización de productos químicos que inhiben el desarrollo de hongos en granos húme-dos. El almacenamiento de granos a bajas temperaturas, también se ha utilizado

Los mohos, -hongos microscópicos que se desarrollan en las superficies de los granos- son la principal causa de deterioro. Su acción afecta la capacidad de germinación, produce cambios físicos y químicos y con frecuencia los residuos de su metabolismo, las toxinas, pueden hacer los granos completamente inapropiados para el consumo.

El desarrollo de las esporas de los hongos, presentes en prácticamente todas partes, pero especialmente alrededor de silos y bodegas, depende fundamentalmente de la humedad relativa del aire que circunda el grano.

Los granos, cereales y oleaginosas son organismos higroscópicos, que absorben o entregan humedad al aire que los rodea, hasta que alcanzan un nivel de equilibrio. El agua en estado líquido rara vez entra en contacto con el grano almacenado, en consecuencia es más importante estudiar los movimientos del agua en estado gaseoso en las masas de granos.

La velocidad de intercambio de humedad entre grano y aire, depende de la magnitud de la diferencia entre la humedad relativa del aire y la humedad relativa de equilibrio que corresponde a la humedad del grano, y del grado de contacto de los granos individuales con la atmósfera que los rodea. El tiempo que se requiere para alcanzar el equilibrio es mayor que el supuesto generalmente, en especial si el grano se encuentra almacenado a granel (una simple capa de grano se equilibra en un período de pocos días) y la superficie expuesta es pequeña como sucede en los silos altos.

Se ha determinado en forma experimental, que el desarrollo de todo tipo de hongos se detiene en forma total, cuando la humedad del ambiente es inferior a 62%. Un trabajo reciente del Ingeniero Colombiano Gabriel Renjifo, presentó sin embargo algunas dudas sobre la validez del dato anterior en condiciones tropicales extremas; con temperaturas ambientes superiores a 40°C, encontró desarrollo de hongos en ambientes de humedad relativa inferior a 60% (2).

Los resultados de ensayos de laboratorio hechos en los últimos decenios, coinciden en general en describir la relación entre el contenido de humedad del grano y la humedad relativa del aire circundante, como una curva sigmoide, cuyo punto de inflexión se encuentra cercano a la humedad relativa del 80% Figura No. 1.

Por ser más fácil medir la humedad del grano, que la humedad relativa del aire que lo circunda, y aprovechando la relación entre una y otra, se utiliza el contenido de humedad como criterio para determinar las condiciones de almacenamiento.

Los valores de humedad del grano correspondientes a determinada humedad relativa difieren, según se esté presentando una absorción o una pérdida de humedad en el grano; esta discrepancia, conocida hace bastantes años, se denomina efecto de "histeresis", por similitud con el comportamiento de los metales al magnetizarse o desmagnetizarse. La humedad de equilibrio puede variar en un 0.5% o más, según el nivel de humedad; para humedad alta el efecto de histeresis no es muy importante, aunque sí lo es para las humedades bajas.

En general, humedades inferiores al 13% en granos almidonosos (maíz, arroz, sorgo...) y 12% en soya, impiden el crecimiento de hongos en casi cualquier circunstancia climática normal. Para los granos oleaginosos con el control de humedad se busca además disminuir la actividad enzimática que degrada sus aceites.

En granos con una humedad relativa circundante del 70%, el desarrollo de hongos es muy lento, en especial si la temperatura es baja. Si la humedad relativa es mayor que el 75% el desarrollo de los hongos es rápido, su actividad metabólica produce calor, que a su vez acelera aún más la respiración.

En todo organismo biocoloidal como los granos, se puede considerar que el agua está presente en cuatro formas principales:

- Agua superficial depositada por lluvias recientes, o por condensación de la humedad del aire producida por cambio de temperatura. Se mantiene adherida al grano sólo por fuerzas capilares, y de tensión superficial.
- Agua absorbida, ocupa espacios intergranulares y poros; proviene de agua superficial que ha penetrado en el grano o de agua formativa, que aún queda en su proceso de maduración. Se mantiene dentro de los granos principalmente por la acción de fuerzas capilares.
- Agua absorbida, unida más íntimamente y en forma coloidal a la sustancia del grano, fuerzas de atracción molecular de magnitud importante la retienen en su sitio.
- Agua de constitución, unida a la materia seca en forma química, forma parte en consecuencia de la propia sustancia del grano y no es posible removerla sin desnaturalizar el grano.

No existen límites exactos entre cada una de las humedades anteriores. Si se considera un grano muy seco, que se va humedeciendo lentamente, las fuerzas de absorción que retienen el agua se van disminuyendo en cada capa adicional, hasta llegar a igualarse con las fuerzas capilares de absorción. El comportamiento del agua se modifica en consecuencia, según las fuerzas de atracción que la mantengan adherida al grano. La presión de vapor del agua interna, y la influencia que sobre la misma ejerce el aire circundante, se disminuye con el aumento de las fuerzas de atracción; esto explica la menor humedad relativa de equilibrio de los granos más secos.

1. Medición de humedad

Las consideraciones del párrafo anterior, explican la razón por la cual es difícil determinar el contenido de humedad real del grano; la división no muy clara entre el agua absorbida y la de constitución, hace necesaria la utilización de métodos empíricos, que establezcan un límite artificial entre ellas. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) exige, para la calibración de los medidores de humedad de lectura indirecta, el uso de métodos normalizados. Por ejemplo: para maíz una muestra representativa de 15 gramos se somete en un horno a una temperatura de 103°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) durante 72 horas; determinando la pérdida de peso se puede calcular la humedad.

Para cada tipo de grano se tienen normas oficiales semejantes: en el caso del arroz, se debe moler de 30 a 40 gramos, hasta conseguir una finura con la cual todas sus partículas pasen por la criba No. 18; la muestra se coloca

en horno a 130°C (+ 1°C) durante una hora, después se transfiere a un recipiente hermético, que contenga algún material desecante apropiado; la pérdida de peso se determina cuando la muestra se ha enfriado hasta la temperatura ambiente (3). En otros países se utilizan normas diferentes, cuyos resultados no siempre concuerdan entre sí, pero que son igualmente convenientes, siempre y cuando su utilización sea consistente en todo el proceso.

La temperatura y el tiempo en el horno, se pueden combinar para conseguir iguales resultados. Para cereales es posible utilizar alguna de las siguientes combinaciones 130°C - 1 hora; 120°C - 4 horas; 105°C - 16 horas. Para granos oleaginosos el tiempo debe ser el más corto posible para minimizar la pérdida de aceite volátiles que altera los resultados. Se usa 102°C a 105°C y duración de 2 a 3 horas. Los granos de tamaño grande deben molerse previamente, pues se ha encontrado que los resultados se ven afectados por las dimensiones de las partículas.

El cálculo del contenido de humedad, por pérdida de peso, es sencillo de efectuar, si se tiene en cuenta que la cantidad de materia seca, permanece constante durante el proceso.

Ecuación de donde puede despejarse cualquiera de los valores

$$\text{En el grano húmedo, materia seca} = P_1 \frac{(100 - H_1)}{100}$$

$$\text{En el grano seco, materia seca} = P_2 \frac{(100 - H_2)}{100}$$

Donde P = peso; H = humedad

$$\text{En consecuencia } P_1 \frac{(100 - H_1)}{100} = P_2 \frac{(100 - H_2)}{100}$$

2. Aparatos medidores de humedad

Para operaciones comerciales no resulta conveniente la utilización de hornos para determinación de la humedad y se utilizan sistemas rápidos, que proporcionan en poco tiempo resultados útiles si se saben interpretar.

B. Método de Destilación

Sus resultados toman un tiempo relativamente corto: 10 ó 20 minutos; son lo suficientemente precisos para calibrar aparatos medidores de lectura indirecta. Para realizar una medición se sumerge el grano en aceite caliente, a una temperatura superior a 100°C, seleccionada según el tipo de grano, de tal manera que se produzca una evaporación completa de la humedad.

Un sistema de destilación permite condensar y recolectar el agua en una probeta graduada y calcular fácilmente el contenido de humedad. Como el punto de ebullición del aceite varía con la altitud sobre el nivel del mar los resultados cambian y es necesario efectuar algunas correcciones.

C. Hornos al Vacío

Utilizan un vacío parcial para conseguir evaporaciones rápidas aún utilizando temperaturas bajas. Son especialmente útiles con productos sensibles al calor, o que contengan una cantidad importante de aceites volátiles.

D. Medidores Eléctricos

Utilizan la variación de las características eléctricas de los granos con su contenido de humedad. Sus resultados son bastante aproximados cuando la distribución de humedad dentro del grano es uniforme. Con granos recién cosechados en un día soleado o provenientes de un sistema de secado artificial, en los cuales la distribución de humedad interna no es pareja, los resultados pueden ser erróneos por la tendencia de estos aparatos a medir la humedad de la parte externa de los granos.

En cualquier sistema de secamiento, incluyendo el que se efectúa mediante los rayos solares, el proceso de evaporación se inicia lentamente, hasta cuando la superficie del grano se calienta aumentando la evaporación de la superficie y capas externas, para disminuir nuevamente cuando la humedad debe extraerse desde el centro del grano. Si el contenido de humedad se mide en este momento con un medidor eléctrico, especialmente si es de tipo resistivo, se obtendrá un resultado inferior al real. Una muestra de arroz, por ejemplo, que se tomó de la descarga de una secadora de flujo continuo y cuya temperatura era de 36°C, marcó inicialmente una humedad del 15.1% en un medidor portátil de tipo resistivo; seis horas después, el resultado de la misma muestra fue de 15.8%, y 16 horas después de la lectura inicial se obtuvo un resultado estable de 16.3%. El operario de cualquier tipo de secadora deberá tener siempre presente esta circunstancia y analizar con cuidado los resultados, antes de tomar alguna decisión que incluya almacenamiento o mayor secado. Las precauciones deben extremarse a medida que aumente la cantidad de grano y la duración del período de almacenaje.

Con el tiempo y la ayuda de unos simples ensayos, se puede adquirir suficiente experiencia y elementos de juicio para interpretar los resultados del medidor eléctrico; basta comparar las lecturas que se tomen inmediatamente después del secamiento, con las que se tomen después de varias horas de reposo de la misma muestra en un recipiente hermético. Debe también tenerse en cuenta al interpretar las lecturas, que los "patrones", contra los cuales el medidor compara la resistencia o capacitancia de la muestra, han sido desarrollados por los fabricantes para muestras promedio, y que factores tales como el tipo de suelo, abonos, variedades, etc., pueden desviar los resultados. Igualmente el uso de fumigantes e inhibidores, químicos de hongos y los granos seriamente dañados o fermentados pueden dar lecturas completamente falsas.

- Medidores de resistencia: Proporcionan resultados confiables para humedades entre el 8% y el 22% aproximadamente. Un dispositivo eléctrico mide la resistencia de una muestra, de un peso o volumen fijo, que es necesario comprimir hasta un espesor determinado para obtener resultados consistentes. (La resistencia eléctrica disminuye al aumentar la presión). El medidor "Gann"

portátil y el "universal", son los más conocidos en nuestro medio. Se debe tener presente que en este tipo de aparatos, las mediciones en gramos recién secados pueden diferir bastante de la humedad real.

- Medidores de capacitancia: Miden la constante dieléctrica de los granos que varía con la humedad. Sus límites de medición son más amplios que los de tipo resistivo tal vez proporcionan resultados aproximados para humedades que varían entre el 6% y el 26%. Para conseguir resultados consistentes se debe llenar la celda de medición, conformada por las placas del condensador, siempre en la misma forma. Todos los aparatos de este tipo están provistos de una compuerta de apertura rápida que normaliza el llenado. Las más conocidas marcas son: "Motomco", "Steinlite", "Burrows", etc. En los últimos años han sido provistos de varias mejoras y refinamientos, tales como: impresores, indicadores digitales, corrección automática de temperatura del grano, etc., pero no puede olvidarse que todo medidor hace su trabajo, correlacionando, con datos estadísticos, la lectura de las propiedades dieléctricas del grano y su humedad, y que su precisión se ve afectada por cualquier variable, que se separe de los promedios estadísticos utilizados. Ante el aumento de la proporción del grano que se seca artificialmente, los medidores de tipo dieléctrico se utilizan en mayor número que los resistivos.

3. Migraciones de humedad

La seguridad de una masa de grano almacenada depende del contenido de humedad de su parte más húmeda; desafortunadamente, en un grano que se encuentre almacenado por cierto tiempo, este contenido rara vez es uniforme; la presencia de impurezas, insectos, factores climáticos, granos almacenados calientes, etc. produce movimientos internos de humedad, que pueden provocar acumulaciones de la misma en ciertos puntos.

En silos con trigo, de humedad inicial más o menos uniforme, se ha encontrado diferencias en humedad hasta del 6%, después de cierto lapso debido a migraciones internas de la misma. Estos movimientos de humedad son muy notorios durante los cambios de estaciones en los países de la zona templada, pero también se presentan en los trópicos; la humedad se desplaza de los lados calientes a los fríos de los silos y de pósitos y, ya sea que la pared del silo se encuentre más fría o caliente que la masa de grano, en algunos días el grano en contacto con la pared habrá adquirido la misma temperatura y se tendrá un gradiente de temperatura entre el centro y la parte periférica. Si la masa de cereal tiene una temperatura superior a la del silo (aire ambiente frío), el aire que ocupe el espacio intergranular ascenderá, mientras desciende el de la parte periférica para reemplazarlo. Este movimiento realiza un verdadero "bombeo" de humedad desde la parte inferior y periférica hasta la parte central, pudiendo, en casos extremos formarse el conocido "copete" de granos húmedos. Si por el contrario la temperatura del ambiente es superior a la del grano, el movimiento de la humedad se invertirá presentándose el deterioro del grano en la parte inferior del silo. La presencia de un foco caliente, causado por la actividad de insectos o de hongos, en el centro del silo, produce migraciones de humedad similares a las del primer caso anterior y el daño, o germinación del grano, sucederá en la parte superior del silo. En la Figura 2 se ilustran estos movimientos (4).

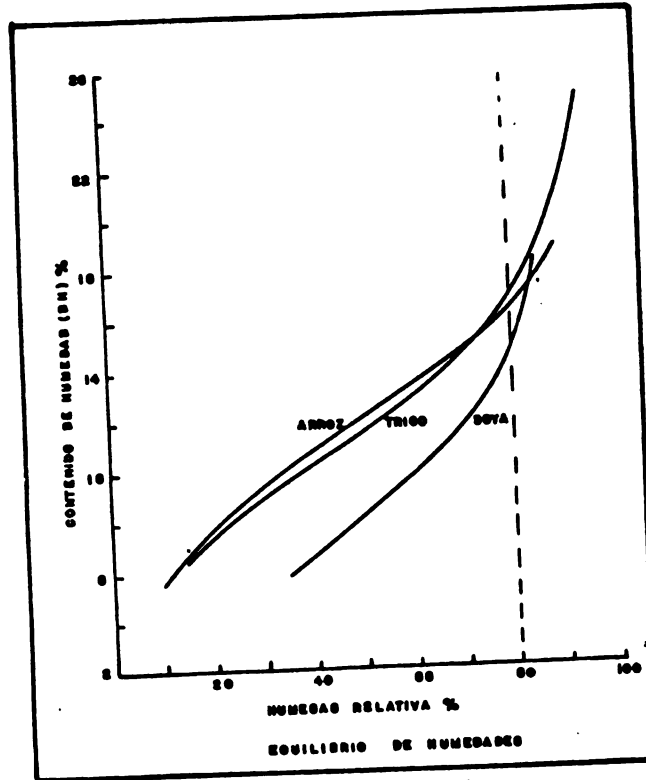


Figura No.1

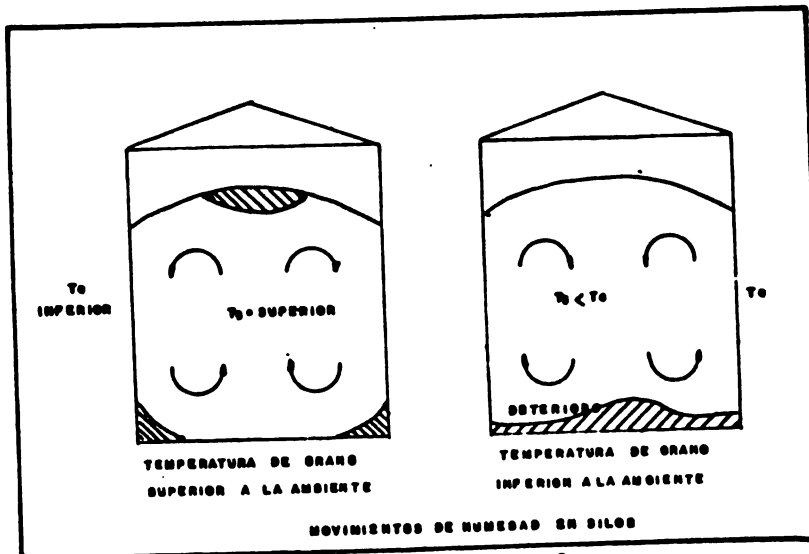


Figura No.2

Experimentos realizados en diversas partes, desde hace años, han permitido de terminar la importancia de las migraciones internas: en una capa de grano de 1.80 metros de espesor, almacenada con una humedad uniforme de 14.6% y expuesta en su parte superior a una temperatura de 35°C y en la inferior a 0°C aumentó su humedad hasta el 20% en su parte más fría, en un lapso de varios meses.

Las migraciones de humedad se producen por el gradiente de presiones de vapor de agua contenido dentro del grano y de humedad en el aire que la rodea; el agua tiende a desplazarse del sitio de mayor presión al de menor.

La utilización en forma inadecuada de los sistemas de aireación, instalados en algunos silos, o el mal diseño de los mismos, puede hacer que se presenten variaciones de humedad importantes dentro de la masa de grano. Así, la aireación en silos altos, con un ventilador que succiona desde la parte superior del mismo por una sola boca, ha producido con alguna frecuencia el fenómeno conocido de la "tunelización" del aire, sólo la parte central de la columna recibe aire para renovar el calor que el grano desprende, mientras la parte exterior continúa calentándose. El diferencial de temperatura que se establece aumenta el problema induciendo movimientos de humedad.

En climas fríos, si se efectúa la aireación succionando por la parte superior, el aire caliente después de atravesar el grano, puede condensarse al ocupar el espacio vacío superior del silo, cuya temperatura es inferior, y humedecer el grano.

4. Temperatura

El nivel de actividad metabólica de los granos aumenta con la temperatura y, al combinarse con humedad elevada, activa el desarrollo de hongos e insectos.

La tasa de crecimiento de los hongos varía con la temperatura, como puede apreciarse en la Figura No. 3 adaptada de un diagrama de la FAO (5), que muestra los resultados obtenidos en dos especies de hongos: *A. Flavus* y *A. Chevalieri* con humedades controladas en condiciones de laboratorio.

La mayoría de los hongos, se desarrollan con temperaturas de 4 a 49°C aunque algunos pueden desarrollarse a temperaturas más bajas y otros soportan hasta 76°C. Sin embargo, la mayor parte de los hongos comunes en el almacenamiento de granos, tienen su desarrollo óptimo con temperaturas de 20°C a 35°C.

Los insectos aumentan su actividad hasta aproximadamente 42°C; expuestos a esta temperatura por largo tiempo mueren. A 15°C su desarrollo se retarda en forma notoria y pueden morir a 10°C o menos.

Como los microorganismos son sensibles a la temperatura, se ha pensado emplear las temperaturas para controlarlos en zonas tropicales. Sin embargo el trabajo de Renjifo (2) encontró resultados que contradicen un poco los conocimientos actuales, pues a 43°C y 60% de humedad relativa, encontró desarrollo de hongos, dejando dudas sobre la suposición general de que la humedad relativa determina su desarrollo.

La temperatura a la cual se reciben los granos provenientes del campo, es normalmente un buen índice de su estado; normalmente, en tierras cálidas, la temperatura máxima aceptable es de 30°C.

En el proceso posterior de secado, se debe tener cuidado de no calentar los granos sobre límites determinados empíricamente y de acuerdo con su uso final.

Para grano que se destine a un almacenamiento largo, se debe controlar la temperatura de almacenamiento; si las secadoras utilizadas cuentan con sección enfriadora, ésta debe utilizarse en el último paso de secamiento; si se carece de ella, es conveniente realizar un paso rápido del grano por la torre utilizando sólo el ventilador, de tal manera que la temperatura del grano que se deposite en los silos o se empaque, no sea superior en más de 5°C a la temperatura ambiente, con el fin de disminuir el riesgo de migraciones de humedad al tomar contacto la masa caliente de granos con las paredes más frías de los silos. Se debe tener en cuenta que normalmente durante el transporte del grano de la secadora a los silos o al banco de ensaque se reduce la temperatura en 1°C ó 2°C, según la longitud y tipo del sistema, en consecuencia serán aceptables temperaturas físicas de grano superiores en 6°C ó 7°C a la temperatura ambiente, medidas en la descarga de la secadora.

Durante el almacenamiento principalmente cuando se realiza a granel en silos, la temperatura de los granos se utiliza como indicador de su estado, pues cualquier aumento de su temperatura sobre la que tenía al iniciar el almacenamiento, aún de unos pocos grados centígrados, es señal de deterioro causado por la actividad de los hongos o de los insectos. Es necesario mantener un cuidadoso registro diario de la temperatura del grano, cuidando tomar las lecturas a la misma hora del día. Si se conoce la "historia" del grano, una persona experimentada puede, con los registros de temperatura, determinar el tipo de actividad que ocurre dentro del silo.

Temperaturas elevadas por sí mismas no son indicio de problemas: es posible que el grano se haya almacenado caliente y permanezca así. Igualmente grano cuya temperatura parezca relativamente baja, no necesariamente está en buenas condiciones, puede tener focos calientes no detectados por los sensores.

En una masa de grano, un aumento de la temperatura de 1°C ó 2°C en un período de 1 ó 2 semanas es indicio casi seguro de la iniciación de deterioro que es necesario investigar para determinar la solución más apropiada: aireación, trasiego, fumigación, o en casos difíciles, retorno a la secadora para enfriamiento o aún secamiento.

Si el calentamiento es incipiente, y ha sido causado por actividad de insectos, generalmente una fumigación bien aplicada puede solucionar el problema.

Focos de calentamiento no demasiado grandes, se pueden combatir haciendo que el grano tome contacto con aire ambiente para refrescarlo, ya sea formando aire a través del grano (aireación) o llevando el grano al aire por medio de "trasiegos" con elevadores y transportadores.

Un "trasiego" o transvase del grano de un silo a otro (en ningún caso al mismo silo) además de mezclar los granos y deshacer los focos de calentamiento, puede reducir la temperatura promedio del grano en 1 ó 2°C.

Con aireación, si se dispone de un sistema adecuado y las condiciones de temperatura o humedad relativa del sitio lo permite, se puede reducir la temperatura del grano y controlar los puntos calientes, sin el inconveniente de daños físicos (aumento del grano quebrado y fisurado, mermas, etc.) que causan los trasiegos.

En todas las circunstancias es conveniente, que en una planta de silos siempre se tenga un silo vacío que permita efectuar en cualquier momento trasiegos o secamiento. Hacer un trasiego o secado retornando el grano al mismo silo puede ser peligroso, por la característica de los silos normales que hace que su descarga no se efectúe uniformemente y en el sentido de las capas horizontales, sino formando una columna, de tal manera que el primer grano en salir es el de la columna central. Si se retorna por la parte superior la periferia no tendrá oportunidad de descargarse, mientras el de la columna central efectuará el recorrido varias veces.

Los sistemas de control de temperatura, para instalaciones grandes están provistos de "consolas" para indicar y registrar las temperaturas. En los sistemas pequeños normalmente las lecturas se toman con aparatos indicadores portátiles que se enchufan en cada uno de los silos. Estos equipos son un auxiliar valioso en sitios donde se almacena grano, pero no debe olvidarse que son simplemente una ayuda, y no un sustituto para procedimientos inteligentes y cuidadosos; es conveniente complementar la información con la toma física de muestras de grano, de la parte superior e inferior del silo y, si es posible, de puntos intermedios.

E. Contenido de Impurezas y Grano Partido

La recolección mecanizada de los cereales, ha aumentado su contenido de impurezas y grano partido con relación al de los granos recolectados manualmente y trillados con máquinas estacionarias. Para economizar tiempo, normalmente el operario de la cosechadora combinada, no se preocupa demasiado por ajustar la altura de la cabeza recolectora de la máquina según las irregularidades del terreno, de tal manera que puede recoger más tallos e impurezas de los que puede separar en forma efectiva la máquina, ensuciando así los granos. Igualmente, pocas veces efectúan graduaciones: cuidadosas en la velocidad y separación del cóncavo y en la aspiración del sacapajas, según el tipo de grano, para conseguir la mejor calidad posible.

La práctica normal de pagar el valor de la recolección según el número de bultos, y el número relativamente insuficiente de combinadas en los países tropicales, contribuyen a que se demerite la calidad promedio.

Algunos tipos de granos, cuyo secamiento en la mata no es uniforme, se recolectan con impurezas mayores que otros. Así la soya de la variedad Davis tiene su tallo todavía verde cuando ya el grano está listo para recolección; sus raíces son profundas y al arrancar las matas manualmente, para formar las "chorreras" que se hacen en el Valle del Cauca y sobre las cuales pasa luego la combinada, traen terrones que son recogidos por la máquina ensuciando el producto.

Durante el manejo posterior, el grano, sufre golpes en elevadores, silos, etc., que contribuyen a quebrarlo, especialmente si se somete a un secado muy rápido, o a temperatura elevada que aumenta su fragilidad. Los sistemas de tuberías de conducción mal diseñados, con pendientes demasiado fuertes no convenientemente amortiguadas contribuyen también al aumento de las quebraduras.

El manejo y el secamiento de granos sucios se dificulta; la capacidad efectiva de las secadoras se reduce, pues además de utilizar parte del calor disponible para sacar basuras, se dificulta el flujo normal del aire y obliga a frecuentes limpiezas del equipo.

Durante el almacenamiento las partículas porosas tienden a absorber humedad del grano circundante, formando puntos calientes que ponen en peligro todo el grano, ya que no se puede olvidar que la seguridad del volumen total depende de su parte más húmeda..

Durante el llenado de silos de gran diámetro, el polvo tiende a flotar sobre la superficie, cuando se suspende el polvo se decanta, si se reinicia posteriormente, la presión del nuevo grano compacta el polvo formando "costras" que impiden el paso del aire, este efecto es especialmente notorio con el polvo del trigo; el polvo del maíz, seguramente por su mayor tamaño, no se compacta tan fácilmente, sin embargo por sus características higroscópicas puede ser invadido por hongos y contaminar el grano adyacente, especialmente en los almacenamientos a largo plazo (6).

La cáscara y cubiertas de los cereales y oleaginosas, actúan como una defensa natural contra las bacterias y hongos, los daños que sufren facilitan su infestación.

Se ha determinado experimentalmente que, a igual temperatura y humedad, el maíz americano promedio No. 2 (cuyo contenido de grano partido y materia extraña debe ser inferior al 3%), permanece en buenas condiciones sólo el 20% ó 30% del tiempo, que el maíz recoletado y el desagranado a mano. El maíz US No. 2 normalmente se recoleta con máquinas, y es cargado y descargado varias veces en silos, elevadores, secadoras, etc.

El grano partido es más susceptible al ataque de los insectos barrenadores y permite la entrada de los no barrenadores, que no pueden penetrar por sí mismos en los granos secos.

Los ataques de hongos e insectos en el campo, debilitan las cubiertas del grano y facilitan su daño posterior. Los granos inmaduros, incompletamente formados, o aquellos que por su característica varietal tengan separadas las cutículas (algunas variedades de arroz) son igualmente susceptibles al ataque fácil de insectos. Así el gorgojo de los cereales (*Rhizoperta Dominica*) ataca fácilmente a los granos de paddy inmaduros o verdes en los cuales puede entreabrir un poco la cascarilla, el gorgojo del arroz "cuatro manchas" (*Sitophilus Orizae*) sólo puede alimentarse y poner huevos en paddy seco, cuando la cascarilla está rajada (o abierta) más de 0.12mm.

En el maní es especialmente importante que la cáscara esté intacta para reducir la penetración de las esporas de hongos; la película interna, o "testa", en buenas condiciones impide la decoloración de los cotiledones por oxidación, pues contiene antioxidantes activos que protegen las grasas del oxígeno.

Las impurezas y materias extrañas contienen mayor cantidad de esporas de mohos, de bacterias y de excrementos de insectos. Su contenido de humedad de equilibrio con una humedad relativa dada, es normalmente más elevado que el de los granos sanos.

Todos los granos deberían limpiarse antes de su secado y, si fuere posible, limpiarse nuevamente después del proceso y antes del depósito en silos, con el fin de eliminar parte del polvo que no puede removerse mientras el grano esté humedo.

La selección del tamaño de las cribas que se instalarán en las máquinas limpiadoras, debe hacerse con cuidado: si la criba inferior, usada para separar los productos finos, es demasiado "abierta" se perdería grano, si es muy "cerrada" se puede enviar grano quebrado a los silos, con los problemas ya mencionados.

El daño que sufren los granos durante su manejo con transportadores, elevadores, tuberías, máquinas, depende de varios factores: la velocidad y ángulo de impacto contra las superficies, humedad y clase de grano.

Al igual que la humedad, la distribución de las impurezas en una masa de grano no es uniforme, ya que éstas tienden a segregarse y a "flotar" por su menor densidad, acumulándose en las superficies. Debajo de los puntos de llenado de silos se forma una columna de basura, que se infesta fácilmente con hongos e insectos. En una medición hecha en una planta de silos norteamericana se encontró que soya cuya impureza promedio era del 3%, contenía debajo del cargue del silo un 80%.

Es conveniente en consecuencia, relimpiar el tercio final del contenido de un silo que se esté vaciando. Si no es posible, o no se desea, limpiar los granos húmedos sucios (aquellos cuyo contenido de impurezas es superior al 2% ó 3%) es recomendable secarlos un poco más que los granos limpios.

Maíz y sorgo libres de roturas, pueden almacenarse con mayor seguridad que grano partido, pues las partículas finas y el polvo tienden a acumularse en "bolsas" durante el almacenamiento y obstruyen los intersticios entre los granos, dificultando el flujo de aire y de fumigantes facilitando la formación de focos calientes.

El almacenamiento de granos limpios, en resumen, permite un mejor aprovechamiento del espacio de almacenamiento, facilita el flujo de aire durante aireaciones y fumigaciones, da mayor movilidad al grano en las tuberías y conductos disminuyendo las posibilidades de atasque. Además se disminuye el peligro de explosiones de polvo de los cuales, hasta el momento no hemos tenido ninguna de verdadera importancia en Colombia, pero cuyo peligro es real y aterrador.

F. Microorganismos

Diversas clases de hongos y bacterias son los microorganismos que causan mayores daños en los granos almacenados. Su presencia y desarrollo depende de muchos factores.

Los hongos son plantas multicelulares, formadas por multitud de filamentos entrelazados que forman el micelio o cuerpo. Carecen de raíces, hojas y clorofila y en consecuencia deben nutrirse de productos que les suministren energía como los granos.

Los hongos se reproducen principalmente por medio de pequeñas esporas asexuales, que son fácilmente transportadas por el viento. Las esporas se convierten en nuevas plantas en cualquier momento en que las condiciones de humedad, temperatura, oxígeno y nutriente disponible sean adecuados.

Se conocen alrededor de 100 tipos de hongos que crecen en los alimentos almacenados, y que pueden producir como resultado de su metabolismo toxinas, de las cuales aproximadamente 20, se ha determinado que afectan a los animales. La ingestión de estos productos, denominados micotoxinas, puede no producir efectos físicos notorios, pero causar pérdidas económicas importantes al atrasar el desarrollo de los animales.

Ciertos tipos de hongos se desarrollan en los cultivos, de acuerdo a la región, el clima, el tipo de cultivo, etc. Entre los más conocidos están: *Alternarium Futarium*, *Cladosporium*, *Helminthosporium*, hongos que sin embargo desaparecen después de la cosecha. Su actividad produce daños en la cubierta, manchas y puede afectar su viabilidad.

Otros hongos, los causantes de los mayores daños, se desarrollan casi exclusivamente en granos almacenados: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Mucor*, etc. La magnitud de la invasión de hongos, y los daños que causen, depende principalmente de la humedad del grano; cada especie de hongos tiene una humedad óptima para su desarrollo, como se estudiará más adelante.

Los principales daños que causan los hongos en los cereales, son: disminución de la germinación, decoloración de la semilla, calentamientos, daños biológicos, posible producción de toxinas y pérdida de materia seca. Estos daños pueden suceder en una magnitud apreciable económicamente, sin que se noten a simple vista. En el laboratorio se pueden hacer controles por medio de cultivos y observaciones microscópicas que permiten la identificación de los hongos. Su actividad también se determina en forma indirecta, con mediciones de temperatura, nivel de respiración, viabilidad, nivel de acidez, grasa, etc.

Quasem y Christensen (1968) (7), encontraron que los hongos de almacenamiento son probablemente uno de los principales causantes de la pérdida de viabilidad en las semillas almacenadas. Las semillas libres de hongos conservan por un mayor tiempo su viabilidad, aunque generalmente los hongos soportan bien las condiciones de baja humedad relativa si la temperatura es relativamente alta, característica que hace más difícil el almacenamiento en zonas tropicales y que ha sido verificada por Renjifo en el trabajo ya mencionado (2).

El valor óptimo de la temperatura para desarrollo de hongos, es normalmente casi el mismo determinado como máxima tolerable. La Figura No. 4 (8), indica las condiciones en que algunas de las principales especies de hongos se desarrollan mejor; en las zonas exteriores indicadas es impredecible su desarrollo.

El conocimiento de las condiciones límites en las cuales pueden crecer los hongos, permite predecir el grado de secamiento que debe darse al grano, para inhibir el desarrollo de determinados hongos, y para encontrar las causas de ciertas clases de daños. Es posible deducir las especies que han causado los daños y deducir las diversas condiciones físicas, a las cuales el producto ha estado sometido anteriormente, por ejemplo durante almacenamientos previos.

En la Tabla No. 1 (9) se anotan los límites físicos y los valores óptimos, -de temperatura y humedad relativa- para algunos hongos:

Tabla No. 1 Condiciones para el Desarrollo de Hongos

Hongo	Límites Físicos			Valores Óptimos	
	Temperat. °C	Humedad mínima relativa(%)	Temp. °C	Humedad relat. (%)	
Asperguillus Ruber	5	38	72	24	93
Asperguillus Flavus	12	45	80	35	99
Asperguillus Fumigatus	12	52	83	40	99
Penicillum	5	32	80	24	99

Algunas especies del género *Asperguillus Restrictus* son los de mayor resistencia a la baja humedad relativa, y pueden desarrollarse hasta con 65%.

Muchos hongos tienden a tomar el color verde, característico del *penicillum*, color que no indica en ningún momento la presencia de clorofila, los hongos del género *Asperguillus*, generalmente son de color verde-amarillo.

La disminución de calidad que se presenta en los granos recién cosechados en los primeros días, es generalmente leve, pero la índole del deterioro (como ya se vio) es acumulativa y se llega a un punto a partir del cual aumenta rápidamente. Debe ser diferente el tratamiento y las precauciones de almacenamiento, para el grano, según se reciba en las etapas iniciales o en las avanzadas del deterioro. El grano que se haya "calentado" por invasión de hongos, puede ser recuperado hasta cierto punto con el secamiento; pero debe tenerse en cuenta que es mayor la probabilidad de que presente problemas en su almacenamiento posterior; el "calentamiento" indica la presencia de esporas de hongos, que entrarán en actividad a la primera oportunidad. Estos granos deben manejarse con todas las precauciones: consumirlos a la mayor brevedad, secarlos a niveles inferiores a los recomendados para los granos sanos, limpiarlos para remover materia extraña y grano partido y, al primer indicio de "recalentamiento", deben ser aireados o secados nuevamente.

Durante muchos años se creyó que la presencia de hongos en los granos solo era un inconveniente menor; en los Estados Unidos se aceptaba comercialmente daño por hongos, hasta del 5% en maíz y del 2% en soya; sin embargo a partir de 1962, después de la muerte en Inglaterra de 100.000 pavos, que habían sido alimentados con torta de maní contaminada por hongos, se identificaron varias toxinas asociadas con su desarrollo.

Uno de los hongos más comunes de almacenamiento, el *Aspergillus Flavus* (Figura 5) puede producir en circunstancias aún no bien determinadas (aún antes de la cosecha), varias toxinas denominadas Aflatoxinas (*Aspergillus-Flavus-toxinas*). Su efecto es tan potente, que sólo unas pocas partes por mil millones de Aflatoxina B-1, pueden causar efectos patológicos notorios en ciertos animales. El *Penicillium*, otro hongo muy común, puede producir la Rubratoxina, cuya ingestión en alimentos no produce efectos externos hasta poco antes de la muerte del animal, causada por hemorragia, pérdidas de peso y deterioros del hígado.

Otra línea de *Penicillium* produce la toxina Zearalenone, que se acumula generalmente cerca del germen de los granos y cuyos efectos, al contrario de los de la Aflatoxina parecen ser reversibles. El hongo *Fusarium*, produce toxinas que afectan el sistema nervioso, en las aves se observa una pérdida de equilibrio que les impide pararse durante 15 ó 20 minutos e igualmente corrosión en el pico.

Las líneas tóxicas del *Aspergillus Ochraceus*, pueden producir la Ochratoxina, que además de causar daños en el hígado de los animales, afecta los riñones y las funciones reproductivas. La Ochratoxina se encuentra frecuentemente asociada con la Aflatoxina y se considera que puede ser precursora o continuadora de la misma. Otros hongos comunes en los granos también producen potentes toxinas; seguramente con el avance de las investigaciones, se podrá determinar sus peligros.

Es de la mayor importancia tener en cuenta que las toxinas pueden formarse en granos cuyo grado de invasión no sea aparentemente muy avanzado.

Existe la posibilidad de que queden residuos de toxinas, en las carnes de animales alimentados con granos contaminados, situación potencialmente grave, si se tiene en cuenta que se ha demostrado que algunas micotoxinas, entre ellas la Aflatoxina en dosis elevadas, actúan como un potente carcinógeno en las ratas.

Hasta el momento no se han desarrollado sistemas efectivos para remover las toxinas de los granos; en general el secamiento artificial no las afecta, ni lo hacen otros tratamientos, como la exposición a ácidos, álcalis, sulfuros, rayos gamma. Sólo se ha obtenido éxito, con semilla de algodón tratada con amoníaco.

En Colombia se ha utilizado algunas veces, con cierto éxito, el "perlado" mecánico de granos invadidos, proceso que remueve las cubiertas donde se localiza la contaminación; es indispensable efectuar previamente una limpieza rigurosa que remueva las impurezas y el grano partido. En esta forma se ha recuperado aproximadamente el 70% del grano en condiciones aparentemente satisfactorias; si bien sólo se realizó el control con lámparas ultravioletas, cuyo resultado no es definitivo, según se verá más adelante.

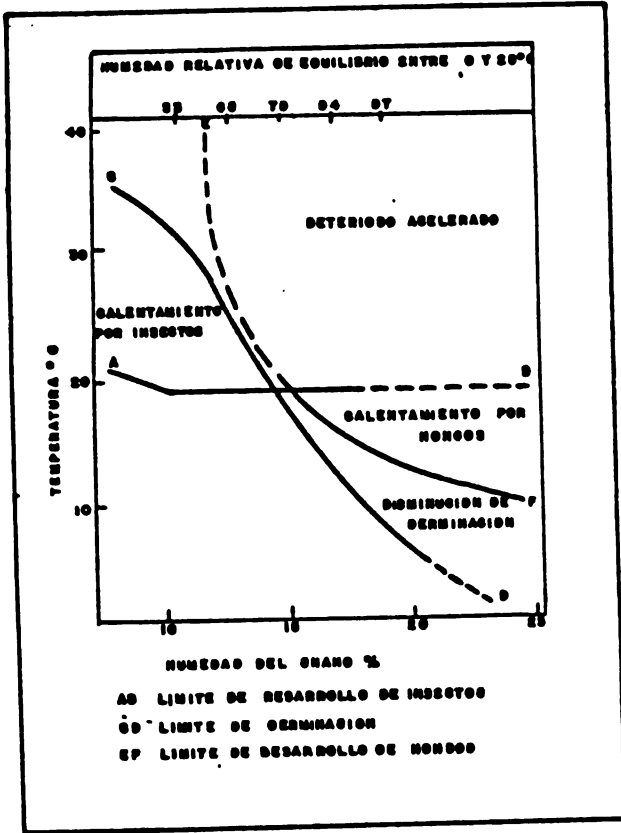


Figura No.3



Figura No.5

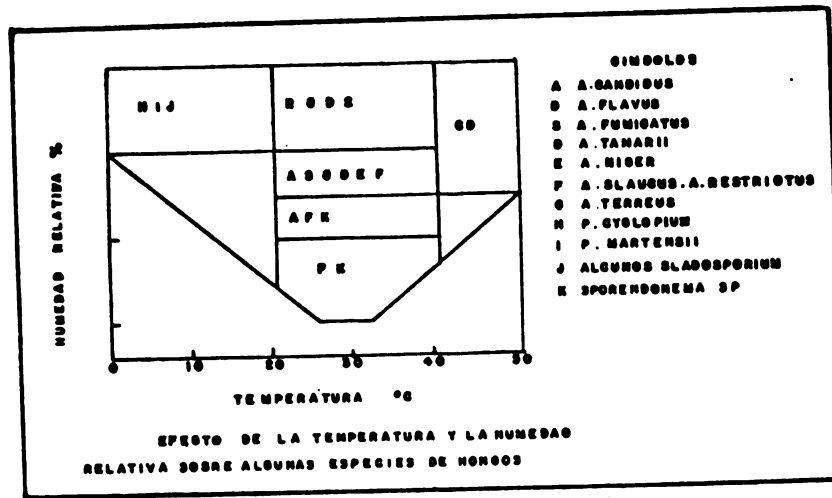


Figura No.4



El daño económico que causan las micotoxinas es enorme, con frecuencia se oyen rumores y noticias, que van desde simples bajas en la postura de las aves, hasta la desaparición de plantales avícolas completos.

Hasta el momento más de 200 micotoxinas se han aislado e identificado, pero la investigación sobre sus aspectos nocivos es aún incipiente en los países más desarrollados, la mayor parte de los controles se hace para detectar la Aflatoxina y con menor frecuencia la Ochratoxina, Rubratoxina y el ácido penicilínico. La Aflatoxina ha sido la más estudiada, se sabe que en las aves una dosis alta de maíz contaminado puede causar su muerte en sólo 48 horas; en pollos destinados a asar disminuye el crecimiento; según la dosis y el tiempo de envenenamiento, si la intoxicación no es muy severa se pueden recuperar con una buena dieta; la fragilidad de los capilares sanguíneos se aumenta y al romperse uno de éstos, la sangre se coagula a velocidad normal; la Aflatoxicosis además, disminuye las defensas naturales de los animales y el efecto protector de las vacunas, haciéndolas más susceptibles a infecciones. En la nutrición de pollos aumenta los requerimientos de proteína (niveles altos de proteína reducen sus efectos nocivos) y afecta la eficiencia de utilización de los carotenos, sustancias pigmentadoras de la yema de los huevos y de la carne; las aves son especialmente susceptibles si en su alimentación no se incluyen dosis abundantes de Rivo flavina y vitamina D.

La determinación cuantitativa de la presencia de Aflatoxinas en los granos requiere un proceso costoso y demorado. Para efectuar una determinación rápida de la presencia de Aflatoxinas puede usarse una lámpara ultravioleta, bajo cuya luz pueden producir reflejos de colores característicos; sin embargo este sistema aunque rápido y fácil de interpretar, no proporciona datos sobre el grado de contaminación.

Se hace recomendable someter el grano, que se encuentre contaminado con la lámpara a exámenes de laboratorio con métodos más precisos, como el de la milicolumna o el cromatógrafo de gases.

En la Universidad de Kansas, se desarrolló un sistema, que permite conseguir en tiempo relativamente corto (5 a 15 minutos) con la lámpara ultravioleta, un resultado más confiable y detectar la presencia de Aflatoxina en concentraciones tan bajas como 5-15 partes por billón (10).

De acuerdo con las normas norteamericanas, cualquier producto en el cual se detecte un contenido de Aflatoxinas de más de 20 ppb, no puede ser utilizado en la alimentación de los animales.

La humedad de los granos, es el principal factor que se debe controlar para evitar la formación de toxinas. En maíz cuya humedad sea del 18% y se almacena a una temperatura ambiente de 27°C, se puede formar Aflatoxina en un lapso de 24 horas después de la cosecha.

En los últimos años se ha desarrollado, especialmente en Europa, algunos métodos químicos para controlar el desarrollo de los hongos en granos húmedos. Estos métodos presentan alguna similitudes con el ensilaje ácido de forrajes verdes, y utilizan precisamente ácidos orgánicos para inhibir el desarrollo de los hongos.

Hasta el momento los métodos químicos se han utilizado exclusivamente para grano destinado a alimentar animales, pues además de afectar la germinación, les da un cierto sabor y olor "ácidos!"

Insectos. Los insectos además de consumir directamente las reservas alimenticias de los granos (se calcula en un 5% la pérdida de la producción mundial de cereales por este concepto), contribuyen con su calor y respiración a la proliferación de hongos; se estima que 70 gorgojos en un kilogramo de trigo a 25°C, pueden elevar la temperatura 1°C en 5 días aproximadamente.

Como los insectos pueden desarrollarse aún en granos del 9% de humedad, el secamiento, aunque ayuda, pues los hace más duros y difíciles de barrenar, no permite su control completo y se hace necesario el uso de insecticidas y fumigantes.

Las principales clases de insectos que atacan los cereales, pueden clasificarse como gorgojos (escarabajos) y polillas, las dos clases tienen 4 estados diferentes en su vida: huevo, larva u oruga, crisálida (transformación) y adulto; en el estado de larva causan los mayores daños; el insecto perfecto (adulto) que ha terminado su desarrollo, se dedica principalmente a reproducirse y causa daños menores.

La mayor parte de los insectos de los granos, completa su desarrollo en 30 días aproximadamente, en condiciones favorables de temperatura, humedad y nutrición .

El gorgojo del arroz (*Sitophilus orizae*) y el del granero (*Sitophilus granarius*), poseen fuertes mandíbulas que les permiten taladrar el endospermo de los cereales; las hembras depositan sus huevecillos en los orificios, para luego tapparlos con material gelatinoso. El grano, a menos que se examine con cuidado, parece sano, sin embargo el huevo se desarrolla y se convierte en una larva que consume la mayor parte del endospermo. Por esta razón se tiene a veces la impresión de que las infestaciones aparecen de la noche a la mañana. Un día el grano tiene apariencia normal, pero al siguiente, en él pululan los insectos.

Para detectar la infestación en su etapa preliminar, puede utilizarse una prueba de flotación, hecha en una solución de silicato de sodio (relación 1:1) (11) refinando un poco el sistema empleado por las amas de casa, quienes separan frijoles y lentejas que flotan en un recipiente con agua común, antes de la preparación de las comidas.

Otros insectos no disponen de mandíbulas apropiadas para taladrar, y se alimentan únicamente de las porciones más suaves de los granos (el germen) o de los granos quebrados y del polvo.

El gorgojo común (*Rhizoperta dominica*) se desarrolla en granos o en harinas, las sabandijas de la harina (*Tribolium*) se alimentan ya sea en harinas o en granos dañados por otros insectos.

El desarrollo de las plagas, la forma de combatirlas y la posibilidad de reinfestación, son diferentes, según el almacenamiento se verifique en sacos, en bodegas abiertas, en bodegas herméticas y a granel, en silos o en bodegas silos.

En las bodegas abiertas son mayores las posibilidades de una rápida reinfestación, no sólo por la llegada de nuevas plagas provenientes de instalaciones, vecinas, sino por la dificultad para exterminar todos los adultos y larvas presentes

en la bodega; los arrumes se cubren con carpas para confinar la acción de los fumigantes, pero alrededor del 1% de la población adulta de insectos, se encuentra permanentemente fuera del arrume; de tal manera que en una bodega que contenga 100.000 sacos, con una población de insectos de 1.000 adultos por saco, alrededor de 100.000 adultos permanecerán indemnes durante la fumigación. El "desove" lo pueden hacer en las paredes, en las acumulaciones de impurezas, etc. El problema será más difícil de resolver, si tal como es usual en nuestros países se fumigan sólo algunos de los arrumes almacenados dentro de la misma bodega, y no se realizan, previamente al almacenamiento, aplicaciones de insecticidas de acción residual.

En bodegas que puedan ser hermetizadas totalmente, la fumigación es más efectiva, pues, al igual que en los silos herméticos, se puede lograr el exterminio total de las plagas.

El control químico de los insectos se denomina fumigación cuando el producto aplicado es un gas; aspersión cuando se aplica un líquido y espolvoreo cuando se utiliza polvo.

Los fumigantes son insecticidas, que tienen la propiedad de desprender vapores tóxicos a temperaturas ambientes y cuya acción es rápida. El bromuro de metilo (gas licuado) y las pastillas de fosforo de aluminio (Phostoxin y Delicias) son los fumigantes de mayor uso en Colombia, pueden utilizarse en silos, arrumes y en grano a granel depositado en bodegas con las debidas precauciones.

El Bromuro de Metilo es un fumigante conveniente por su efectividad, y bajo efecto residual después de una fumigación controlada. Como se trata de un gas un poco más pesado que el aire, se puede aplicar en la parte superior de los arrumes de 5 ó 6 metros de altura cubiertos con carpas; sin embargo en silos verticales, para profundidad superior a 7 u 8 metros, la sola acción de la gravedad no es suficiente para asegurar la penetración hasta las capas inferiores y por lo tanto, para lograr un buen tratamiento, es necesario dotar a los silos de sistemas de aire que permitan recircular el Bromuro, utilizando una tubería externa o uno de los silos vacíos. En Israel se han realizado ensayos aplicando el Bromuro con CO₂ en forma de hielo seco, para activar su penetración por gravedad; dosis de 50 gramos de Bromuro por metro cúbico de silo, aplicadas con 250 gramos de hielo seco, resultaron efectivas para profundidades hasta de 17 metros (12).

Las pastillas de fosforo de aluminio utilizan como principio activo la fosfina, que se libera cuando las pastillas entran en contacto con la humedad del medio ambiente.

Si la humedad relativa es baja se retarda la formación de fosfina; en condiciones húmedas y calientes, por el contrario, ésta se acelera, originándose una rápida concentración de gas que puede estallar.

El "Phostoxin" y "Delicias", dos marcas de fábrica muy conocidas, utilizan el mismo fosforo de aluminio, pero se diferencian en los compuestos químicos complementarios. El "Phostoxin" utiliza el carbonato de amonio para regular la velocidad de desprendimiento del gas, las "Delicias" utiliza urea, compuesto que no tiene la propiedad de prevenir los efectos de la elevación de temperatura. Con las pastillas Delicias, en consecuencia, se dificulta la fumigación de productos húmedos.

Las pastillas de fosforo se aplican en los silos mezclándolas con la corriente de grano que se esté depositando, si no se dispone de equipos aplicadores automáticos puede ser difícil su uso en silos grandes; así en un silo de 1.000 toneladas, que se llene en 20 horas, se puede presentar problema después de la primera hora, cuando empieza a desprenderse el ingrediente activo. Aún con equipo automático la fumigación es un proceso delicado, pues debe necesariamente realizarse con el grano en movimiento, de tal manera que no es posible sellar completamente el silo y los gases venenosos puede escaparse a la atmósfera.

Para fumigar grano almacenado con pastillas, es necesario hacer un trasiego del grano de un silo a otro, trasiego que aunque sea en forma poco apreciable aumenta la cantidad de grano partido y polvo.

Las fumigaciones de grano en arrume con pastillas se ejecutan cubriéndolo con carpas que permitan confinar sus gases. El Phostoxin se distribuye uniformemente en el arrume, colocando las pastillas entre las hileras de los sacos exteriores, preferiblemente envueltas en papel para permitir la fácil remoción de los residuos después de finalizada la fumigación. Aunque se supone que los residuos de la fumigación son inocuos, con frecuencia producen irritaciones en la piel de los cargadores. Las aspersiones y espolvoreos se deben ejecutar frecuentemente para controlar las "palomillas" que se alojan en todos los rincones de las bodegas, equipos, etc., especialmente si no se realizan limpiezas cuidadosas frecuentes. Se busca formar sobre las superficies, inclusive la de los sacos, películas de efecto residual, que impidan la entrada de las plagas (Pybutrin).

Un tratamiento completo contra insectos debe empezar por medidas preventivas; remoción de todos los residuos de grano y polvo de los silos, tolvas, galerías, bodegas antes de recibir la cosecha, para evitar la propagación de los insectos presentes, en el grano que llega.

El equipo de manipuleo, elevadores, transportadores, amortiguadores, tuberías... debe limpiarse cuidadosamente; los desperdicios de grano, polvo, cascarrilla de arroz, -en los molinos-, deben removerse de las cercanías de los sitios de almacenamiento y quemarse. Las paredes de los silos y bodegas, al igual que los techos que no entren en contacto con los granos, deben protegerse con insecticidas y, en algunos casos, las bodegas en granjas de animales con soluciones de ácidos orgánicos.

En silos, el sitio donde generalmente puede detectarse en forma rápida la presencia de insectos (antes de que se propaguen por todo el silo) es el montón de impurezas y basura que se forma bajo el tubo de cargue del silo.

G. Muestreo y Controles de Laboratorio

El desenvolvimiento agrícola crea la necesidad de tecnificar el comercio de granos, mediante el establecimiento de normas de calidad fijadas de acuerdo a las condiciones en que se desarrollan los cultivos.

Además de sistemas de clasificación que incluyan datos sobre: humedad, impurezas, granos partidos y dañados, granos de contraste, etc., es necesario establecer sistemas de "muestreo" que sean económicos, fáciles de aplicar y, al mismo tiempo, den confiabilidad y consistencia a los resultados.

Como no es posible, en forma económica, determinar las características de humedad, impurezas, insectos, etc., de la totalidad de los lotes de granos que se comercian, se hace necesario reducir el análisis a unas cuantas muestras que sean representativas del total.

En los países tropicales de América, las técnicas utilizadas para determinar la posición y cantidad de los bultos que se deben muestrear en los arrumes, y la frecuencia con que se deben tomar las muestras de los embarques a granel, no obedecen a ninguna sistematización estadística, son hasta cierto punto caprichosas, tanto en el sector privado como en el gubernamental.

Los métodos tradicionales, por carecer de una metodología adecuada, producen resultados erróneos debido a:

- 1) Toma de muestras por personas a quienes lo único que interesa, es tomar la cantidad adecuada para los análisis y no la representativa de la misma.
- 2) Aplicación deficiente de algunos métodos tradicionales como el muestreo en arrumes en W o M.
- 3) Toma de muestras en arrumes, sólo hasta la altura que alcancen los brazos del muestreador, etc.

A veces se utiliza el criterio de que la muestra debe ser un porcentaje del lote, lo cual conduce en ocasiones a la necesidad de muestrear un número demasiado grande de bultos. Así para frijol, arveja y lenteja real (mungo), las normas existentes del IDEMA exigen muestrear el 10% de los bultos; para maíz, en lotes mayores de 50 sacos, e IDEMA determina tomar muestras del 20%.

Se ha promovido la utilización de un sistema relativamente sencillo de aplicar, pero que se basa en técnicas estadísticas refinadas (13).

Para aplicar el método, la primera etapa consiste en seleccionar la cantidad de muestras que deben tomarse de acuerdo al tamaño del lote, según la tabla siguiente.

Tabla No. 2 Tamaño de la Muestra según el Lote

Tamaño del Lote	Tamaño de la Muestra	Tamaño del Lote	Tamaño de la Muestra
2 a 2	2	281 a 500	50
9 a 15	3	501 a 1.200	80
16 a 25	5	1.201 a 3.200	125
26 a 50	8	3.201 a 10.000	200
51 a 90	13	10.001 a 35.000	315
91 a 150	20	35.001 a 150.000	500
151 a 280	32	150.001 a 500.000	800

Aunque, para cantidades grandes, el número de muestras resulta menor que por el sistema de porcentajes, puede probarse estadísticamente que los resultados son más confiables.

Si se desea hacer un muestreo en un arrume, se puede suponer que los estibadores cuando lo armaron, no hicieron ninguna selección por calidad y que en consecuencia su colocación es aleatoria, o al azar, al igual que sucede con los bultos que quedan visibles en cada una de las caras del arrume; se le asigna a cada uno de ellos un número consecutivo, se distribuye el número de bultos que se requiere muestrear (según la tabla anterior) proporcionalmente a la cantidad de bultos de cada una de las caras. Para seleccionar cuáles bultos se deben muestrear, se puede utilizar una tabla de números aleatorios, tabla que da a todos los números igual posibilidad de aparecer sin importar los números dígitos que se hayan encontrado. La mayoría de los textos de estadística tienen tablas de este tipo.

El método también es aplicable al muestreo en silos, subdividiendo la cantidad de grano total almacenado en un número imaginario de bultos de paso determinado, que permite fijar el tamaño de la muestra. Si se conoce la capacidad del equipo de descarga del silo, es posible determinar el intervalo necesario entre cada toma de muestras, de tal manera que el material descargado equivalga al número deseado de sacos.

Según se analizó anteriormente, la distribución de humedad, impurezas, insectos... no es uniforme dentro de un silo, aunque si lo haya sido la calidad inicial del grano, para que se pueda determinar la calidad promedio es necesario obtener una muestra representativa.

En pruebas realizadas en Colombia por el IDEMA (14), en climas cálidos, se pudo constatar la irregular distribución de las infestaciones dentro de un silo: muestras de grano, tomadas de la parte superior e inferior del depósito, arrojan un resultado de 16% de granos dañados por insectos, mientras el promedio total en todo el silo únicamente indicó el 1.6%.

Analizar granos en silos, únicamente de acuerdo a muestras tomadas de las partes fácilmente accesibles, puede proporcionar resultados falsos.

Oxígeno. En Europa y Africa se ha utilizado con relativo éxito, el almacenamiento en atmósfera confinada para el control de insectos y de hongos en menor grado. Normalmente se reemplaza el oxígeno de los espacios intergranulares, por el gas carbónico producto de la respiración de los granos.

Aunque es posible inyectar en los silos gas carbónico o gases inertes, el costo de operación ha limitado su campo al almacenaje de productos de mayor valor, como la alfalfa deshidratada a la cual es indispensable conservar su poder pigmentador.

La presencia de gas carbónico, disminuye la respiración de los granos cuando su contenido en el aire llega al 7%, y prácticamente la detiene con el 12%.

Desde hace muchos siglos, el almacenamiento bajo tierra, con atmósfera semi-confinada, se ha usado para granos. En Egipto se ha utilizado por lo menos durante los últimos 3.000 ó 4.000 años; se cavaban simples zanjas en sitios secos, sus paredes y fondos se cubrían con paja o bambú tejido. El grano se depositaba y cubría con paja. La capacidad de estos "silos" podía ser hasta de 3 toneladas (15) y la experiencia demuestra que, hasta cierto punto, en ellos se lograba controlar los insectos.

M. Reimbert en su libro clásico sobre construcción de silos (16) relata los buenos resultados que en 1853, obtuvo el profesor Doyares con trigo depositado en silos herméticos durante cinco años.

El almacenamiento hermético se ha utilizado principalmente en casos donde se proyecta almacenar grano para reserva, durante períodos que pueden ser de varios años.

Experiencias en Kenya (17) con maíz y trigo con 12% de humedad, almacenados en silos herméticos por tres años y a una temperatura ambiente promedio de 19°C, mostraron que el contenido de oxígeno en el aire se reduce del 21% inicial hasta niveles inferiores al 6%, por la respiración de los insectos presentes inicialmente y la reducida respiración del grano seco. Aunque el nivel de oxígeno del 6% no es suficiente para asegurar la muerte de todos los insectos, si reduce el número de insectos vivos en número muy apreciable.

REFERENCIAS

- (1) HUMMEL, CUENDET, Christensen y Geddes. Grain Storage Studies. Cereal chemistry No. 31, 1954,
- (2) RENGIFO, Gabriel. High Temperature and high humidity grain storage. Tesis de grado inédita, Universidad de Kansas, 1976.
- (3) USDA. Oven moisture determinations. Bulletin GH-notice 1211, 1971.
- (4) HALL. Mani plación y almacenamiento de granos alimenticios en las zonas tropicales y subtropicales. Cuaderno de fomento agropecuario No. 90. FAO, 1971. pag. 90.
- (5) HALL. (1971) Op. Cit. Pág. 63.
- (6) BAKES. (1974) en Tropical Stored Products Information No. 26. Pág. 36.
- (7) QUASEN Y CHRISTENSEN. (1958), citados en Tropical Stored Products Information No. 30. Pág. 25.
- (8) HALL. (1971) Op. Cit. Pág. 97.
- (9) HALL. (1971) Op. Cit. Pág. 97.
- (10) KNAKE, RAO, DEYOE. A rapid qualitative test for Aflatoxin. Universidad de Kansas, 1972.
- (11) AGRICULTURA DE LAS AMERICAS No. 1. 1969.
- (12) CALDERON. Carmi y Fumigation Trials with a mixture of Methyl Bromide and carbon dioxide in vertical bins. Journal of Stored Products. Vol. 8 (1973). Pág. 315.

- (13) GUTIERREZ, DUARTE. Muestreo para granos en bultos y a granel. IDEMA, División de Control de Calidad. Bogotá, 1975.
- (14) GUTIERREZ, DUARTE. (1975) Op. Cit. Pág. 37.
- (15) GILMAR, BOXALL. (1974). Tropical Stored Products. Information No. 28. Pág. 19.
- (16) REIMBERT M. y A. Construcción de silos. Aguilar, Madrid, 1962.
- (17) BAKKER. Trials with maize and wheat stored for long periods under hermetic conditions in the Kenya "Cyprus" bms. Tropical stored products information No. 27 (1974). Pág. 33.

II. ALMACENAMIENTO (BODEGAS-SILOS)

Introducción

Tradicionalmente en los trópicos americanos, el grano se almacena en bodegas, ensacado, formando arrumes. Este tipo de almacenamiento, aún hoy día, tiene primordial importancia en la mayoría de los países, así en Colombia se dispone de aproximadamente 1.800.000 metros cuadrados de bodegas, en los cuales se puede almacenar alrededor de 3.600.000 toneladas, mientras en los silos metálicos y de concreto disponibles la capacidad es de sólo 540.000 toneladas (1).

Contrariamente a lo sucedido en Estados Unidos, Canadá y aún la Argentina, la construcción de silos en los trópicos, no ha correspondido a las necesidades creadas por las técnicas de mercadeo, sino ha sido "forzada" con los denominados "planes de silos", promovidos por los gobiernos. El resultado más frecuente ha sido la construcción de estructuras inadecuadas e innecesarias. Las entidades internacionales de desarrollo, generalmente creen que la modernización de las estructuras de un país, puede reducirse a un "trasplante" de tecnología de países más avanzados. Lo sucedido en Filipinas e Indonesia es ilustrativo: en Filipinas el gobierno tiene cuatro plantas de silos y el sector privado dos, construidas con diseños refinados que incluyen aún circuitos cerrados de televisión, que permiten controlar las operaciones desde cómodas oficinas. Estas plantas se encuentran prácticamente abandonadas desde 1971 (2). El fracaso se debe en éste, y en muchos otros casos, a la terca insistencia de las compañías consultoras en determinadas tecnologías (las únicas que conocen) y a las condiciones de los créditos "amarrados", otorgados más con el criterio de promoción de venta de equipos, que con el de ayudar verdaderamente.

La modernización de los sistemas de manejo de granos, debe hacerse gradualmente. Tratar de acelerar demasiado el proceso puede ser contraproducente. La gran inversión que requiere una planta de silos, moderna y de capacidad apreciable, sólo debería realizarse cuando las necesidades lo exijan y las circunstancias permitan su operación eficiente. Así el manejo a granel de una parte importante de la producción de granos, no se hace posible únicamente con la construcción de plantas de silos provistas de descargues y entregas automáticas, el proceso requiere, entre otras cosas: modificación del parque de "combinadas", adecuación de vehículos de transporte, ampliación y mejoras sustanciales en la red de carreteras y caminos vecinales, inversiones en vías y equipo de ferrocarril y construcciones complementarias en las plantas industriales.

En almacenamiento, se conseguiría mejores resultados, en muchos casos, al mejorar las especificaciones y técnicas de construcción de bodegas, que al realizar enormes inversiones en plantas automatizadas de muy baja utilización.

A. Recomendaciones Generales para Diseño y Construcción de Bodegas para Almacenamiento de Granos

Tradicionalmente en los trópicos americanos, el grano se almacena en bodegas, ensacado, formando arrumes. En Colombia este tipo de almacenamiento tiene, aún hoy día, primordial importancia; el país dispone de más de 2 millones de metros cuadrados de bodegas, en los cuales se puede almacenar una cantidad superior a 4 millones de toneladas, mientras en los silos metálicos y de concreto disponibles, la capacidad es suficiente para almacenar únicamente 560.000 toneladas.

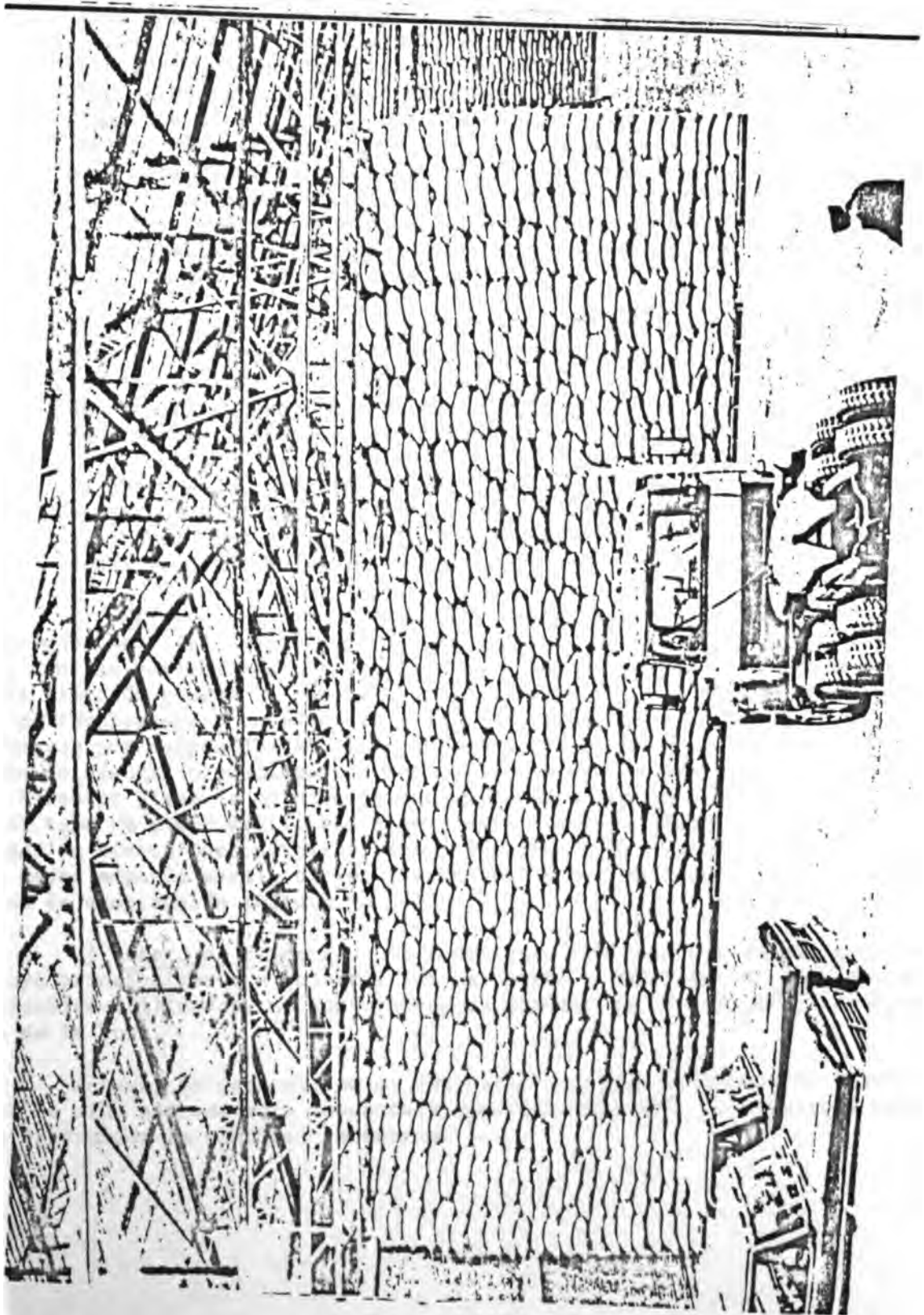
Contrariamente a lo sucedido en Estados Unidos, Canadá y aún en Argentina, la construcción de silos en los trópicos no ha correspondido a las necesidades creadas por los sistemas de mercadeo y de transporte, sino ha sido "forzada", con los "planes de silos", promovidos por los gobiernos. El resultado más frecuente ha sido la construcción de estructuras inadecuadas e innecesarias. Las entidades internacionales, afortunadamente cada día con menor frecuencia, han insistido en tratar de modernizar las estructuras de un país, mediante simples "transplantes" de tecnología de países más avanzados. Lo sucedido en Filipinas e Indonesia es ilustrativo: en Filipinas el gobierno tiene cuatro plantas de silos y el sector privado dos, construidas con diseños refinados que incluyen circuitos cerrados de televisión, para controlar las operaciones desde cómodas oficinas. Estas plantas, cuya inversión fue millonaria, se encuentran prácticamente abandonadas desde 1971. El fracaso se debe en éste, y en muchos otros casos, a la terca insistencia de las compañías consultoras en determinadas tecnologías (las únicas que conocen) y a las exigencias de los créditos "atados", otorgados más con el criterio de promoción de venta de equipos, que con el de contribuir realmente al desarrollo.

La modernización de los sistemas de manejo de granos, debe hacerse gradualmente; acelerar demasiado el proceso puede ser contraproducente. La gran inversión que requiere una planta de silos, moderna y de capacidad apreciable, sólo debería realizarse cuando las necesidades lo exijan y las circunstancias permitan que su operación sea económicamente eficiente. Así el manejo a granel de una parte apreciable de la producción de granos, no se genera automáticamente con la construcción de plantas de silos provistas de sistemas de recibo y entrega automáticos, el proceso requiere, entre otras cosas, modificación del parque de cosechadoras combinadas, adecuación de vehículos de transporte, ampliación y mejoras sustanciales en la red de carreteras y caminos vecinales, rectificación de ríos y canales, inversiones en vías y equipos de ferrocarril y construcciones complementarias en las plantas procesadoras de grano.

Se conseguirán mejores resultados, y mejor distribución de los beneficios, simplemente mejorando las especificaciones y técnicas de construcción de bodegas, que al realizar enormes inversiones en unas pocas plantas de muy baja utilización.

1. Diseño de bodegas

La construcción de bodegas, en Colombia, para almacenamiento de granos, se realiza generalmente siguiendo prácticas tradicionales, que no siempre corresponden a principios con validez técnica. En las facultades de Ingeniería y Arquitectura el tema se trata en forma superficial; se da alguna importancia a los aspectos especiales que exige el almacenamiento de granos, algunos de los cuales se enumeran a continuación.





- a. Pisos. Los pisos de las bodegas donde se almacenan granos, deben ser totalmente impermeables, para impedir el ascenso capilar de la humedad del suelo, la naturaleza capilar del concreto (generalmente utilizado como material de construcción) permite el ascenso de la humedad, que puede difundirse fácilmente en las planchas inferiores de los arrumes. Un ensayo sencillo permite verificar la impermeabilidad de un piso; un pedazo de tela plástica colocada en el piso durante la noche, condensará humedad, en algunas horas, si el piso está deficiente. El problema generalmente se disminuye si los arrumes se arman sobre estibas de madera de 8 a 10 centímetros de altura libre, que aíslan el grano y permiten la circulación del aire para remover la humedad. Sin embargo, en construcciones nuevas el problema debería atacarse en forma directa, controlando, en primer lugar, el nivel freático, e impidiendo el paso de la humedad mediante una sub-base permeable y membranas impermeables de material plástico o bituminoso, entre la sub-base y la losa de concreto.

El nivel freático puede controlarse por medio de drenajes de intercepción, como el ilustrado en la Figura No. 6. La capacidad de ascenso capilar de la humedad, por encima de la tabla de agua, depende de las características del suelo; es menor en suelos arcillosos que en limosos, en los cuales, en condiciones especiales se presentan ascensos hasta de 2,50 metros.

La sub-base, construida en material compactado, de espesor determinado, tiene como propósito principal en bodegas, mejorar el drenaje y reducir la acumulación de agua bajo las losas, contribuye, además a mejorar sus condiciones de apoyo en el terreno.

1) Esfuerzos en las losas. Los principales esfuerzos en las losas de piso de bodegas, son: (a) Comprensión o tracción producidas por el cambio de volumen del concreto con las variaciones de temperatura, y la resistencia al desplazamiento que genera la fricción contra la sub-base y la sub-rasante; (b) flexión y alabeos por diferencias de temperatura y humedad entre la parte superior y la inferior de la losa, y (c) esfuerzos por cargas JUNTAS, las juntas se dejan en las losas, para controlar la aparición de fisuras producidas por los esfuerzos de los cambios volumétricos del concreto. El autor tiene la opinión de que únicamente son necesarias juntas de contracción, del tipo de plano debilitado o de ranura simulada (Figura No. 7), no cree que en bodegas de dimensiones normales, sea necesario dejar juntas de expansión que, se supone, dejan espacio para posibles alargamientos de las losas, disminuyendo así los esfuerzos de comprensión (Figura No. 8).

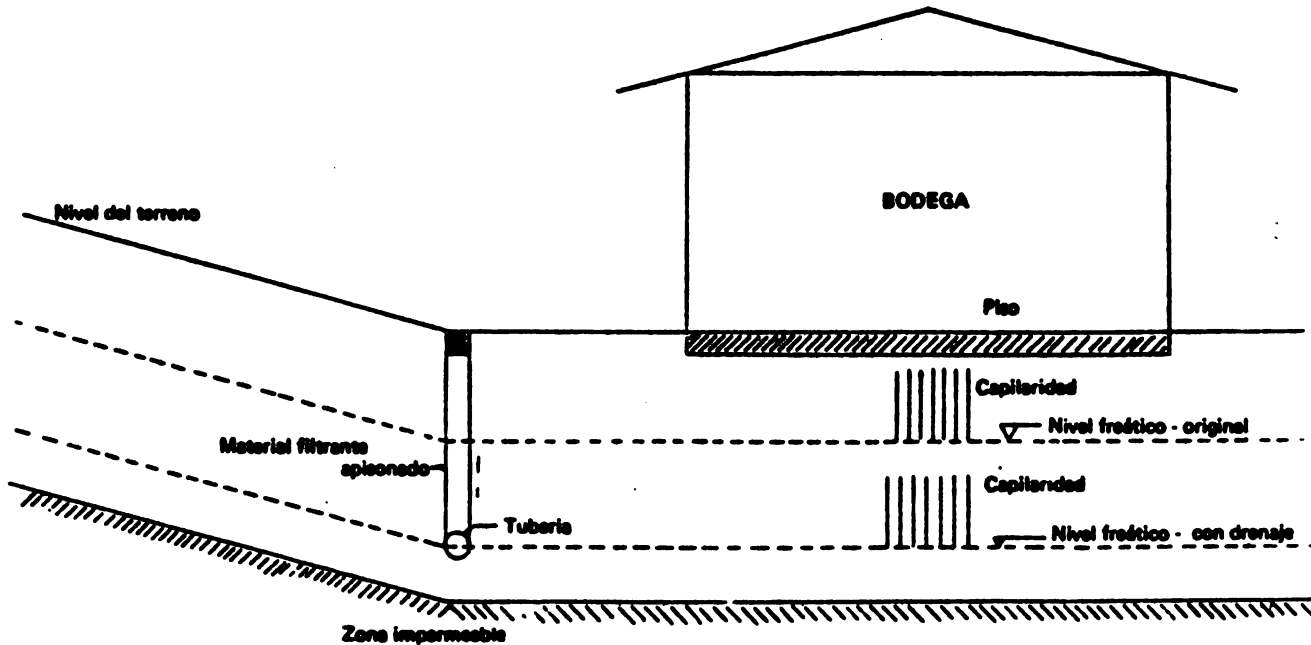
2) Acero de refuerzo. El acero que, con alguna frecuencia se coloca, contribuye principalmente a repartir los esfuerzos y controlar el agrietamiento, las bajas cuantías utilizadas, no contribuyen al aumento de la capacidad de soporte o de flexión de la losa.

Aunque, en general, no es necesario utilizar refuerzos de acero, si la sub-base ha sido adecuadamente compactada, podría utilizarse el siguiente procedimiento para determinar la cantidad necesaria.



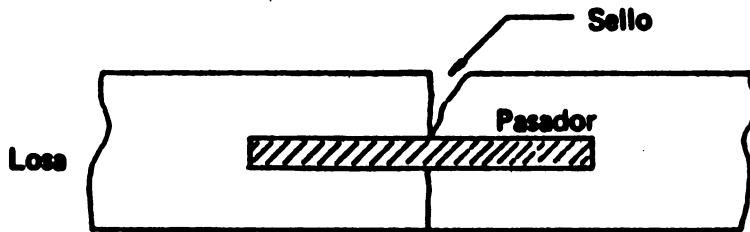
DRENAJE DE INTERCEPCION PARA CONTROLAR CAPILARIDAD

Figura No 6



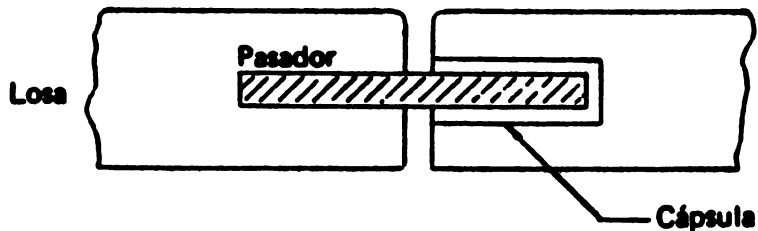
JUNTA DE CONTRACCION DE PLANO DEBILITADO

Figura No. 7



JUNTA DE EXPANSION

Figura No.8



1950

1951

1952

1953

1954

1955

1956

1957

1958

1959

1960

1961

$$A_g = \frac{F.L. W_t}{2 F_8}$$

- donde A_g = acero necesario por M^2 , en cm^2
 F = coeficiente de fricción entre concreto y sub-base ($f = 1.5$ si no se dispone de otros datos)
 L = longitud de la losa entre juntas, mts.
 W_t = peso propio de la losa más peso del grano almacenado, kilos por M^2
 F_8 = esfuerzo de tensión admisible en el acero, $kg./cm^2$.

- b. Paredes. Los muros de bodegas, preferiblemente, deben construirse con materiales que tengan una buena capacidad de absorción de calor, especialmente en zonas donde se presenten cambios notables de temperatura, para que puedan amortiguar los efectos de los cambios de la temperatura ambiente, en la temperatura interna de la bodega. Paredes de ladrillo de 20 cm. de espesor tiene una buena capacidad térmica; pocas ventajas se consiguen, en este aspecto, si se construyen de más de 30 cm.

En zonas de alta precipitación pluvial, es conveniente impermeabilizar las paredes exteriormente, para evitar la saturación de sus materiales y la entrada de humedad por capilaridad.

Con el fin de disminuir la transferencia de calor por radiación solar, es conveniente pintar las paredes de color claro, que refleje parte de la radiación. En las bodegas destinadas principalmente a almacenamiento, debe evitarse la construcción de ventanas; si éstas son indispensables conviene sombrearlas con aleros o toldos de tamaño apropiado y equiparlas con doble vidrio -con cámaras de aire intermedia- para disminuir la entrada de calor.

La superficie interior de las paredes debe ser lisa, para evitar la acumulación de desperdicios, facilitar su limpieza y no dejar intersticios que faciliten la supervivencia de insectos. La unión entre las paredes y el piso puede redondearse ligeramente para facilitar la limpieza.

- c. Puertas y aberturas. Es práctica corriente en Colombia, la colocación de aberturas para ventilación en las paredes de las bodegas, protegidas normalmente por celosías o "calados"; sin embargo esta ventilación incontrolada es generalmente innecesaria, y en zonas húmedas puede ser perjudicial por contribuir al humedecimiento del grano; una bodega se debe ventilar únicamente cuando sea necesario.

En zonas húmedas, es posible conservar grano en buenas condiciones, durante períodos relativamente largos, si se controla la entrada de aire ambiente a la bodega. Las aberturas de las paredes deben equiparse con compuertas de corredera, o basculantes, y la apertura de puertas debe realizarse en forma controlada y por los períodos más cortos posibles.

En estas bodegas además el espacio entre los aleros del techo y las paredes deben sellarse. Para remover los gases residuales después de una fumigación, es suficiente la apertura de algunas de las puertas de la bodega por un período de 6 a 8 horas, preferiblemente en las horas de menor humedad relativa.

La velocidad de absorción de humedad de los granos almacenados en arrume depende de varios factores: temperatura, corriente de aire de convección, disposición de los estibas, sistemas de traba, tamaño de los arrumes, tipo de empaque y, principalmente, cantidad de aire húmedo que penetra en la bodega.

El siguiente ejemplo permite apreciar mejor la importancia de la administración de aire: En un arrume de maíz, de determinado tipo, con 14% de humedad y una temperatura de 17.5°C , el aire intersticial tiene una humedad relativa de 70% y una humedad absoluta de 10.15 gramos de agua por metro cúbico. El aire ambiente exterior tiene una humedad de 87% y la misma temperatura de 17.5°C , su humedad absoluta es de 12.61 gramos de agua por metro cúbico. En consecuencia, con suficiente tiempo de contacto, cada metro cúbico de aire exterior, que se permita entrar a la bodega, puede añadir 2.4 gramos de agua al grano almacenado.

La situación es más grave en bodegas donde, por la utilización de diseños y materiales adecuados, la temperatura interior, sea apreciablemente menor que la ambiente en determinadas horas del día; el aire exterior húmedo y caliente, que se admita, puede condensarse en la superficie más fría de los arrumes.

- d. Techos. Por tratarse de la mayor superficie expuesta al sol de toda la construcción, el techo debe construirse con materiales de buenas características de reflejo de la radiación solar. Es inevitable que la temperatura externa, y sus cambios, afecten la temperatura interna de la bodega; sin embargo mediante el uso de diseños y materiales adecuados, las variaciones se amortiguan y retrasan.

El calor fluye de las bodegas en ambos sentidos, por mecanismos de radiación, conducción y convección. Es necesario distinguir la transferencia de calor que se realiza por simple diferencia de temperatura entre el aire y la bodega, y el calor transmitido por radiación a las paredes y techos; cantidad de calor proveniente de la radiación solar depende de la localización geográfica (latitud y longitud), nubosidad de la zona y de las características del techo. La radiación total (l) que hace contacto con la superficie -pared, techo- es absorbida (l_a), reflejada (l_r) y transmitida (l_t), de acuerdo con las características de Reflectividad (l_r/l), absorptividad (l_a/l) y transmisividad (l_t/l) del material.

En la Tabla No. 3 se anota el aumento de temperatura promedio que, sobre la temperatura ambiente, sufren algunos tipos de superficies y recubrimientos sometidos a radiación solar.

Tabla No.3 - Aumento de temperatura para algunos tipos de superficies y recubrimientos. La variación de temperatura dentro de la bodega depende además, de las características de emisión de radiación (pérdida de calor) que la superficie del techo y paredes tenga durante la noche.

Superficie	Aumento de Temperatura
Blanco brillante	17°C
Blanco mate	10°C
Aluminio	23°C
Plateado	30°C
Pintura de aluminio	33°C
Galvanizado	43°C
Negro	56°C

La Tabla No.4 indica la temperatura de enfriamiento, por debajo de la ambiente, de algunos materiales y recubrimientos.

Tabla No.4 - Temperatura de enfriamiento durante la noche, de algunos materiales

Material	Descenso de Temperatura
Aluminio	4°C
Pintura de Aluminio	6°C
Galvanizado	6°C
Negro	7°C
Pintura (cualquier color)	7°C

En la tabla anterior se aprecia que la emisividad, es una función de recubrimiento de la superficie (pintura) y no del material base.

El asbesto -cemento, especialmente si se recurre con pintura blanca, tiene buenas características reflejantes, sin embargo, en zonas cálidas y húmedas, se cubre fácilmente de mohos y algas que disminuyen sus cualidades y hacen que absorba más calor.

Las cubiertas de lámina galvanizada, especialmente si están oxidadas absorben más calor de día y emiten más calor de noche; sus características térmicas pueden mejorarse si se recubren con pintura de aluminio bituminoso.

Las lumbreras en los techos deben reducirse a un mínimo, para disminuir la entrada de calor y la elevación de temperatura de las zonas situadas bajo ellas, que aumenta la actividad de los insectos.

La ubicación de lumbreras y focos de iluminación artificial, en proyectos para bodegas nuevas debe hacerse, preferiblemente, después de diseñar la distribución de arrumes, con el fin de localizarlos encima de las zonas de circulación y no sobre el grano.

Los techos deben tener aleros que, además de proteger las paredes de humedecimiento directo, proporcionen alguna sombra a las paredes y reduzcan su calentamiento por radiación.

La construcción de cielo raso, aunque poco usada por el mayor costo, mejora apreciablemente las características térmicas de las bodegas y facilita su hermetización para fumigación.

Mediante "cortinas" de árboles puede, también, darse sombra a las bodegas, sin embargo en regiones húmedas y cálidas la radiación suele ser difusa y su eficacia es sólo parcial.

- e. Arrumes. Variaciones de humedad y temperatura: La variación de temperatura de los arrumes, es más lenta que la del aire dentro de la bodega y tiende a seguir las variaciones estacionales.

La transferencia de calor en los granos es un proceso complejo, en el cual intervienen conducción, convección y radiación, tanto en los granos propia mente dichos, como en el aire intergranular. Las corrientes de convección que pueden presentarse dentro de los arrumes son, generalmente responsables, de los mayores cambios de temperatura y humedad, aunque también pueden presentarse transferencias por procesos de evaporación, condensación y absorción.

Las variaciones de temperatura dentro de la bodega, se demoran y suavizan dentro de los arrumes; variaciones diarias de 10°C se reducen a 1°C a una profundidad de 10 cm.; variaciones anuales de 40°C (en países con estaciones) se reducen a 1°C a cuatro metros. Las máximas temperaturas del verano se reflejan a un metro de profundidad, tres meses después y a 2,50 metros, cinco meses después.

Las caras externas del arrume, siguen de cerca las variaciones de temperatura dentro de la bodega; la cara superior puede calentarse un poco más por radiación del techo, mientras la base del arrume mantiene una temperatura relativamente constante.

La temperatura interna de un arrume puede medirse en forma simple, entrando en él una varilla aguzada de acero (1/2" - 3/8"), durante unos 30 minutos; por contacto directo, con ayuda de un termómetro, se determina la temperatura de cada capa.

La existencia de corrientes de convección puede determinarse con un termómetro localizado sobre el arrume, si la temperatura indicada es mayor que la ambiente, existe un movimiento ascendente de aire causado por una mayor temperatura interna.

La construcción de los arrumes con "chimeneas" internas, acelera los cambios en la temperatura y humedad, pues facilita el contacto de los granos con el aire.

Los arrumes de sacos deben armarse sobre estibas, cuidando que los sacos tengan trabe adecuado y que cada plancha se apoye firmemente sobre la inferior. Se debe tener especial cuidado en la colocación de los sacos exteriores de cada plancha, alineándolos con una cuerda. El arrume debe tener una forma ligeramente piramidal para conseguir una mejor estabilidad estructural. Los empaques de yute o fique, se "amarran" entre sí mejor que los de polipropileno y forman arrumes más estables; para mejorar la estabilidad de los arrumes de sacos de polipropileno, pueden colocarse empaques vacíos de fique entre cada una de las planchas, especialmente en las partes externas del arrume.

Los granos sanos, con humedad apropiada y ensacados en buen empaque, pueden arrumarse con 30 ó 35 "planchas", sin que sufran daños físicos apreciables; las harinas no deben almacenarse con más de "20 planchas" para evitar su compactación.

En algunas zonas del occidente colombiano (Valle del Cauca) se acostumbra colocar siete u ocho "planchas" trabes armados con tablas traslapadas, con el fin de disminuir los riesgos de caída del arrume si se rompe uno de los bultos de las planchas inferiores.

Los arrumes deben armarse separados aproximadamente un metro de las paredes de la bodega; es necesario dejar callejores centrales y transversales que permitan la movilización de personal y equipo. Su tamaño debe ser adecuado para la utilización de las carpas plásticas de fumigación que se tengan disponibles, sin descuidar la adecuada utilización del área disponible.

En bodegas de dimensiones adecuadas (ancho de 25 a 30 metros y altura hasta el alero de siete metros), se consiguen almacenar técnicamente de 2,2 a 2,5 toneladas por metro cuadrado.

La "desarrumada" del grano debe hacerse con el mismo cuidado y la misma secuencia con que se almacenó; debe evitarse la práctica de lanzar sacos desde la parte superior, o derrumbar los arrumes, pues se corre el riesgo de dañar y derramar grano y producir accidentes graves.

Las estibas deben levantarse tan pronto se retiren los sacos, con el fin de limpiar el piso y evitar la contaminación e infestación de los granos y basuras derramados. Antes de guardar las estibas es conveniente limpiarlas y tratarlas con insecticidas.

2. Control de roedores

Cuando, para facilitar el manejo de los productos se construye la bodega a un nivel superior al del terreno, se facilita el control de roedores si se recubren las paredes con pañete y pintura lisos, que hacen más difícil trepar: Las escaleras de ascenso deben ser además, del tipo metálico vertical, para conseguir el mismo resultado.

Es preferible que las puertas de la bodega sean del tipo de "guillotina" -de desplazamiento vertical- y no de "corredera" pues además de impedir eficazmente la entrada de ratas, son de operación más fácil pues no necesitan el riel inferior utilizado en las de corredera, donde se acumulan los residuos y agua.

Los roedores pueden causar daños en los granos almacenados tanto por consumo directo, como por contaminación de cantidades mucho mayores, con sus excrementos, además de actuar como vectores de un número grande de enfermedades.

El tamaño de una población de roedores depende de tres factores principales: Alimento disponible, agua y espacio adecuado para construcción de madrigueras y nidos. La disponibilidad de alimento no puede controlarse, pues se trata del mismo grano almacenado, como si es posible restringir el acceso al agua y los espacios, con basuras y desechos, utilizados para las madrigueras.

Las ratas y ratones son animales muy sedientos, que prefieren habitar en zonas donde dispongan de agua, es conveniente en consecuencia, controlar los escapes de agua, empozamientos, etc. en las cercanías de las bodegas; los roedores además,

son animales cortos de vista y asustadizos, que evitan atravesar espacios libres y prefieren recorrer zonas cercanas a paredes, estibas, plantas, etc.; es recomendable construir alrededor de las bodegas, andenes de 2 ó 3 mts. de ancho, completamente libres, sin jardines ni otras construcciones, a manera de "cinturones de seguridad", que los ratones evitarán atravesar.

Las trampas y cebos deben colocarse en las rutas seguidas por los roedores, las cuales pueden identificarse fácilmente por las manchas de grasa y suciedad que su paso repetido va dejando.

3. Almacenamiento a granel en bodegas

En bodegas de construcción normal se puede almacenar grano a granel mediante la construcción de "trinchos" -paredes- con los sacos del mismo grano, que soportan las presiones laterales que ejercen los granos sueltos, evitando su aplicación contra las paredes.

Una pared de ladrillo de 15 cm. de espesor y con una viga de amarre de concreto reforzado construida en su parte superior, no debe cargarse directamente con grano a una altura mayor de 2.5 a 3 metros; si se desea almacenar grano a mayor altura, el espesor de la pared, y el número de vigas de amarre debe aumentarse.

En forma empírica, se ha determinado en Colombia, que una pared de 30 cm. de espesor construida entre columnas separadas 5 ó 6 mts. y con vigas de amarre reforzadas, situadas cada 1.50 ó 2 mts. soporta la carga lateral del grano almacenado con 4 ó 5 mts. de altura. La fotografía de la Figura No. . . , muestra la falla de una pared de 30 cm. de espesor, 8 mts. de altura y 2 vigas de amarre, una en la mitad de la altura y la otra en la parte superior (vigas de 30 x 30 cm. con 605/8" fy: 40.000 psi) contra la cual se almacenó arroz a una altura de 7 mts., antes de presentarse el colapso.

Para mayor seguridad, el almacenamiento a granel debería complementarse con equipo que permita medir su temperatura -cables con termocuplas- en diferentes sitios y profundidades y hacer circular aire para controlar los puntos calientes (si las condiciones ambientales lo permiten). Si se planea almacenar el grano por varios meses, es necesario prevenir la forma como se aplicarán los fumigantes. Si la bodega puede hermetizarse completamente, la aplicación puede hacerse en forma muy sencilla.

4. Almacenamiento en silos

Cuando los granos, que se desea almacenar, pueden agruparse en unos pocos tipos y variedades, puede ser conveniente almacenarlos en silos.

La mayoría de los silos se construyen de planchas de acero liso o corrugado de fondo plano o cónico, y de concreto, con fondo cónico normalmente.

- a. Silos metálicos. Se construyen con capacidad para 1.500 o mas toneladas. Su costo de instalación es, normalmente, menor que el de los silos de concreto de igual capacidad y por esto se prefieren para la construcción de plantas pequeñas, mientras los de concreto se utilizan en las grandes plantas terminales o portuarias.

La lámina galvanizada corrugada es el material de construcción más utilizado. Las juntas entre las láminas se impermeabilizan con selladores, que conserven su plasticidad dentro de una amplia variación de

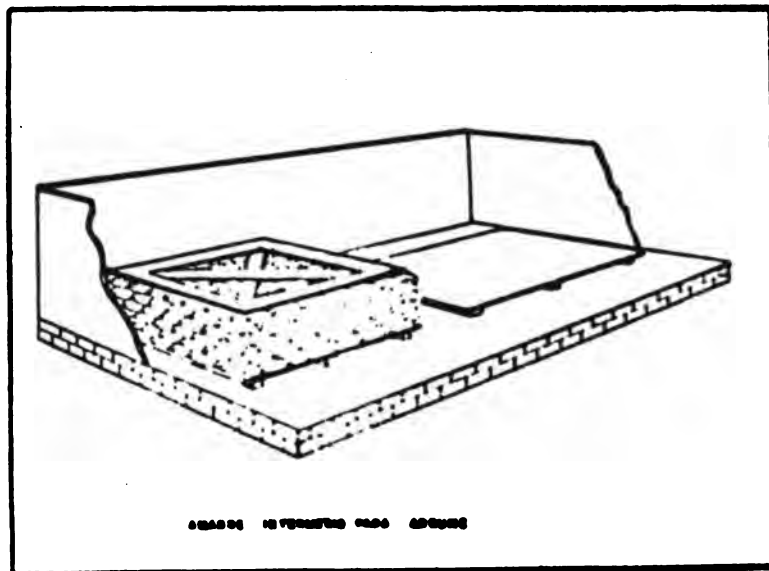


Figura No. 9

temperatura y humedad; el ensamble se hace con tornillos flexibles que impermeabilizan las perforaciones. Los techos se construyen con material galvanizado liso y, en las unidades modernas, son autosoportados. Su pendiente se ha aumentado en los últimos años para permitir un mejor comportamiento estructuras y facilitar la evacuación rápida de la humedad que pueda condensarse en su superficie interior.

En Norteamérica son muy populares los silos metálicos de fondo plano, aún en plantas de capacidad importante. Su costo se reduce apreciablemente al eliminar la tolva y su estructura y pueden construirse para capacidad mucho mayor. La descarga de los silos planos se efectúa por la acción de la gravedad a través de un orificio central que alimenta un transportador evacuador. La remoción del grano que no fluye solo, puede hacerse mediante paleado manual o con la ayuda de un sinfín barredor giratorio (Figura No. 10).

La instalación de sistemas de aireación es sencilla, aún en silos de gran tamaño, en los cuales se construyen ductos recubiertos con lámina perforada (Figura No. 11).

Cuando es necesario llenar y vaciar con frecuencia los silos, es conveniente equiparlos con fondo cónico, que permita su descarga total en forma automática; el cono puede construirse sobre el nivel del piso o enterrado y de concreto (Figura No. 12).

El anclaje del silo con su cimentación debe tener suficiente capacidad para resistir, además de las cargas normales de trabajo, el efecto del viento, especialmente cuando el silo se encuentra vacío. Los pisos deben ser impermeables al paso del vapor o agua capilar, como en las bodegas. La "junta" entre la pared del silo y el piso debe construirse con especial cuidado para evitar filtraciones. Todas las aberturas del silo (salidas de aire, etc.) deben protegerse con malla apropiada para evitar la entrada de insectos, malla 24 "mesh" en zonas normales y 32 "mesh" en sitios difíciles.

En algunos casos se colocan descargas de grano laterales, cuya capacidad de descarga puede estimarse mediante la siguiente fórmula empírica (con maíz) (10).

$$Q = 0.088 \times \emptyset^3 \quad \text{donde } Q = \text{Descarga, ton./hora}$$

$$\emptyset = \text{Diámetro de la descarga, pulgadas}$$

para descargas rectangulares $Q = 0.112 \cdot A^2 \cdot L$

$$\text{donde } A = \text{Ancho, pulgadas}$$

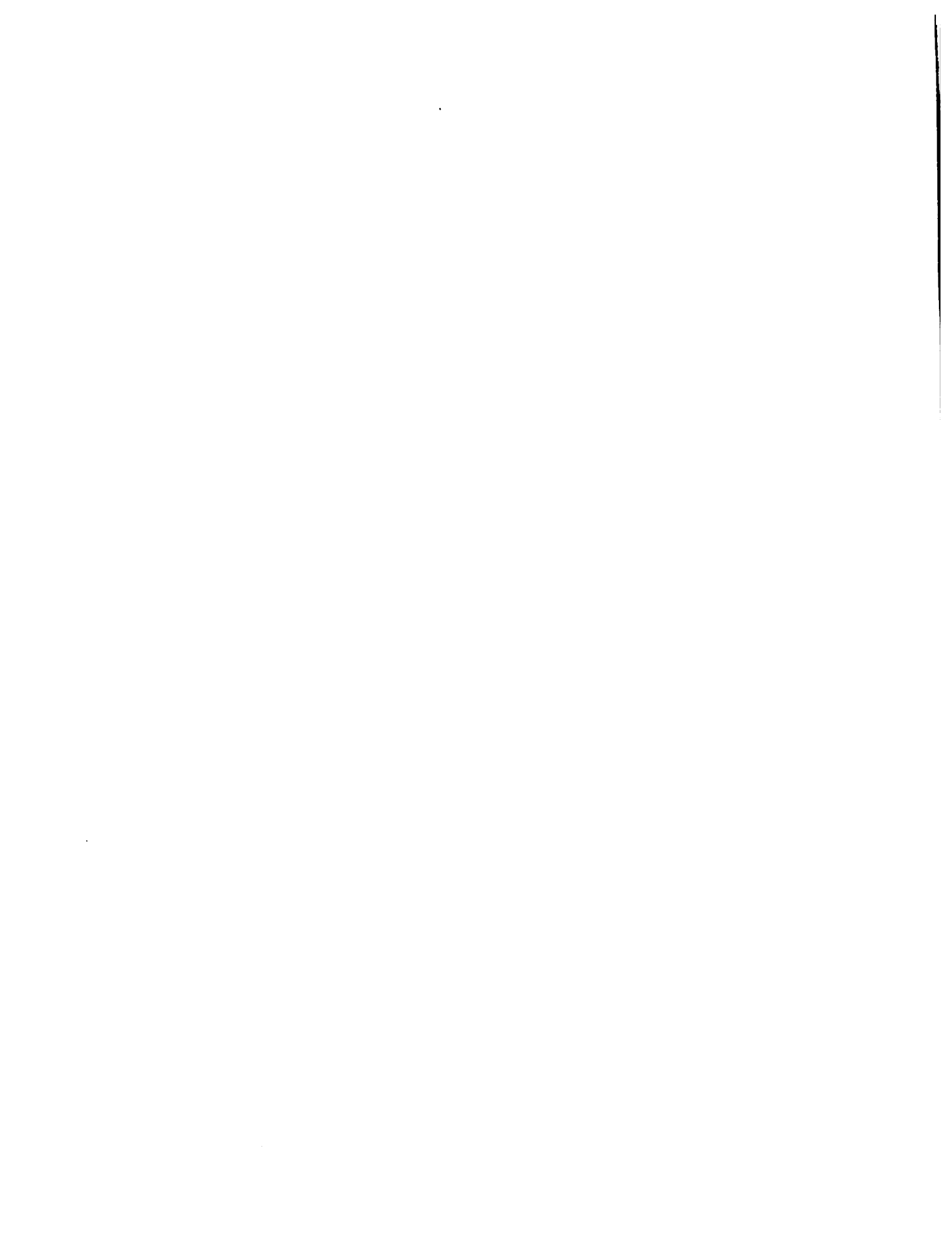
$$L = \text{Largo, pulgadas}$$

Si la descarga es horizontal, el flujo puede estimarse con:

$$Q = 0.264 \cdot \emptyset^3$$

$$Q = 0.336 \cdot A^2 \cdot L$$

Los granos almacenados en silos metálicos son más susceptibles a sufrir el efecto de corrientes internas de convección y migraciones de humedad, por la facilidad con que se calientan y enfrían las láminas.



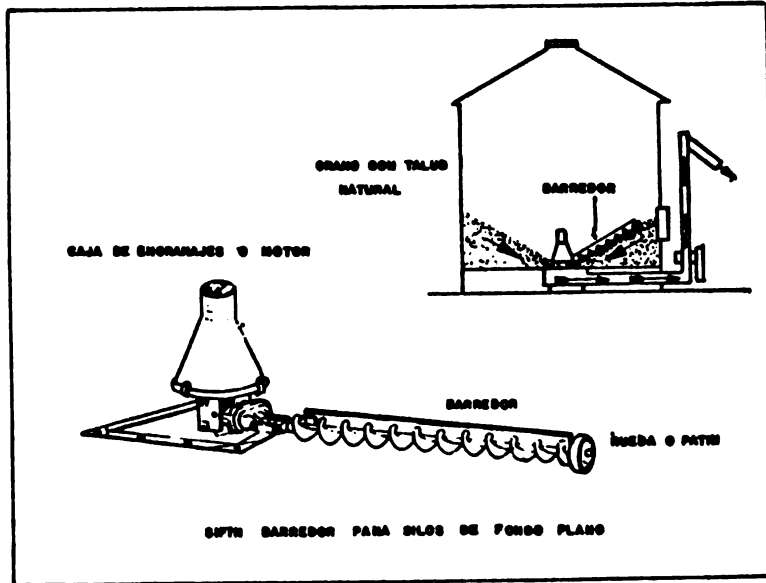


Figura No.10

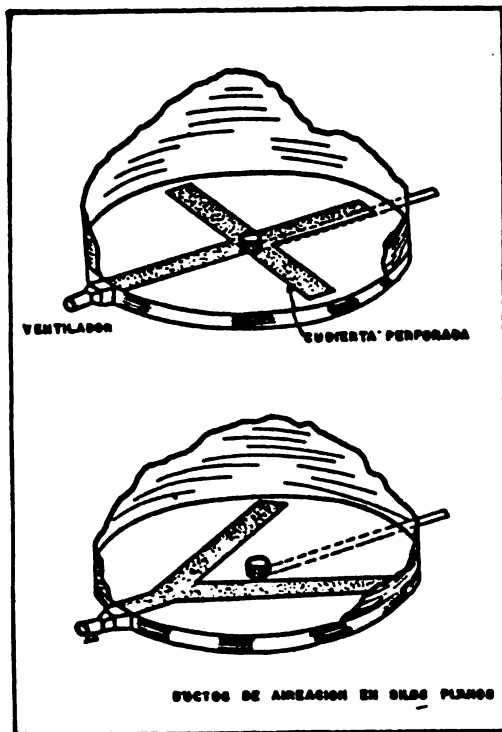


Figura No.11

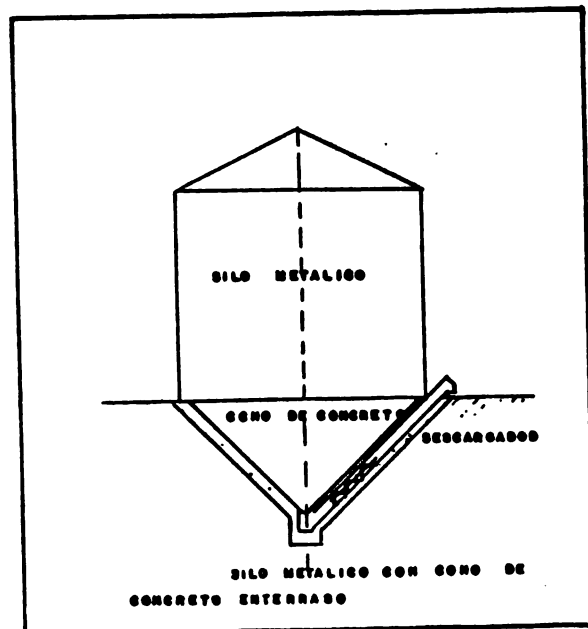


Figura No.12



- b. Silos de concreto. Si bien la construcción de silos de concreto es más costosa que la de los silos metálicos, su vida útil es mayor y sus costos de mantenimiento son inferiores. Las grandes plantas, con silos de 25 a 30 metros de altura y más de 1.000 toneladas de capacidad unitaria, se construyen con formaletas deslizantes que permiten "fundir" en forma continua toda la estructura, de tal manera que se reducen los costos y se evitan las "juntas de construcción" de impermeabilización difícil.

Tolvas de descarga: Según el tamaño y forma del silo y de su tolva se puede tener tres clases de flujo durante la descarga del grano:

- 1) Flujo en masa, en el cual todo el material dentro del silo se encuentra en movimiento, la tolva puede ser cónica, en forma de cuña o de cincel Figura 13 (11).

Materiales de varios tipos, especialmente pulverulentos, requieren el uso de este tipo de tolvas para evitar obstrucciones del flujo. En las tolvas de cuña y de cincel se requiere una relación de largo a ancho en la abertura de 6 a 1 y de 3 a 1 en las tolvas de transición.

- 2) Flujo de tipo túnel, solamente la columna central de grano se encuentra en movimiento, alimentada continuamente por material de la superficie, el flujo se controla con la abertura efectiva. El producto sufre segregación durante su descarga según su densidad; el último grano en entrar al silo es el primero en salir. Si se realiza cargue y descargue continuo, una zona del grano permanece inmobilizada, zona que corre mayor peligro de deterioro. Figura No. 14.

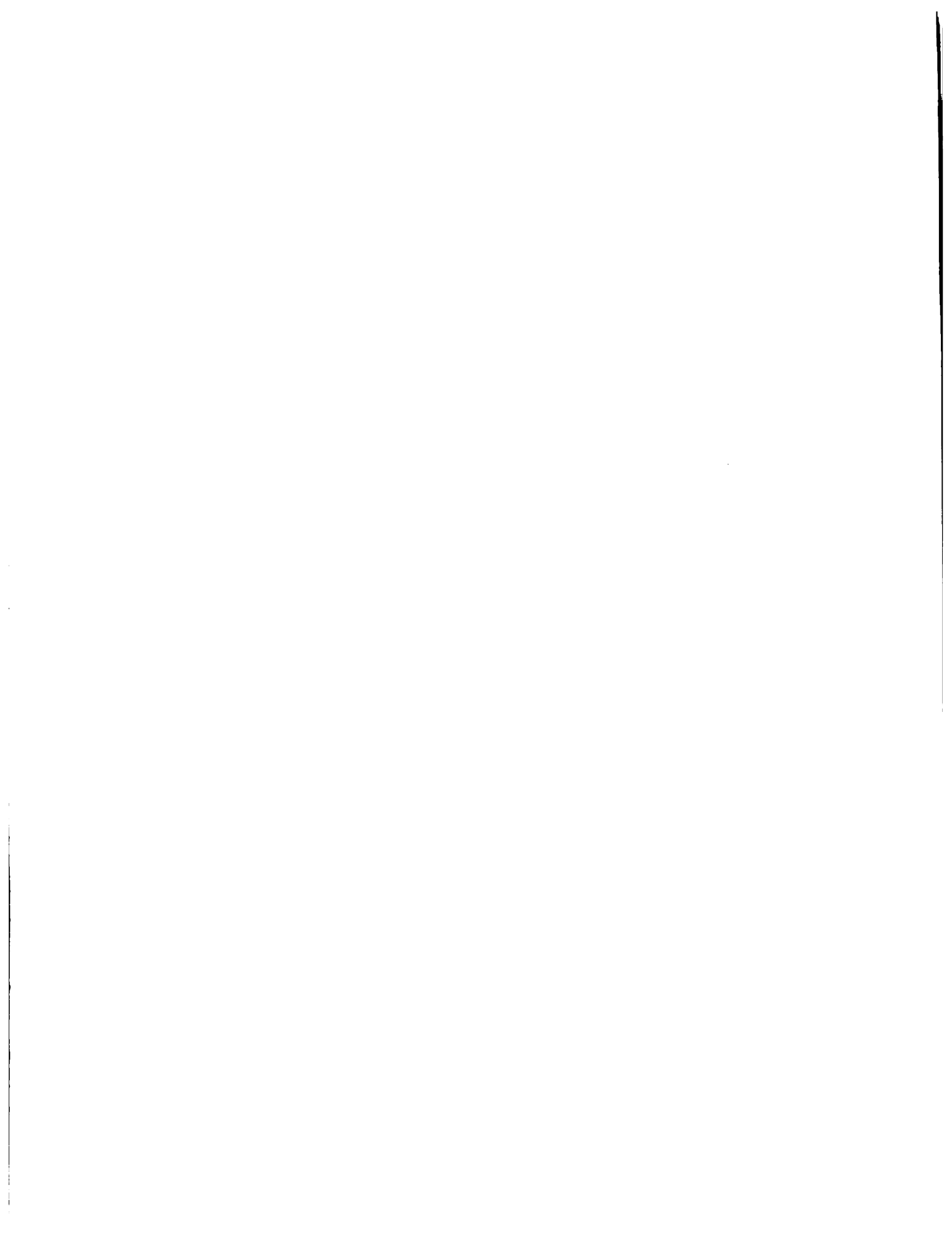
- 3) Flujo expandido: se presenta en un silo de flujo de tipo túnel que se descarga por medio de una o varias tolvas de flujo en masa. Su descarga es relativamente uniforme, la segregación y la cantidad de grano inmobilizada se reducen Figura No. 15

El diseño adecuado de las tolvas es de mucha importancia en aquellas plantas, donde se realizan mezclas de granos para mejorar su calidad. Una tolva inadecuada impide la mezcla homogénea. El diseño de una planta de silos debe tener en cuenta un gran número de variables técnicas, económicas y aún sociológicas. Para facilitar el rápido diseño de una planta con el menor costo posible, se han preparado en Estados Unidos varios programas para computador, uno de ellos (12) incluye más de 200 "inputs" técnicos y cerca de 500 económicos y suministra resultados tales como: tamaño de los silos, longitud de transportadores, sistema de aireación y secamiento, capacidad de tolvas y elevadores y costos de mantenimiento. Indudablemente la aplicación de esta clase de ayudas en los países tropicales, simplifica la labor de diseño, pero sería un tremendo error, como se ha insistido anteriormente, tratar de "transplantar" directamente las recomendaciones que se obtengan.

5. Almacenamiento hermético

Con el almacenamiento hermético de granos se busca la formación de una atmósfera de reducido contenido de oxígeno que limite el desarrollo de los insectos y elimine la necesidad de utilizar productos químicos.

En una población de insectos con individuos en todas las etapas de desarrollo, la mayor parte de los insectos inmaduros mueren cuando el contenido de oxígeno es de aproximadamente 4%, los insectos adultos que sobreviven mueren de modo natural al terminar su ciclo vital (13).



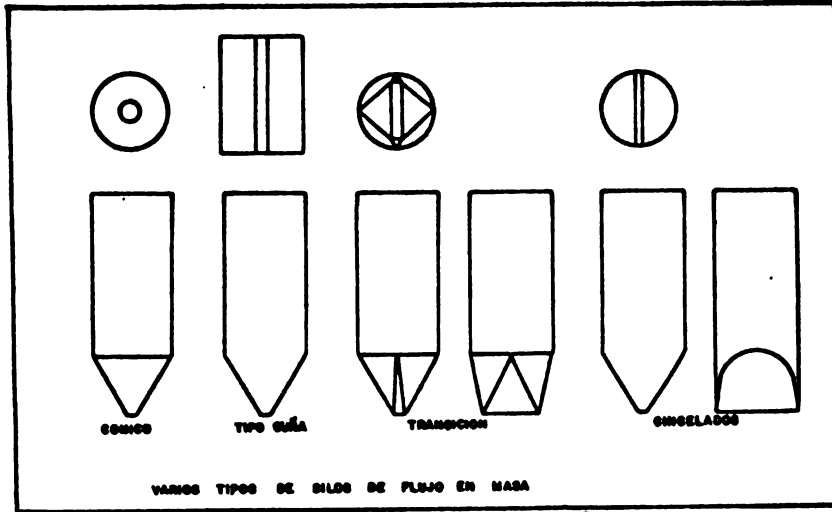


Figura No.13

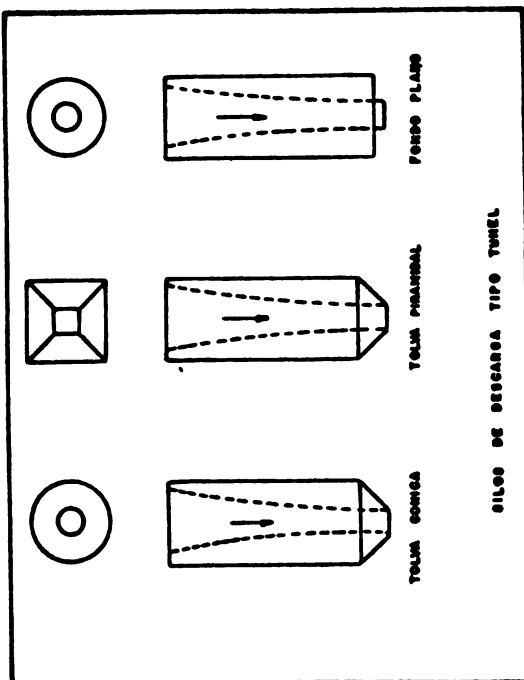


Figura No.14

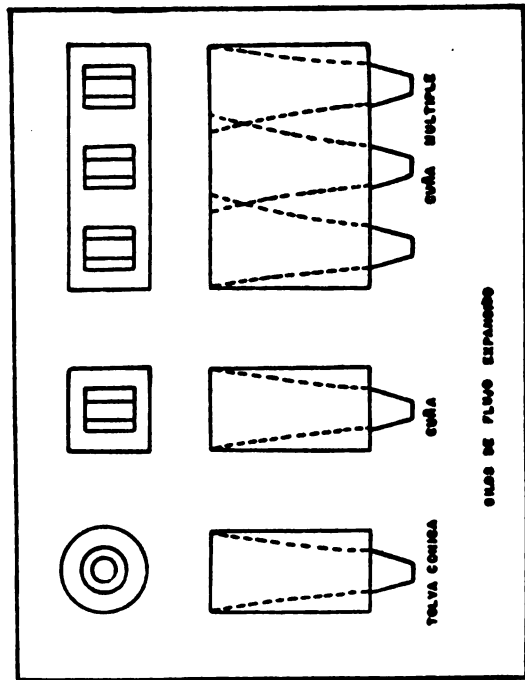


Figura No.15

Oxley y Wickenden (1963) encontraron que, en recipientes herméticos cuando la población de insectos es reducida (13 adultos-sitophilus por kilo) el contenido de oxígeno se reduce a un nivel letal en tres semanas; si la población es 10 veces mayor el nivel letal se alcanza en sólo cuatro días (14).

En la mayor parte de las construcciones "herméticas" comerciales, la hermeticidad es incompleta, se tiene una entrada de oxígeno y un escape de anhídrido carbónico constantes. Burrell (1968) (15) encontró que si la entrada de oxígeno puede reducirse a 1.5% -por volumen- por día, el control de insectos que se logra es aún efectivo.

Es preferible, por sencillez y economía que el oxígeno sea eliminado por la misma respiración de los granos e insectos, pero en ocasiones el tiempo de agotamiento de oxígeno puede ser muy largo, y resulta entonces conveniente reducir artificialmente la concentración de oxígeno.

- a. Depósitos herméticos de Chipre y Kenia. Oxley y Waller diseñaron en 1951 los silos herméticos ilustrados en la Figura No. 16. Las primeras experiencias realizadas en Chipre en 1956, indujeron al gobierno de Kenia, 10 años más tarde, a iniciar un proyecto ambicioso: 70 silos para un total de 100.000 toneladas de grano de reserva para atender las necesidades de los años de sequía.

Los silos se construyeron en concreto impermeabilizado que requiere inspección y mantenimiento constantes. El cono de descarga con pendiente de 30°, se apoya directamente en la tierra, el vaciado se realiza con transportador. La cubierta es un arco de catenaria invertida, sometido en consecuencia únicamente a esfuerzos de compresión, que permiten la utilización de una "cáscara" muy delgada (5-10 cm.) que sufre pocas fisuras al no estar sometida a tensión. Los silos de Kenia han venido operando regularmente con buenos resultados. el almacenamiento se ha prolongado por períodos de tres años, después de los cuales se renuevan las existencias.

- b. Silos herméticos en la Argentina. Durante la II Guerra Mundial, la dislocación del comercio regular obligó al gobierno argentino a almacenar enormes cantidades de grano, se construyeron silos herméticos semisubterráneos para almacenar un millón de toneladas.

Inicialmente los silos se revestían con una mezcla de cemento y tierra con una membrana alquitranada impermeable como cubierta provisional (Figura No. 17), membrana que fue posteriormente reemplazada por bóvedas permanentes (Figura No. 18). El cargue y descargue de los silos se efectúa con sistemas neumáticos y transportadores telescópicos (Figura No. 19).

La experiencia ha demostrado que el grano se conserva en adecuadas condiciones durante períodos de tres o más años -un silo testigo se mantuvo cargado durante 13 años- si su humedad es baja inicialmente y se mantiene un nivel de oxígeno de 3% ó 4%.

6. Explosiones de polvo

Los efectos de una explosión de polvo pueden ser peores que los de una de gas, pues en las plantas de granos, el polvo se encuentra distribuido en todas partes y son mayores la duración y presión de la explosión.



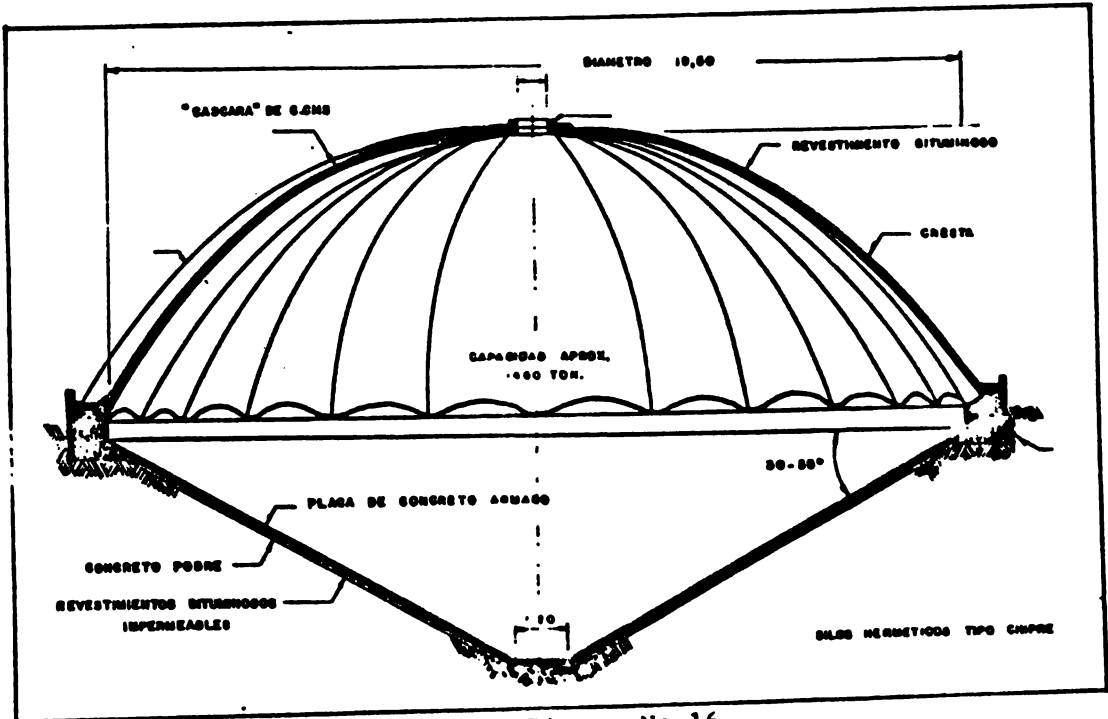


Figura No.16

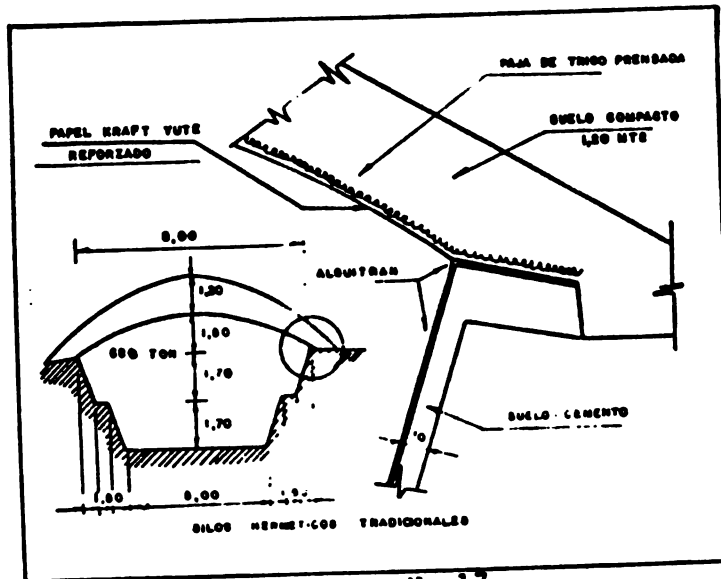


Figura No.17



Para que se presente una explosión se debe tener simultáneamente: combustible, oxígeno y energía para la ignición.

La violencia de la explosión depende principalmente de las siguientes condiciones: tipo de polvo, concentración en el aire, tamaño de las partículas, tipo de ignición, humedad, concentración de oxígeno y sitio de origen de la explosión con relación a los desfogues.

Se deben tomar medidas preventivas que disminuyan el riesgo de explosiones y medidas que permitan reducir los daños causados por la explosión, si ésta se presenta.

- a. Prevención de explosiones. Debe empezarse por eliminar las condiciones que permitan la formación de una mezcla explosiva y las posibles fuentes de ignición: limpieza permanente de la planta, reparación inmediata de los daños en el equipo que permitan escape de polvo, instalación a la intemperie de los filtros y ciclones colectores de polvo.

En los silos y tanques se debe tener manera de permitir el desplazamiento del aire que produce su llenado o vaciado; el desfogue debe ser adecuado para la máxima carga, los cálculos pueden efectuarse asumiendo que cada 25 tons. por hora de grano desplazan $0.7 \text{ m}^3/\text{minuto}$. Si es necesario instalar un ducto para la salida del aire, debe ser preferiblemente vertical, o inclinado máximo 30° con la vertical (16).

Los elevadores de cangilones, en los cuales se producen la mayor parte de las explosiones, deben tener la máxima área de desfogue posible en la cubierta; los transportadores de sinfín deben ser totalmente cerrados y estar provistos de compuertas abisagradas de apertura libre en la descarga, para evitar compactación y calentamiento en caso de ataques. Los transportadores de banda deben disponer de un espacio libre mínimo de 15 cm., debajo de los rodillos de retorno para permitir su limpieza; las tuberías deben ser selladas. Las fuentes de ignición se controlan instalando imanes permanentes en las tolvas de recepción y en otros sitios, con el fin de retirar materiales metálicos que puedan provocar chispas; se debe también evitar las sobrecargas en los elevadores y transportadores que pueden provocar calentamientos; la correcta instalación y firmeza de las cubetas de los elevadores es muy importante pues una cubeta suelta ha sido la causa de muchas explosiones. Cuando se presente el ataque de un elevador, no se debe insistir en ponerlo en marcha nuevamente, con arranques sucesivos del motor eléctrico, pues las cubetas pueden desprenderse. En toda instalación donde se maneje grano debe prohibirse estrictamente fumar.

7. Soldaduras

Se trata el tema de las soldaduras en las plantas por separado, dado el riesgo que representa su ejecución. Para realizar cualquier tipo de soldadura deben seguirse las siguientes normas: todo trabajo de soldadura, o de corte, con acetileno debe autorizarse por escrito; es necesario antes de iniciar los trabajos desconectar toda la maquinaria cercana, limpiar totalmente el área circundante, remover o cubrir los materiales combustibles cercanos, aislar el área para evitar la entrada de polvo, iniciar el trabajo después que el polvo de las máquinas en movimiento se haya decantado; en los pisos perforados, utilizados en algunas plantas,

es necesario cubrir el área vecina al sitio de trabajo con material incombustible. Después de terminar el trabajo, y antes de reiniciar el manejo de granos, debe hacerse una inspección cuidadosa, pues puede suceder que alguna chispa produzca un pequeño rescoldo difícil de observar.

La iluminación en las plantas de silos debe ser la adecuada para los trabajos normales y de limpieza, todas las lámparas utilizadas deben ser de seguridad; la electricidad estática que puede generarse en algunas máquinas debe descargarse mediante conexiones a "tierra" adecuadas.

Por último, es necesario programar y desarrollar un buen sistema de mantenimiento que incluya alineamiento de correas, revisión de rodamientos, etc.

8. Disminución de daños

En los diseños estructurales y arquitectónicos debe estudiarse la localización de desfuegos que permitan disipar, así sea parcialmente, la fuerza de la explosión y evitar daños mayores en la estructura y equipos.

En el desarrollo de toda explosión se presenta un aumento de presión que se incrementa con cualquier demora en la apertura o rotura de los desfuegos. La demora puede ser causada por la presión requerida para abrirlo o por su elevada inercia, la construcción de los desfuegos debe conservarse lo más liviana posible.

El área de desfogue necesaria depende de: la intensidad que se espera de la explosión, la resistencia de la estructura y el tipo de cerramiento principalmente. En general se recomienda proveer un pie cuadrado de desfogue por cada 30 pies cúbicos de volumen.

Los desfuegos deben ubicarse de tal manera que su rotura no cause daños adicionales, y lo más cerca posible a los sitios de posible explosión.

Los desfuegos libres permiten la mayor disipación de presión, su eficacia disminuye con los cerramientos que se le coloquen, ya sean de papel, plástico, diaframas, paneles articulados, etc.

Si se utilizan ductos para conectar los desfuegos con la atmósfera, debe tratar de reducir al mínimo su longitud pues su eficacia disminuye en proporción al cuadrado de su longitud (17).

Las ventanas con bisagras que permitan su fácil apertura, las persianas o celosías y los cerramientos hechos con materiales livianos pueden utilizarse como desfuegos.

En la Figura 20 tomada de "Grain elevators bulk handling facilities" (18) se indica la posición de desfuegos en silos y transportadores.

9. Medidas de emergencia y evacuación

En toda planta se debe disponer de extinguidores de fuego, localizados cerca a los sitios de mayor riesgo; cada tipo de fuego exige un extinguidor apropiado; el uso de elementos inadecuados puede causar daños adicionales. Los extinguidores de bióxido de carbono son apropiados para controlar incendios de combustibles líquidos: gasolina, aceites, pinturas o en equipo eléctrico delicado, donde es importante que la sustancia extinguidora no conduzca la corriente y no deje residuos. El polvo

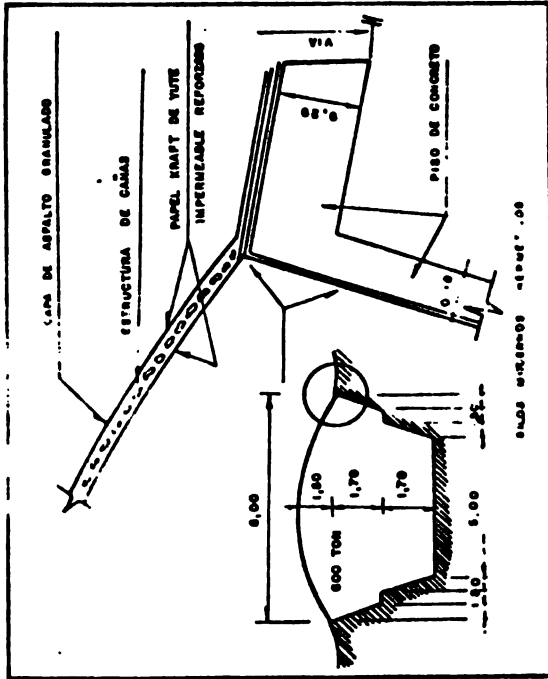


Figura No.18

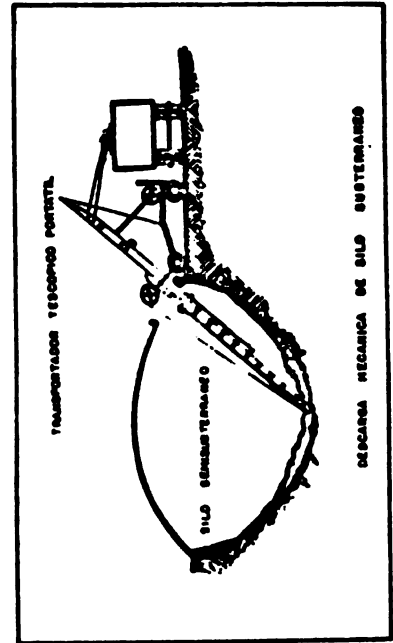


Figura No.19

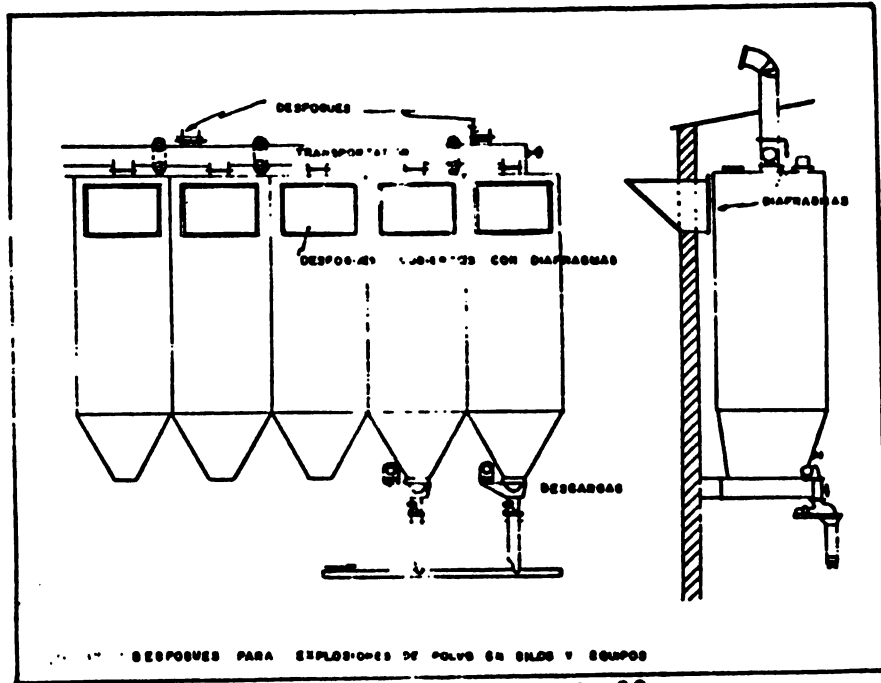
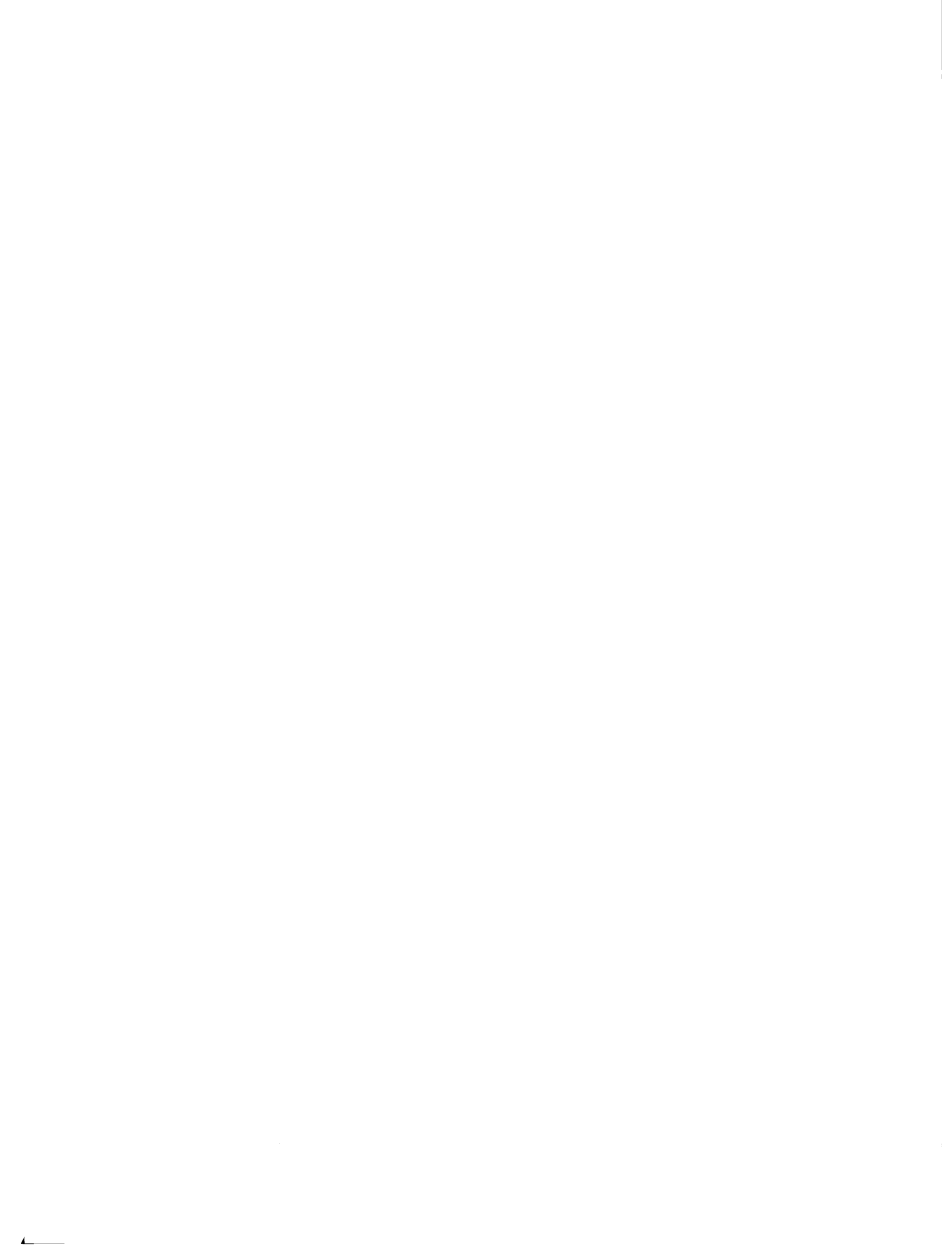


Figura No.20



químico seco (P.Q.S.) es adecuado para propósito general, en líquidos o equipos eléctricos, sin embargo deja residuos.

No se debe usar agua para controlar incendios de líquidos pues su acción desparrama el fuego; en equipos eléctricos el agua tiene el problema de conducir la electricidad, puede usarse para controlar incendios de papel, madera, etc.

Es conveniente planear detalladamente programas de emergencia y evacuación para diversas situaciones; personal encargado de: controlar el fuego, desconectar los sistemas eléctricos, dar aviso a los bomberos, accionamiento de las sirenas o alarmas, evacuación de personal, etc.

En un sitio seguro, cercano a la planta se debe tener disponible un juego completo de planos arquitectónicos, estructurales y eléctricos que permita a los bomberos localizar rápidamente apagadores principales, rutas de escape, zonas de almacenaje de fumigantes, etc., se debe mantener a la mano también, información al día sobre los silos recientemente fumigados que puedan exigir el uso de máscaras.

El botiquín de emergencia debe contener drogas para primeros auxilios de quemaduras y asfixia.

10. Accidentes en silos

La mayoría de los accidentes que se presentan dentro de silos ocurren por una de las siguientes razones:

Falta de oxígeno, caídas, intoxicación con fumigantes, enterramiento en los granos, equipo de rescate inapropiado, falta de entrenamiento, violación de las reglas de seguridad y apertura de compuertas de descarga sin advertencia previa.

Dentro de lo posible debe evitarse la entrada de personal a los silos; los atasques que se presenten pueden tratar de solucionarse con cadenas, vibradores, golpes en la tolva, etc. Si es indispensable entrar al silo debe utilizarse ventilación forzada durante 20 ó 30 minutos para renovar el aire, el operario debe usar un arnés de seguridad provisto de línea de comunicación o intercomunicadores inalámbricos. Nunca se debe intentar penetrar en un silo solo, debe contarse con la asistencia y ayuda de otra persona.

11. Aireación

Es un procedimiento muy utilizado en plantas de almacenamiento de países con estaciones, con él se busca igualar las temperaturas de los granos para prevenir migraciones de humedad, enfriar los granos secos, haciendo circular, durante el otoño e invierno, aire ambiente frío, para reducir la actividad propia y la de hongos e insectos; por último la aireación se puede utilizar para conservar grano húmedo en buenas condiciones por algunos días, antes de secarlo.

En climas tropicales húmedos y calientes, la utilización de la aireación se reduce y debe hacerse con cuidado para evitar humedecer y acelerar el deterioro del grano.

En climas húmedos pero fríos como la Sabana de Bogotá, es posible airear granos relativamente secos sin que se presente humedecimiento, como lo comprobaron experimentalmente Valencia y Teter (19). Se aireó maíz con 13.8% de humedad y 16°C con

aire de 100% de humedad relativa y temperatura promedio de 8°C, diariamente entre las 9 de la noche y las 5 de la mañana, por un período de 90 días. Al final del primer mes la humedad se redujo a 13.7%, a 13.6 al segundo mes y 13.45 al tercer mes, mientras la temperatura final se redujo a 13.72°C.

La pequeña reducción de humedad lograda se comprende al verificar en la Figura No. 21 que la presión de vapor del maíz en las condiciones anotadas es mayor que la del aire utilizado para la aireación y en consecuencia se tiene flujo de humedad del grano al aire.

Con los procedimientos de aireación modernos se busca reemplazar los "tra siegos" -movilizaciones de grano de un silo a otro- y evitar el deterioro del grano, desgaste de equipo y consumo de energía.

El tiempo necesario para enfriar completamente un depósito de grano depende de la rata de aire utilizada, la uniformidad del flujo y el tiempo disponible diariamente, con la rata de aire de 1/10 CFM/Bushell (0.11 m³/min/ton.) utilizada en muchos casos se necesita entre 120 y 160 horas para enfriar un silo con grano hasta la temperatura ambiente.

Para diseñar un sistema de aireación que distribuya el aire adecuadamente se debe tener en cuenta los siguientes puntos principales:

La velocidad del aire en ductos horizontales no debe ser superior a 2.000 pies/min. (609 mts/min.) o a 1.500 pies/min. (457 mts/min.) si su longitud es superior a 25 (7.6 mts.). En ductos verticales puede utilizarse 2.000 pies por min. (609 m/min.).

La velocidad de entrada del aire al grano debe ser de 30 a 50 pies/min. (9-15 m/min.), mayor velocidad exige presiones muy elevadas y un desproporcionado consumo de potencia.

La longitud del ducto, en general no debe ser superior a 18 ó 20 mts.

La separación entre ductos, con grano seco, debe ser tal que la trayectoria mas larga del aire a través del grano no sea mayor que 1.5 veces la trayectoria más corta.

La mayoría de los sistemas de aireación para grano seco succionan el aire por debajo del grano, de tal manera que el aire, caliente y húmedo, se descargue por entre el grano aún caliente, evitando la condensación de humedad que se produciría si entrara en contacto con el aire y las superficies frías de la parte superior.

Independientemente del volumen de aire utilizado, el grano siempre se enfría por zonas. Se establece una zona de enfriamiento que avanza en el mismo sentido del flujo del aire Figura No. 22.

- a. Aireación cruzada. En silos verticales Figura No. 23 permite utilizar ratas de aire superiores 5 ó 10 veces con el mismo consumo de potencia. Su instalación es más costosa pero su mayor eficiencia hace que se utilice con frecuencia, especialmente en sistemas de secado-aireación de maíz.

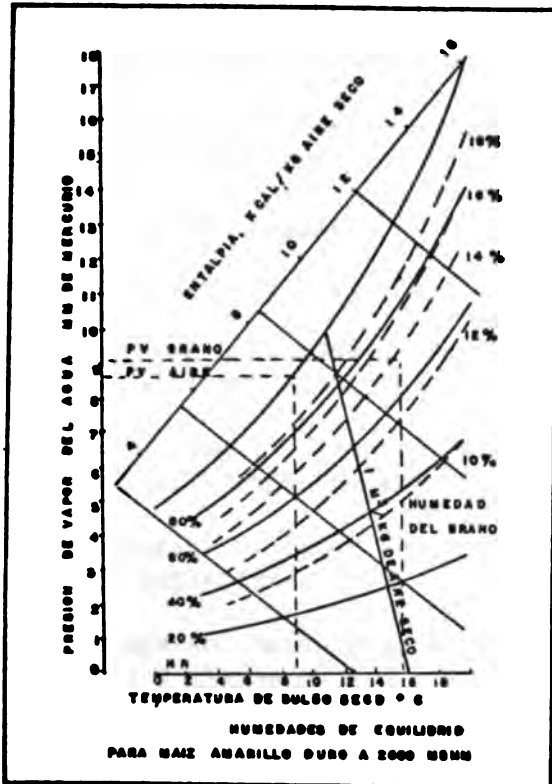


Figura 21

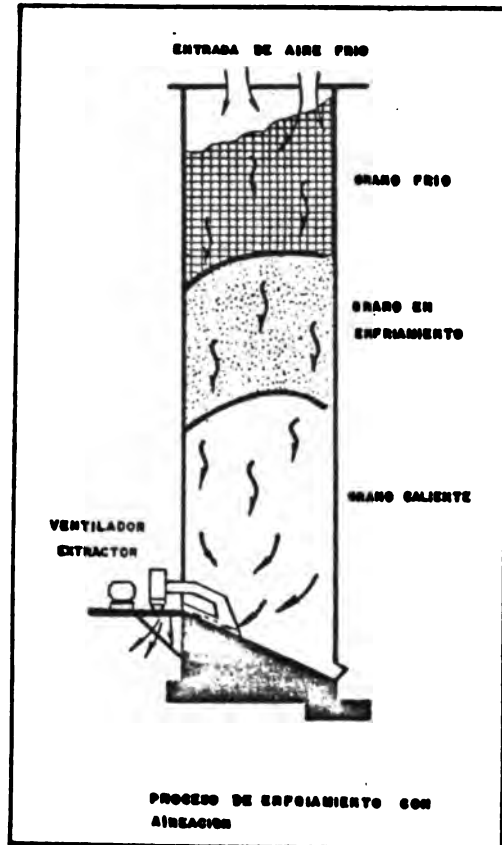


Figura No.22

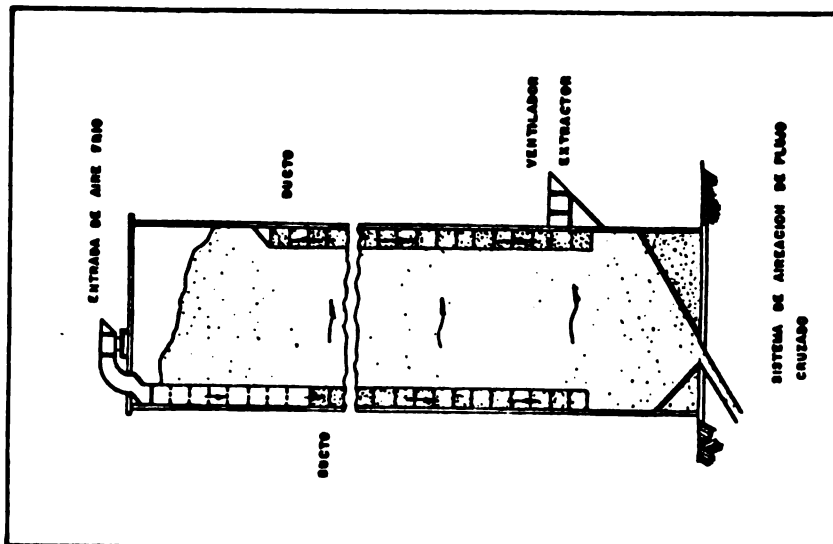


Figura No.23

REFERENCIAS

- (1) Estadísticas preliminares, grupo de trabajo consejo asesor en almacenamiento y conservación de productos agrícolas, Ministerio de Agricultura, Bogotá, 1977.
- (2) MacIntyre. Interaction of Agriculture with food science an interdisciplinary symposium.-Singapur, 1974.
- (3) Quifones, BioIngeniería Universidad Nacional de Colombia.
- (4) Ward, Calverley, A literature survey on the climate relation-ships in stores. Tropical stored products information No.23. Slough Inglaterra,1972.
- (5) _____. (1972) Op.Cit.
- (6) _____. (1972) Op.Cit.
- (7) Thompson, Perry USDA 1956-Almacenamiento de frijol en Michigan e Indiana-Traducción del IDEMA - Bogotá.
- (8) Food storage manual - Tropical stored products centre, Ministry of Overseas Development, Slough England. World Food Programme, Roma,1970 pag.609, Fig
- (9) Prevett, Storage of paddy and rice, Tropical Stored Products Information No.22 Slough Inglaterra, 1971.
- (10) Grain Storage and Marketing, short course outlines Kansas State University 1976. Sección C página 5.
- (11) Pomeranz, Advances in cereal science and technology - American Association of Cereal Chemists - Minnesota, 1976 pag. 60-61.
- (12) Lower, Bridges, Overhults - Computer layout and design of grain storage facilities -ASAE paper 74-5040-1974.
- (13) Hyde, Baker, Ross, López. El almacenamiento hermético de los cereales - FAO Roma, 1974.
- (14) Oxley, Wickenden, The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. Ann Appl. Bil USA, 1963 pag. 314-324.
- (15) Burrel 1968, citado por Hyde y Colaboradores FAO (1974).
- (16) National fire protection Association (INFFA) - Grain elevators bulk handing facilities, Boston, 1973.
- (17) NFPA. Explosion venting Boston 1974 sección 68-34.
- (18) NFPA. (1973) Op. Cit.
- (19) Valencia Teter. Ensayo de aireación nocturna de maíz en la Sabana de Bogotá, separata de la Revista ICA. Vol. VI No.1 Marzo de 1971.



III. SECAMIENTO DE GRANOS

El secamiento artificial de granos se desarrolló en sus comienzos sobre bases empíricas; las secadoras mecánicas se construyeron y mejoraron de acuerdo a resultados prácticos, sus fundamentos teóricos sólo se estudiaron años más tarde. Para completar la visión global del almacenamiento de granos, que se pretende dar en este libro, se desarrollará en forma general en este capítulo los principales aspectos teóricos del secamiento y almacenaje de granos. Su lectura no se dificultará para quienes tengan conocimientos básicos de termodinámica.

A. Secado

Proceso que normalmente se define como la remoción por medios térmicos de agua contenida dentro de sólidos.

Prácticamente la totalidad de las secadoras utilizadas comercialmente para granos, transportan el calor para la evaporación por "convección" utilizando aire en movimiento. Naturalmente en toda secadora, una pequeña parte del secamiento se realiza por "conducción" de calor por sus paredes y aún por "radiación" en algunos casos.

La utilización del aire como medio desecante generalizado, hace necesario el estudio de sus principales características.

B. Psicrometría

El aire es una mezcla de proporciones variables de aire seco y vapor de agua. Se denomina Psicrometría (literalmente medición del frío) al estudio de las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco, que permiten determinar las variaciones de humedad del aire.

El aire seco contiene principalmente oxígeno y nitrógeno y algunos otros componentes menores; el vapor de agua, que además contiene el aire atmosférico, aunque no representa nunca más de un 10% del peso del aire, tiene efectos muy importantes en los procesos de secado; para indicar su contenido en él, se usan tres medidas principalmente: presión de vapor, humedad relativa, humedad absoluta.

C. Presión de Vapor (P.V.)

La presión total que ejerce el aire atmosférico (barométrica), está formada por la suma de la presión parcial del aire seco, más la presión parcial del vapor presente, asumiendo que el aire y el vapor de agua se comportan como gases perfectos y de acuerdo con la ley de las presiones parciales de Gibbs-Dalton, que establece que la presión parcial es determinada únicamente por el volumen y temperatura de la mezcla sin influencia de los otros componentes. El error que se introduce al suponer que en el aire los componentes se comportan como gases perfectos para las temperaturas utilizadas en el secamiento de granos, -máximo 90°C- no alcanza a ser del 1% (1).

El agua, como todos los líquidos, tiende a saturar con su vapor todo el espacio que la rodea; cuando se llega al nivel de saturación la presión de vapor depende únicamente de su temperatura. En las tablas de vapor de Keenan y Keyes (2) se encuentran los valores de la presión de vapor a la saturación, para diferentes temperaturas.

La Tabla No. 5, adaptada de Keenan, muestra los valores de P.V. al nivel del mar y para las temperaturas más utilizadas en el secado de granos.

Tabla No. 5 - Presión de Vapor para varias Temperaturas

Temperatura (bulbo húmedo) °C	<u>P.V.</u> Psia.	Temperatura (bulbo húmedo)	<u>P.V.</u> Psia.
10	0.178	50	1.789
15	0.247	55	2.282
20	0.339	60	2.880
25	0.459	65	3.627
30	0.615	70	4.519
35	0.835	75	5.591
40	1.069	80	6.868
45	1.390	85	8.383

1. Presiones de vapor en aire saturado a diferentes temperaturas

La presión de vapor para aire no completamente saturado, se puede calcular simplemente multiplicando su P.V. saturado por su humedad relativa (HR) como se verá más adelante.

En la mayor parte de los casos prácticos, el vapor presente en el aire está recalentado, es decir, tiene una temperatura superior a la de su saturación. Así, aire a 80°C y 60% de humedad relativa, tendrá una P.V. de $6.868 \times 0.6 = 4.120$ PSI, presión a la cual corresponde una presión de saturación de aproximadamente 68°C, como puede comprobarse en las tablas de Keenan. Es decir, el vapor está recalentado en 12°C.

D. Humedad Relativa (HR)

La relación entre la masa de vapor presente en un volumen dado de aire y la masa de vapor que existiría en el mismo volumen de aire, y en iguales condiciones de temperatura y presión, cuando está completamente saturado de agua, se denomina humedad relativa y es numéricamente igual a la relación de las presiones de vapor del aire de la muestra y del aire completamente saturado. La HR se expresa normalmente como un porcentaje.

Medición de la humedad relativa: Entre los sistemas más utilizados para medir la HR, se encuentran:

- **Método Gravimétrico:** Es el más preciso y se utiliza como referencia para calibrar otros equipos; una muestra de aire se succiona a través de una sustancia muy higroscópica (por ejemplo Pentóxido de fósforo). El cambio en peso de esta sustancia y la masa de aire que la atravesó, permiten calcular la HR.
- **Punto de Rocío:** Se utiliza un espejo provisto de un sistema que permita variar su temperatura; colocado dentro de la muestra de aire, el espejo se enfría gradualmente hasta que se presente el empañamiento que indica el inicio de la condensación. La temperatura correspondiente se denomina punto de rocío y permite calcular la humedad del aire. Este sistema no es aplicable en mediciones donde el aire contenga cantidad apreciable de polvo, como sucede con frecuencia en el secado de granos, pues el polvo volátil disuelto en el aire disminuye el punto de rocío (y la presión de vapor) de acuerdo con la Ley de Raoult (3).
- **Higrómetro de bulbo seco y húmedo:** Se utilizan dos termómetros de mercurio idénticos, uno de los cuales tiene su bulbo envuelto en una mecha humedecida con agua destilada. Cuando una corriente de aire, a una velocidad no inferior a 3 mts./segundo atraviesa el higrómetro, se produce evaporación de agua en la mecha húmeda, cuya magnitud y efecto de enfriamiento depende de la humedad relativa del aire. La temperatura indicada por este termómetro se denomina de bulbo húmedo. Las lecturas del higrómetro tienen una precisión de alrededor del 3%. Si se dispone de algún sistema de ventilación que permita controlar la velocidad del aire, la precisión puede aumentarse al 2%.
- **Higrómetros de pelo:** El pelo de algunos animales y ciertas fibras de origen orgánico, tienen la propiedad de variar de longitud en forma proporcional con la humedad relativa del aire que las rodea. Con sistemas mecánicos, se puede medir el cambio de longitud y deducir la humedad relativa; con calibraciones frecuentes la precisión puede ser hasta del 3%. Estos higrómetros presentan el inconveniente de necesitar aproximadamente 15 minutos para proporcionar una lectura.
- **Sensores electrónicos como el modelo "Jason",** que utiliza la naturaleza higroscópica del óxido de aluminio anodizado (producida por su estructura porosa y de gran superficie activa) y cuya constante dieléctrica varía proporcionalmente con la humedad relativa.

1. Humedad absoluta

Su valor indica directamente la masa de vapor de agua que contiene cada unidad de aire seco; para el secamiento de granos, su valor normalmente varía entre 0.005 y 0.2 kilos de agua por kilo de aire seco.

2. Temperatura y calor

La temperatura de un cuerpo indica su nivel de actividad molecular; en el aire es un índice de su capacidad desecante y de la cantidad de calor que transporta.

La unidad de medida de calor en el sistema métrico es la caloría, que se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado; en los cálculos prácticos se utiliza con mayor frecuencia la kilocaloría, para evitar el manejo de números muy grandes; en el sig tema inglés de unidades se utiliza la BTU que equivale a aproximadamente 4 kilocalorías.

La cantidad de calor presente en el aire húmedo, por unidad de masa de aire seco se denomina entalpía (h) del aire, y está formada por la suma de las entalpías del aire seco y del vapor de agua asociado. Su valor en sí mismo no tiene ningún significado práctico, sólomente su comparación con otras entalpías relacionadas en el proceso, proporciona resultados útiles. Normalmente la entalpía del aire seco se mide utilizando una temperatura de 17.8°C (0°F) como Datum, y la del vapor de agua con 0°C (32°F).

El calor específico (C) de una sustancia se define como la cantidad de calor que debe suministrársele a su unidad de masa, para aumentar su temperatura en 1°C; de tal manera que para un cuerpo de masa M y cuya temperatura se modifique en ΔT la cantidad de calor (Q) suministrada, o extraída, será:

$$Q = M \times C \times \Delta T$$

El calor específico del aire seco es de 0.24 caloría/gramo °C numéricamen te igual en BTU/lb °F, de tal manera que la entalpía correspondiente al aire se-co por libra (ha) será de: $h_a = 0.24 (T - T_0)$.

Como ya se mencionó, el vapor asociado a el aire está normalmente recalenta do, en un valor igual a la diferencia entre su temperatura y la de su punto de rocío (T-Tr), de tal manera que su entalpía (h) será igual a la suma de la ental-pía del agua líquida, a la temperatura de rocío (hf), más el calor que fue necesar io añadirle para convertirla en vapor (hfg), denominado calor latente de evaporación, más el calor necesario para recalentar el vapor en T-Tr grados.

La cantidad de agua presente por kilo de aire seco es la humedad absoluta Habs; el calor específico del vapor es 0.45 calorías/gramo °C y el del agua es igual a 1 por definición. En consecuencia:

$$h = 0.24 (T - T_0) + Habs \left[0.45 (T - Tr) + hfg + (Tr - T'_0) \right]$$

Más adelante se desarrollará un ejemplo de utilización de esta fórmula, con juntamente con las tablas de vapor.

Para facilitar la determinación de las diferentes propiedades de la mezcla aire-vapor, se han desarrollado las cartas psicrométricas.

En los Estados Unidos son muy utilizadas las cartas psicrométricas, que uti lizan en uno de los ejes coordenados la humedad absoluta y en el otro la temperatura de bulbo seco.

En Europa se utiliza principalmente la gráfica de Mollier en la cual la humedad absoluta y la entalpía se utilizan como ejes de coordenadas.

Las tablas psicrométricas son aplicables sólo para la presión atmosférica para la cual fueron calculadas. En elevaciones sobre el nivel del mar de cierta importancia (más de 1.000 mts.), las cartas estandar no son utilizables sin error apreciable.

Como ejemplo de utilización de los conceptos anteriores, a continuación se estudian las características del aire a 80°F, a la presión estandar, inicialmente completamente saturado y posteriormente con una humedad relativa del 60%. El ejemplo se desarrolla en unidades inglesas, para permitir la aplicación directa de las tablas de Keenan (2).

Aire a 80°F saturado: $PV = 0.05069 \text{ PSI}^{(2)}$
 calor latente de evaporación $h_{fg} = 1048.6 \text{ Btu/libra de aire seco}^{(2)}$
 la humedad absoluta para esta temperatura se encuentra en cualquier tabla de propiedades del aire como la No. 5 del capítulo primero de Fan Engineering⁽⁴⁾ $H_{abs} = 0.0222 \text{ libras agua/lb. de aire seco.}$

La entalpía en consecuencia es:

$h = 0.24 (T - T_o) + 0.0222 [0.45 (T - T_r) + 1048.6 + (T_r - T_o)]$
 donde $T = 80^\circ\text{F}$, $T_o = 0^\circ\text{F}$ (Datum para aire), $T_r = 80^\circ\text{F}$ pues el aire está saturado, $T'_o = 32^\circ\text{F}$ (Datum para agua).

En consecuencia $h = 43.6 \text{ BTU/libra de aire seco}$

Aire a 80°F y HR 60% - $PV = (0.05069) \times (0.6) = 0.03041 \text{ PSI}$
 a la presión anterior corresponden en las tablas de vapor⁽²⁾ una temperatura de saturación de aproximadamente 65°F, que corresponde al punto de rocío en este caso $H_{abs} = 0.60 \times 0.0222 = 0.01332$
 entalpía $h = (0.24) (80) + 0.01332 [0.43 (80 - 65) + 1048.6 + (65 - 32)] = 33.7 \text{ BTU/libra}$ si este aire se calienta a 180°F su humedad absoluta permanecerá constante pues no se le ha añadido ni removido agua; igual cosa sucede con el punto de rocío.

A 180°F el calor latente de evaporación, de acuerdo con las tablas de Keenan es de: $h_{fg} = 990.2$, de tal manera que la entalpía es de:

$h = 0.24 (180) + 0.01332 [0.45 (180 - 65) + 990.2 + (65 - 32)] = 57.71 \text{ BTU/libra}$ lo cual indica un aumento de 24.01 BTU/libra de aire seco

Humedad absoluta a la saturación: $0.6558^{(4)}$

Y en consecuencia la humedad relativa es de: $HR = \frac{0.01332}{0.6558} = 0.02\%$

$P.V = 7.51 \text{ Psi}$ (a 180°F-saturado)⁽²⁾
 en consecuencia $PV = (0.02) (7.51) = 0.1502 \text{ PSI}$
 valor inferior a la PV del aire a 80°F y 60% HR (0.3041)

Los valores anteriores pueden hallarse con mayor rapidez con la ayuda de una carta psicrométrica apropiada.

En la Fig. 24 adaptada de Brooker⁽⁵⁾ se ha dibujado, sobre la silueta de una carta psicrométrica el proceso de secamiento de granos en condiciones adiabáticas, es decir utilizando toda la disminución en calor sensible del aire para evaporar humedad del grano convirtiéndolo en calor latente (representado en el aumento del vapor asociado), sin ninguna pérdida de calor por radiación, convección o conducción.

Durante el secado adiabático en consecuencia la entalpía total y la temperatura de bulbo húmedo permanecen constantes, mientras la temperatura de bulbo seco disminuye y la presión de vapor, humedad (absoluta y relativa) y punto de rocío aumentan.

Ejemplo: Figura 25 dibujada sobre una carta psicrométrica, el punto No. 1 representa aire ambiente con una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 80%; el punto No. 2 representa el mismo aire que ha sido calentado a 50°C; puede apreciarse que su humedad absoluta permanece constante (11.8 gm. de agua/kg. de aire seco) y su humedad relativa disminuye (16%). Si se dispone, antes de calentar el aire, de un volumen de 10 m³/minuto de aire, utilizando el valor del peso específico en el punto 1 que indica la carta psicrométrica 0.845 m³/kg, se dispondrá de 8.45 kg. de aire/hora.

Si el aire en las condiciones del punto 2, atraviesa una masa de grano húmedo, su humedad y temperatura se desplazan a un punto como el 3, donde la temperatura de bulbo seco es de 30.8°C, la humedad absoluta de 20 mg/kg. y la relativa de 70%.

La cantidad total de humedad removida es de $8.45 \times (20 - 11.8) = 69.29$ gms. de agua.

El secamiento por convección analizado, puede realizarse únicamente, cuando la presión de vapor ejercida por el agua situada en la superficie de los granos, es mayor que la presión parcial del vapor en el aire circundante; la velocidad de secamiento será función de la diferencia de estas presiones, del coeficiente de transferencia de masa y del área expuesta del grano.

El coeficiente de transferencia de masa es análogo al de transferencia de calor familiar a los ingenieros. Ambos coeficientes son medidas de resistencia al flujo por unidad de área, el primero al paso de masa (agua) y el segundo de calor, a través de la fina película de aire estancado que rodea los granos y dependen de la velocidad del aire circulante que modifica el espesor de la película.

La presión de vapor de los granos varía con su humedad y temperatura. Los granos húmedos presentan en su superficie una presión de vapor aproximadamente igual a la del agua líquida libre. Cuando se va removiendo la humedad por secamiento y la superficie no se encuentra totalmente húmeda, la presión del vapor va disminuyendo en forma acelerada.

Ejemplo Aire: a 60°F y 73% de humedad relativa

punto de rocío Tr = 51°F

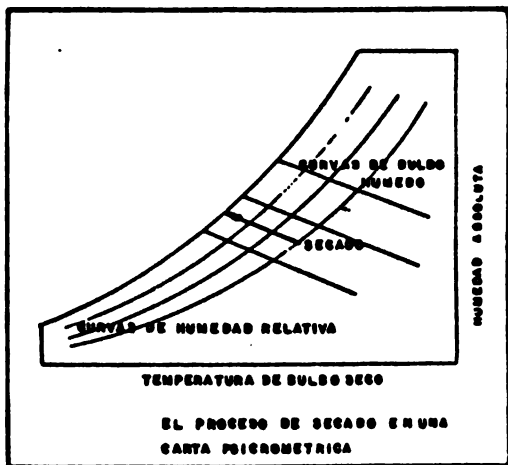


Figura No.24

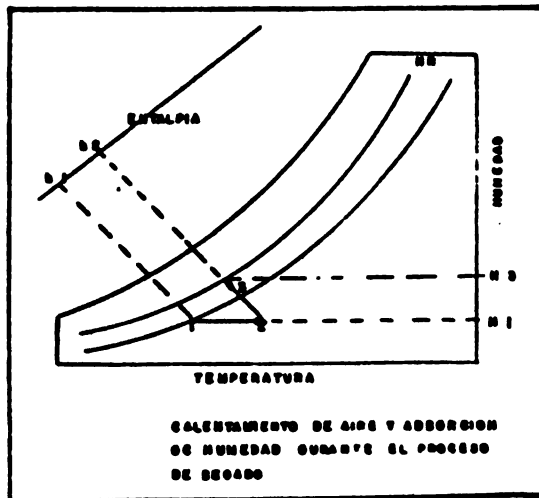


Figura No.25

PV = 0.185 PSI (equivalente al punto de rocío - también calculable por la presión de saturación a 60°F multiplicada por la HR).

Grano: con la superficie completamente humedecida, temperatura 60°C PV = 0.02563 (saturación).

Diferencia de presiones: 0.0713 PSI

Si el grano se calienta a 140°F (por un sistema de "conducción" de calor) su presión de vapor superficial aumenta a 2.88/Psi. Y la diferencia de presiones será de: 2.703, mayor 37 veces a la diferencia anterior. A medida que el secamiento progresa se va disminuyendo la presión de vapor del grano afectando a la velocidad de secado.

- a. Calor consumido. La cantidad total de calor que consume un proceso de secado de granos incluye además de calor latente utilizado en la evaporación, calor para recalentar el vapor del aire, para compensar las pérdidas por radiación, para calentar el producto y el agua que contenga, para calentar el aire y el vapor que contenga y el calor adicional que se requiera para promover la difusión de la humedad de los granos hasta su superficie.
- b. Calor latente. $Q_1 = hfg \times W \times \Delta H$ donde W es la cantidad de producto a secar y ΔH = humedad removida por Kg. de producto.
- c. Calor de recalentamiento. $Q_v = (0.45) \times \Delta H \times W$
- d. Calor de radiación. depende del material de construcción y características de la secadora, régimen de vientos circundante, etc.
- e. Calor para calentar el producto:

$$Q_p = W (C_p + C_a \times H_f) \Delta T$$

donde W = cantidad de producto que se calienta, C_p calor específico de la sustancia, C_a calor específico del agua = 1

H_f = humedad final del producto en base seca

ΔT = variación de temperatura del producto

- f. Calor para calentar el aire:

$$Q_a = W_a (C_a + C_v H_{abs}) \Delta T$$

donde W_a = flujo de aire en kilogramos

C_a = calor específico del aire = 0.24

C_v = calor específico del vapor = 0.45

H_{abs} = humedad absoluta

T = variación de temperatura del aire

En la Tabla No.6 se anota el calor específico para los principales granos y algunos materiales utilizados corrientemente en su manejo (6) (7)

Tabla No. 6 - Calor Específico de varios Productos

Producto	Calor Específico	Producto	Calor Específico
Maíz amarillo (humedad 14.7%)	0.484	Ladrillo	0.22
		Granito	0.19
Maíz amarillo (humedad 20.1%)	0.531	Concreto	0.18
		madera dura	0.57
Arroz paddy (humedad 12%)	0.284	Acero	0.115
		Aluminio	0.23
Arroz paddy humedad 17%	0.337		
Soya humedad 19.7%	0.47		

La cantidad de calor para evaporar agua en granos húmedos, es ligeramente mayor que la necesaria para evaporar agua libre, pero aumenta en los granos más secos, especialmente si han sido sometidos a un proceso de secado largo y se encuentran francamente en la fase de velocidad de secado decreciente, en la cual la velocidad de evaporación está controlada por la velocidad interna de difusión de la humedad, y no por la capacidad desecante del aire. Haynes (1961) (8) preparó una tabla para el calor de vaporización de varios cereales según su contenido de humedad y temperatura. La Tabla No. 7 se adaptó de la tabla de Haynes.

Tabla No. 7 - Calor de Vaporización BTU/lb, de granos en varias condiciones

Producto	Humedad (base húmeda)	Temperatura		
		10%	21%	38%
Agua (hfg)		1.065	1.055	1.037
Trigo	9%	1.218	1.207	1.186
	13%	1.163	1.152	1.133
	16.6%	1.091	1.081	1.062
Sorgo	9%	1.214	1.203	1.182
	13%	1.154	1.144	1.124
	16.6%	1.097	1.087	1.068
Maíz	9%	1.371	1.359	1.335
	13%	1.292	1.280	1.258
	16.6%	1.191	1.180	1.160

Se aprecia que para humedades bajas, el calor necesario aumenta en un 25%-30% con relación al agua libre. Granos pequeños como sorgo o trigo requieren menos calor que granos grandes como maíz.

Se puede mejorar en forma apreciable la eficiencia térmica de un proceso de secado largo, dividiéndolo en dos, o más etapas o "pasos", separadas por un período de reposo que permita la redistribución de la humedad dentro del grano por un proceso de difusión; durante los períodos de reposo la cantidad de humedad permanece constante y la temperatura del grano normalmente no sufre variación importante.

E. Combustibles

En los procesos de secamiento industriales, para la generación de calor se utilizan varios tipos de combustibles; los de tipo líquido y gaseoso (Diesel, Fuel Oil, LPG, Gas Natural), además de proporcionar una combustión térmicamente eficiente, facilitan el control automático de la temperatura del aire de secado, el cual si se utiliza adecuadamente, además de mejorar la utilización del combustible permite obtener una mejor calidad de grano.

El combustible Diesel (No. 2 - denominado en Colombia ACPM) tiene una capacidad calórica de aproximadamente 9190 kilocalorías por litro (139.000 BTU por galón).

El Fuel Oil (No. 5) aproximadamente 10.000 kilocalorías por litro (148.000 BTU por galón)⁽⁹⁾

Eficiencia térmica: La relación entre la cantidad de calor efectivamente utilizada para evaporación (convertida en calor latente), y la cantidad total de calor utilizada, se define como eficiencia térmica. En equipos secadores de granos bien diseñados, se obtienen eficiencias de aproximadamente 60%-65%.

El costo mundial del combustible, relativamente bajo hasta antes de la crisis de 1972, y la necesidad de disponer de secamiento de gran capacidad, motivada por el cambio en los sistemas de recolección de granos de 1950-1970, hicieron que en el criterio de diseño de las secadoras, la capacidad tuviera mayor importancia que la calidad del grano y la eficiencia térmica. Sin embargo el precio actual de los combustibles ha obligado a los diseñadores a buscar medios para mejorar la eficiencia; se están utilizando sistemas que permiten recircular parte del aire de descarga de la máquina, el cual contiene aún una cantidad apreciable de calor sensible utilizable, para conseguir un mayor grado de saturación en el aire que se descarga finalmente.

Se están investigando otros sistemas, un poco más complicados, pero de alta eficiencia, como el "intercambiador de calor de tubos" combinado con una "bomba de calor". El "intercambiador" es un sistema cerrado de evaporación-condensación; formado por varias hileras de tubos capaces de transferir una alta cantidad de energía térmica; dentro de los tubos se coloca un fluido apropiado y una mecha de material capilar de tal manera que se tenga dentro de ellos una circulación cerrada de líquido que se convierte en vapor y nuevamente en líquido. En uno de los extremos del intercambiador se aplica el aire caliente proveniente de la descarga de la

secadora, vaporizando el líquido interno que se desplaza al otro extremo del dispositivo, extremo que no se encuentra sometido a la acción del aire caliente y del cual se puede remover la energía térmica, utilizando por ejemplo, la corriente de aire frío que succiona el ventilador de la secadora; el enfriamiento produce la condensación del líquido que retorna al extremo caliente. La eficiencia del sistema depende de la diferencia de temperatura entre sus extremos.

Si el "intercambiador" se complementa con la "bomba" de calor, la recuperación de energía puede ser casi total, como se ha demostrado en escala experimental (9). El calor recuperado por el intercambiador se utiliza para vaporizar líquido de refrigeración a baja presión, la producción de "frío" de uno de los extremos de la bomba permite ampliar la diferencia de temperatura entre los extremos del intercambiador.

F. Energía Solar

En los últimos años se han ampliado las investigaciones sobre la aplicación de la energía del sol, al secado artificial de granos. Además de la necesidad de disponer de superficies muy grandes para captar cantidades apreciables de calor, se requiere contar con algún sistema económico que permita almacenar el calor captado para utilizarlo cuando se necesite. Se han utilizado grandes masas de piedras cubiertas con techos pintados de negro; con la ayuda de ventiladores se hace circular aire a través de las piedras calientes, para extraer el calor almacenado y utilizarlo en sistemas secadores.

En otros experimentos (10) se han utilizado grandes tubos construidos en polietileno negro, colocados en la succión de los ventiladores para captar calor del sol y disminuir las necesidades de combustibles.

Los sistemas de utilización de la energía solar para el secamiento, se encuentran en etapa incipiente, probablemente se producirán desarrollos importantes en el curso de los próximos años.

REFERENCIAS

- (1) BROOKER, BAKER, HALL. Drying cereal grains. Avi publishing co. Connecticut 1974. pág. 37.
- (2) KEENAN, KEYES. Thermodynamic properties of steam. Wiley New York. 1962.
- (3) PERRY. Chemical Engineers Hand -book- MC Graw Hill. New York. 1950. pág. 317.
- (4) JORGENSEN. Fan Engineering. Buffalo Forge Co., New York. 1970. pág. 17.
- (5) BROOKER y Colaboradores. Op. Cit (1974). pág. 41.
- (6) JORGENSEN. Op. Cit. (1970). pág. 43.

- (7) ASAE. Agricultural Engineers Yearbook, 1974. pág. 360.
- (8) HAYNES. Vapor Pressures in hygroscopic grain seeds. USDA. Technical bulletin No. 1229.
- (9) ARCHITECTS AND ENGINEERS HAND. Book. Industrial Combustion Co-Wisconsin. 1967.
- (10) MOREY, CLOUD, NELSON. Field evaluation of a solar Energy grain drying system ASAE. Paper No. 75. 3515. 1975.

IV. ZONIFICACION DE LA PRODUCCION DE GRANO EN COLOMBIA DE ACUERDO CON SUS CONDICIONES DE RECOLECCION

A. Zonas

En los últimos años se ha desarrollado, entre las personas vinculadas al manejo de granos especial interés por estudiar y comparar las diversas condiciones en que se recolectan los granos en las diversas zonas del país.

Se reconoce la diferencia en las condiciones de los granos recolectados en zonas técnicamente avanzadas y de clima benigno (como la Región de Armero en el Tolima) y en zonas donde la recolección se efectúa en temporada de lluvias y con disponibilidades técnicas precarias.

Según su mayor dificultad, se ha considerado que el país puede dividirse en las siguientes zonas: Llanos Orientales, Cesar, Valle del Cauca, Costa Atlántica, Tolima y Huila.

1. Llanos Orientales

Esta zona tiene las mayores dificultades para el manejo y tratamiento oportuno y adecuado de los granos, especialmente durante la temporada de recolección del segundo semestre (Julio en adelante).

Aunque en los últimos años la agricultura de los Llanos se ha tecnificado, todavía parte de la producción, proviene de agricultores "recién llegados", de poca experiencia y de inversionistas de Bogotá, quienes conforman un grupo importante de "productores ausentistas".

Las irregularidades climatológicas de la zona, impiden determinar las fechas de recolección con alguna aproximación, situación que dificulta la programación y disminuye el rendimiento promedio de las máquinas cosechadoras. La elevada humedad que prevalece en los meses de recolección de la cosecha principal (Julio - Octubre) hace que los granos se recojan, en su mayoría, con contenidos de humedad que exigen secamiento artificial para su adecuada conservación.

Se estima que, en condiciones normales, entre 80% y 90% del grano recolectado en la cosecha mencionada, necesita en esta zona secamiento artificial y su humedad promedio puede ser superior a 21%, en el caso de sorgo y maíz 25% en arroz.

El arroz y sorgo se producen en los Llanos, en su mayoría, con sistemas modernos y disponen de infraestructura más o menos adecuada para su acondicionamiento. El maíz por el contrario, continúa produciéndose, en su mayoría, en zonas alejadas de los centros principales (cultivo tradicional y de colonización), de tal manera que su acondicionamiento se realiza varios días, y aún semanas, después de su recolección. Es tradicional recolectar el grano en mazorcas, y acomodarlo en "CAM-BULLONES", que permiten circulación de aire y un secamiento natural que, desafortunadamente, es insuficiente y disparejo; el desgrane se realiza posteriormente con máquinas estacionarias y en muchas zonas mediante golpes con palos.

Aunque en los últimos años se han construido nuevas instalaciones para acondicionamiento de granos y se han ampliado algunas de las existentes (especialmente de carácter privado), en los momentos críticos de la cosecha, la elevada humedad de los granos hace que resulten insuficientes.

La mayor parte de las instalaciones de secamiento de tipo comercial, se han construido en los alrededores de Villavicencio; el sorgo, cereal que exige secamiento artificial para conservar su calidad*, se produce dentro de un radio de 100 kilómetros de la ciudad; la apertura de nuevas vías, la construcción de nuevos puentes, etc., producirá un alejamiento de las zonas productoras y hará necesaria la construcción de nuevas instalaciones.

Los costos de acondicionamiento, especialmente de secamiento en los Llanos son más elevados que en cualquier otra zona del país, en primer lugar por la mayor remoción de humedad que es necesario hacer y por la menor duración anual de la temporada de recolección, que aumenta los costos financieros, pues exige su distribución en un número reducido de días hábiles (como se verá en detalle en otro lugar). Las condiciones técnicas, relativamente precarias, en las cuales se realiza la recolección mecanizada de los granos incide en el contenido de impurezas y grano partido con que éstos llegan a los sitios de acondicionamiento. El manejo, secado y almacenaje de granos sucios se dificulta, como ha sido estudiado en forma extensa, en nuestro medio, por Castillo**. Este problema (existente también en otras zonas del país) podría reducirse si los agrónomos que prestan asistencia técnica a los cultivos, prolongaran su acción hasta el momento de la recolección y dirigieran, en forma permanente, las operaciones de calibración de las cosechadoras combinadas.

En los Llanos la solución del problema, desafortunadamente, no es tan sencilla, pues incide además, el tamaño reducido del parque de cosechadoras y la necesidad de recolectar la mayor cantidad posible en los días sin lluvia que se presenten durante la temporada.

Las llanuras de Casanare, ofrecen características climatológicas diferentes a las del Meta, que permitirían la producción de una cosecha intermedia en el futuro, cuando se disponga de vías adecuadas, pues los meses de Mayo y Junio tienen condiciones adecuadas para la siembra y el mes de Octubre, durante el cual se efectuaría la recolección, es suficientemente seco.

2. Cesar

Aunque en las zonas productoras de este Departamento, las condiciones climáticas no son tan difíciles como en los Llanos Orientales, el Cesar tiene las mismas

* En el país, en el momento, se da mucha mayor importancia al adecuado tratamiento y buena calidad de los granos (sorgo y maíz) destinados a la alimentación animal, que a los granos (principalmente maíz) destinados al consumo humano; en el primer caso las deficiencias del grano se hacen aparentes en poco tiempo, pues afectan el desarrollo de los animales y la postura de las aves, mientras que los daños causados en seres humanos no son tan fácilmente detectables en corto plazo.

** Almacenamiento y Secamiento de Granos en Colombia y América Tropical, Alvaro Castillo Niño, Bogotá, 1978.

dificultades y limitaciones técnicas y de vías de comunicación.

La zona de Aguachica, en el sur del Cesar, ha tenido el desarrollo más rápido en el país en el cultivo de sorgo. La misma rapidez de este desarrollo (como también sucede en otras zonas), ha traído consigo sus problemas propios; en el ICA, por ejemplo, el programa de sorgo es un simple apéndice del programa del maíz; las variedades utilizadas son de uso nacional y se pretende sembrarlas indistintamente en zonas secas y en zonas húmedas, aunque, es necesario reconocerlo, a este problema se le ha dado especial atención desde hace dos o tres años*. "La selección de las variedades de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona es muy importante; sorgos de panoja cerrada, o semi-abierta, como el ICA-NATAIMA y el P-25, no deberían sembrarse en zonas donde la humedad ambiente durante el período final del cultivo fuera demasiado alta, los granos localizados en el interior de la panoja pueden permanecer húmedos demasiado tiempo y ser invadidos por hongos. Las lluvias antes de la cosecha, además, alargan el período vegetativo de las plantas, de tal manera que se vuelve inevitable la recolección de granos inmaduros y con mayores impurezas"**.

La selección de la variedad a sembrar, con mucha frecuencia, se hace con el siguiente criterio de prioridades:

- a. Disponibilidad de semilla
- b. Crédito
- c. Comportamiento cultural
- d. Precio
- e. Calidad final.

Las industrias que utilizan el sorgo y el maíz (en la industria arrocera las condiciones son diferentes) enfrentadas a una situación casi permanente de escasez, no colaboran en forma efectiva, en la mejoría general de la calidad, pues no están en condiciones de aplicar en forma consistente criterios uniformes de calidad y bonificaciones.

Al igual que en el Meta, el número de cosechadoras disponibles en el Cesar es insuficiente y, como acontece en el resto del país, solamente un pequeño número de ellas dispone de tanque para manejo a granel; las máquinas de diseño moderno, que disponen del tanque como parte standard, son modificadas a su llegada al país, para el manejo del grano en sacos.

La humedad promedio de recolección de los granos en el Cesar no es tan alta como en el Meta. En condiciones normales, sólo 60% o 70% de sorgo y maíz pueden necesitar secamiento artificial y su humedad promedio puede oscilar entre 18 y 19%; mientras la humedad promedio del arroz se estima entre 22 y 23%.

El acondicionamiento de los granos producidos en el Cesar, se realiza en ciudades relativamente distantes: Bucaramanga, Barranquilla y Medellín, principalmente de tal manera que cuando se tienen dificultades de transporte un grano húmedo puede demorar varios días en recibir tratamiento y sufrir así daños irreversibles;

* Día de Campo en Armero - Patrocinado por FINCA y DISTRACO, Bogotá, 1975.

** Castillo, op. cit. pág.196.

en general, se recomienda que maíz o sorgo con humedad superior al 17% debe secarse dentro de las 24 horas siguientes a su recolección.

3. Valle del Cauca

Esta zona, no hace muchos años el principal productor de granos del país (maíz, sorgo, soya), se ha convertido en un simple productor marginal ante el avance de los cultivos de caña.

La colaboración que los Ingenios Azucareros prestan a los productores de caña ("colonos"), y su ayuda técnica y financiera, disminuye notoriamente los riesgos inherentes a la agricultura y ha probado ser imán irresistible para los antiguos productores de granos. Se estima que 50 a 60% del grano de la zona necesita secamiento artificial. La infraestructura de acondicionamiento existente, diseñada para una producción mayor, es suficiente para atender las necesidades actuales salvo cuando se presentan temporadas anormales de lluvias.

4. Costa Atlántica

Incluye, para efectos de este estudio, las regiones agrícolas de Córdoba y el Sinú, Bolívar y Atlántico. Aunque sus recursos técnicos son precarios, al igual que la infraestructura de vías y acondicionamiento, se considera que sus condiciones climatológicas relativamente benignas; 50 o 60% del grano recolectado en la cosecha principal de Córdoba, requiere secamiento artificial. El grano de la cosecha de "MITACA" recolectado en enero-febrero, no necesita secarse en más de 20 a 30%.

El maíz llegado a Montería, tiene dos mercados claramente diferenciados: (1) Grano para el comercio de Medellín (Guayaquil), y en su mayoría blanco, solo en muy contadas ocasiones se seca, aunque su humedad puede ser elevada; este grano se almacena y transporta generalmente en sacos, colocados parados en la bodega y camión, con el fin de retardar un poco su deterioro; sin embargo, con frecuencia presenta condiciones inadecuadas para consumo humano. (2) Maíz para las industrias procesadoras (Medellín, Cartagena, Cali y en circunstancias especiales, Bogotá).

La falta de infraestructura para acondicionamiento de la zona exige enviar el grano húmedo hasta Cali o Medellín; el transporte puede demorar dos o tres días durante los cuales pueden producirse daños que afectan su rendimiento industrial (extracción de almidón, etc.).

Como sucede en los Llanos, los costos financieros de secamiento, en esta zona, se ven afectados por la corta duración anual de la temporada de recolección.

5. Tolima - Huila

Zona productora de granos (sorgo, maíz, arroz) de la mayor importancia, se encuentra relativamente bien dotada de vías e infraestructura para acondicionamiento, cuenta además, con el respaldo de las grandes instalaciones de secamiento y almacenamiento de la Sabana de Bogotá.

El Norte del Tolima, Armero y alrededores, tiene, tal vez, las mejores condiciones climatológicas y el mejor desarrollo técnico; el sorgo de esta zona rara vez requiere secamiento (un 20% de la cosecha probablemente) y puede transportarse

directamente a la Sabana de Bogotá, donde la baja temperatura ambiente permite su adecuada conservación, aún con humedad del 15%.

El Sur del Tolima produce un poco más húmedos, pero de todas maneras más secos que los del Cesar o la Costa.

El ICA está adelantando en la zona de Armero, una investigación para evaluar las pérdidas de grano durante el proceso de recolección, se trata de comprobar la veracidad de cifras, que se mencionan sin mayor base, de pérdida hasta el 15% en la zona; sería deseable que estos estudios se extendieran a otras regiones del país, menos avanzadas técnicamente, donde se mencionan pérdidas de 30% y aún más elevadas.

B. Condiciones Adecuadas de Recolección

Además de las condiciones de recolección ya mencionadas: humedad uniforme, bajo contenido de impurezas y granos partidos, es necesario tener en cuenta algunas otras, cuya importancia no siempre se reconoce: RESIDUOS DE INSECTICIDAS-. Provenientes del uso de productos químicos de efecto residual y acumulativo (organoclorados) y otros más volátiles (organofosforados, carbamatos, etc.) los cuales al no ser bien utilizados presentan problemas de residualidad en los productos agrícolas.

Los organoclorados, aunque su uso está prohibido en otros países del mundo y en Colombia para los cultivos de tabaco y café, continúan aplicándose en algunos sitios, por su menor precio, su mismo efecto residual y principalmente por la razón de su presencia en el mercado. CONTAMINACIONES-. Se ha determinado en varias oportunidades, la contaminación de granos con aguas negras y residuales, probablemente por falta de cuidado en su manejo. SEMILLAS TOXICAS-. Crotalaria, Cassia, Tora, etc. INFESTACION DE HONGOS E INSECTOS-. Puede producirse desde el campo de cultivo, por el uso de empaques en malas condiciones o almacenaje provisional inadecuado. Este problema podría parcialmente solucionarse, ampliando los servicios de asistencia técnica para cubrir estas etapas.

La acción gubernamental, desafortunadamente, no siempre es ejemplo de manejo adecuado de granos, ni proporciona estímulo para el desarrollo de infraestructura de acondicionamiento por parte de la iniciativa privada. Se recuerda el caso de las ventas por parte del IDEMA, de maíz importado, en condiciones sanitarias deplorables, que lo clasifican como "fuera de normas".

V. EQUIPO MECANICO PRINCIPAL UTILIZADO EN RECIBO Y SECADO DE GRANOS

La Figura No. 26 ilustra en forma simplificada el diagrama de flujo de una planta para recibo y secado de granos.

En este Capítulo se estudiarán con algún detalle los equipos básicos utilizados.

A. Sistema de Descargue

El grano húmedo, que se transporta de los campos a las plantas de silos o bodegas, debe recibirse en forma eficiente y económica.

1. Recibo en sacos

El sistema tradicional: Descarga en forma manual de los bultos y amontonamiento de los mismos para su posterior vaciado en pequeñas tolvas de recepción; puede hacerse más eficiente mejorando los diseños de las tolvas y sistemas mecánicos.

Cuando el grano se recibe en sacos, tal vez el mejor sistema sea el descargue directo desde la plataforma del camión hasta una tolva situada a nivel del piso y cuya capacidad sea por lo menos igual a la cantidad promedio de grano que transporta cada camión (Figura No. 27). Según la práctica comercial colombiana, el descargue se ejecuta por cuenta del transportador, si la tolva y su equipo de evacuación no tienen capacidad suficiente y permiten que ésta se llene, será necesario continuar el descargue de los bultos en el piso, resultando así un costo adicional por el arrastre y apertura posterior de los bultos en la tolva (costo no inferior a \$ 35,00 por tonelada en 1980).

Para acelerar la operación de descargue del camión, algunas compañías con frecuencia facilitan al transportador un ayudante, que generalmente se encarga de cortar y recoger las cabuyas de amarre de los sacos. Con dos "bulteadores" y el ayudante anterior es posible descargar un camión con 100 bultos (6 toneladas) en 15 ó 20 minutos; de tal manera que la capacidad mínima de evacuación de una tolva para recibir continuamente grano ensacado debería ser de 20 tons./hora.

Utilizando técnicas estadísticas se facilita la comparación de los costos de diversas alternativas para construcción de sistemas de recibo. Así, por ejemplo, si se desea analizar la conveniencia económica de utilizar una cuadrilla de dos o de cuatro operarios para descargar camiones, podría seguirse el siguiente sistema: (1) (2).

Se asume que los camiones arriban al azar y que el tiempo de descarga de cada uno es menor que el tiempo que transcurre entre dos llegadas.

Se denomina "A": El número de llegadas promedio,

"S": El factor de servicio, número de camiones desocupados máximo por hora,

"U": El factor de utilización $U = \frac{A}{S}$ debe ser menor que 1, de lo contrario se formarían colas interminables,

Lc: Longitud media de la cola

$$Lc = \frac{V^2}{1-V}$$

T: Tiempo promedio en cada camión $T = \frac{1}{S-A}$

Se supone que llegan 20 camiones en el turno de recibo de 10 horas, con una cuadrilla de dos bulteadores se vacían tres camiones por hora; con tres "bulteadores", cuatro camiones. Si el salario es de \$ 100 diarios y el costo de espera de cada camión de \$ 300 por hora, es conveniente o no utilizar los tres hombres?

	2 hombres	3 hombres
A =	$\frac{20}{10} = 2$	$\frac{20}{10} = 2$
S =	3	4
U = $\frac{A}{S}$	$\frac{2}{3} = 0.67$	$\frac{2}{4} = 0.50$
Lc = $\frac{U^2}{1-U}$	1.36	0.50
T = $\frac{1}{S-A}$	1	0.50
Costo promedio de espera por camión	\$ 300,00	\$ 150,00
Costo de espera diario	2.400,00	1.200,00
Salarios	<u>200,00</u>	<u>300,00</u>
Costo total	2.600,00	1.500,00

es fácil apreciar, con los resultados, la conveniencia de utilizar tres hombres.

En ocasiones se construyen las tolvas de recibo a la misma altura de la plataforma del camión (1.20 mts.), sin embargo es preferible construirla con el nivel del piso, a no ser que el nivel freatico del terreno, o alguna otra circunstancia, exija construirla levantada, pues se facilita el vaciado de los sacos desde la plataforma del camión, sin que el operario deba en ningún momento levantarlos y, además, se aumenta la capacidad efectiva de la tolva al permitir la formación de un cono de grano hasta el mismo nivel del camión, cono que puede evacuarse durante las maniobras de colocación del siguiente camión.

El ancho de la tolva no debería en ningún caso ser inferior al de la plataforma del camión (2.50 mts.), y preferiblemente debería cubrirse con una rejilla que permita el paso de personal sobre ella (Figura No. 28). Es sorprendente encontrar, aún en instalaciones modernas y de cierta capacidad, grandes tolvas de recepción, muy profundas, que además de representar un peligro para el personal, permiten la entrada de piedras y palos grandes, capaces de causar daños de importancia en el equipo de transporte y tratamiento.

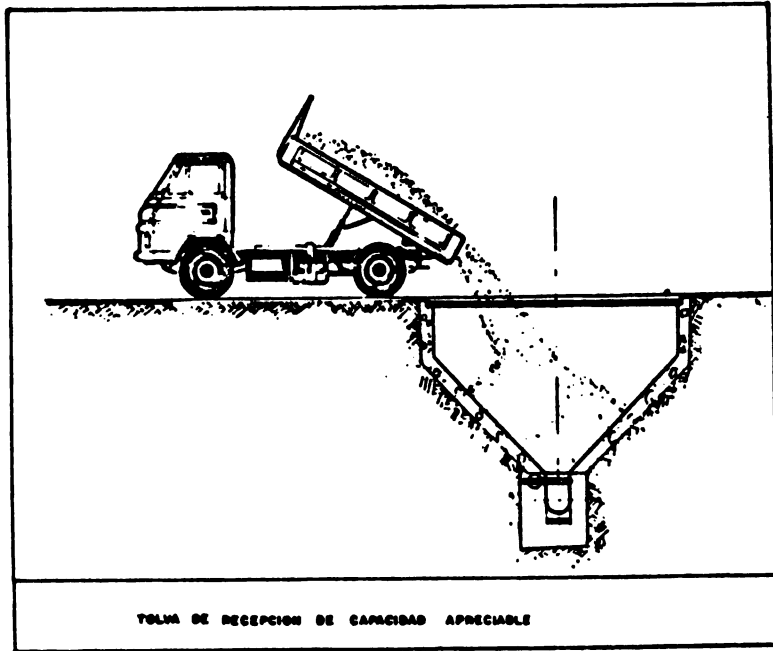


Figura No.27

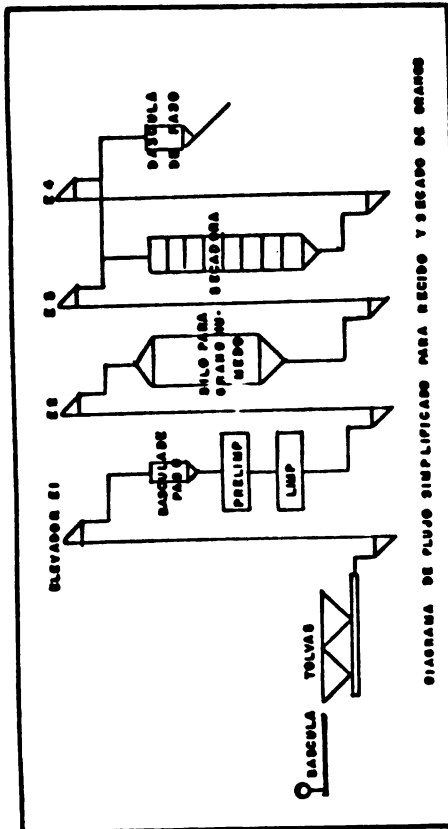


FIGURA NO.26

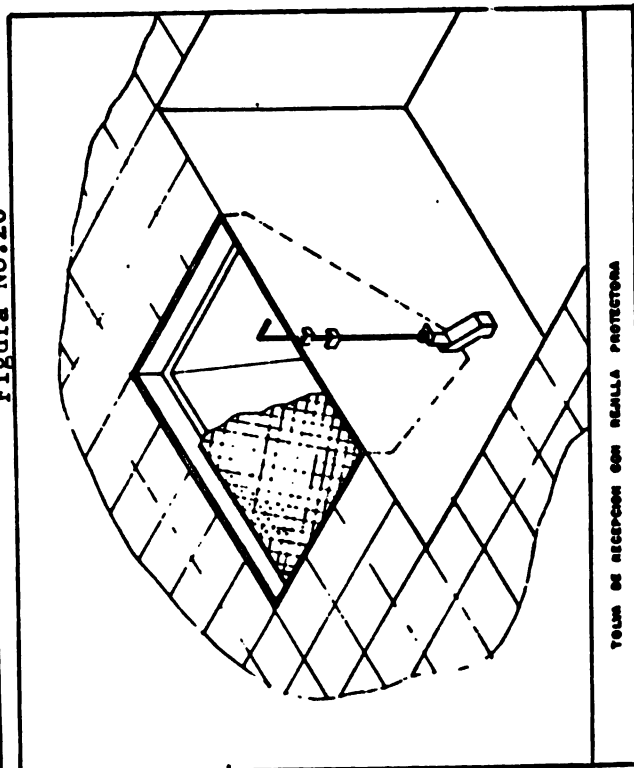


Figura No.28



Si se desea recibir simultáneamente varios camiones, se debería aumentar la capacidad del equipo de vaciado a razón de 20 toneladas/hora por camión; para recibir simultáneamente diferentes tipos de grano con un solo transportador, es útil contar con una tolva subdividida en varias secciones y cuya descarga pueda controlarse independientemente.

2. Recibo a granel

Puede realizarse en las mismas tolvas de sacos, si su capacidad es por lo menos igual a la del camión, con la ayuda de varios dispositivos mecánicos: la pala mecanizada (Figura No. 29) es el más simple; un solo operario puede descargar con su ayuda un camión de seis toneladas en seis o siete minutos (con un motor de 3 HP). Un malacate eléctrico, montado sobre un pórtico metálico o de concreto (Figura No. 30), de 5-7 HP puede fácilmente levantar camiones de 10-15 toneladas y descargar automáticamente el grano por la compuerta trasera (Figura No. 31).

Este sistema sin embargo preocupa a los camioneros al observar su vehículo levantado y soportando la mayor parte de la carga sobre las ruedas traseras; la mayoría prefiere que se utilice el sistema hidráulico con plataforma de levante completas (Figura No. 32) que de todas maneras introduce las mismas sobrecargas en la estructura del camión.

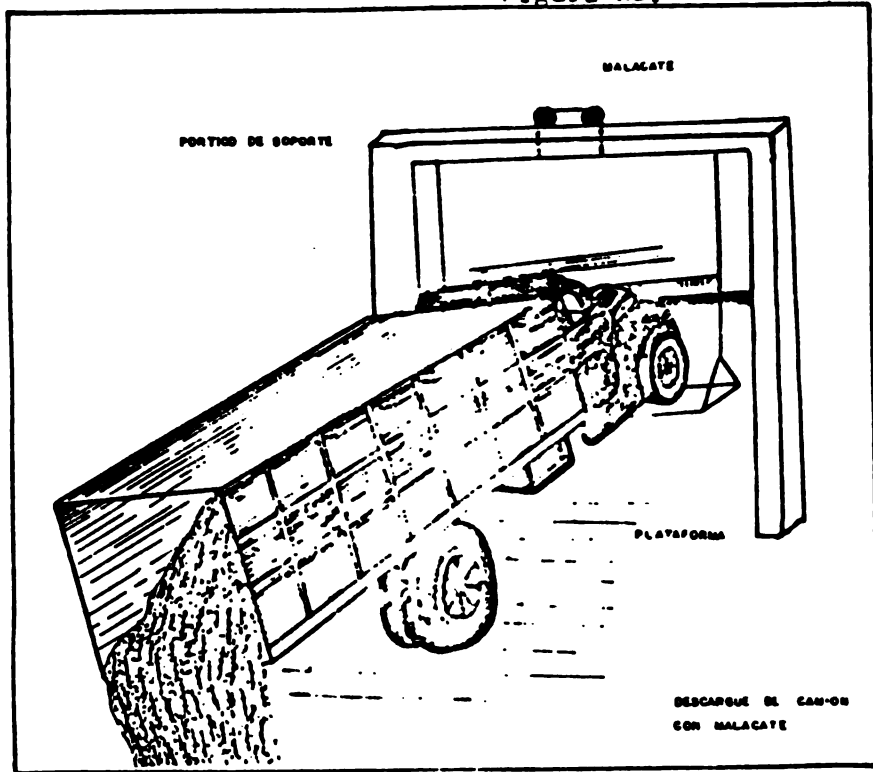
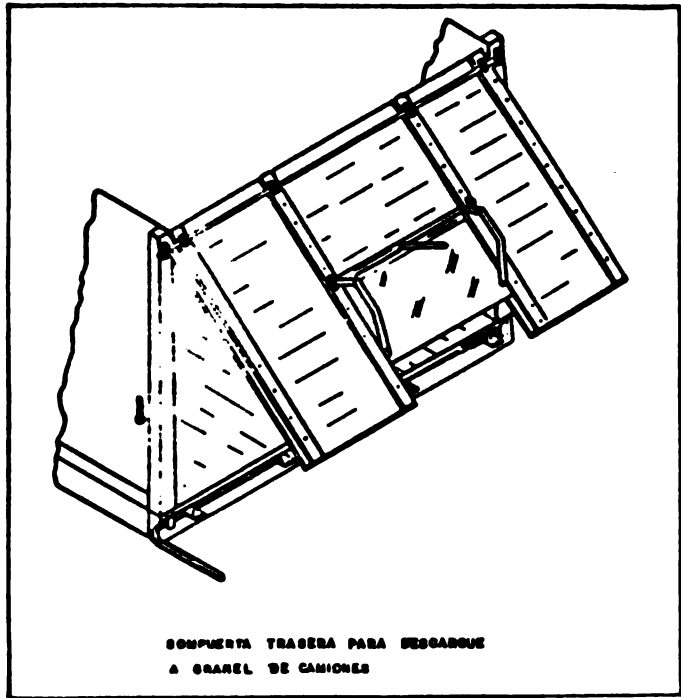
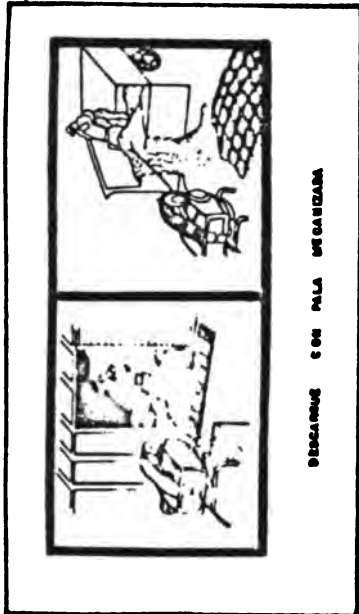
Las plataformas hidráulicas de suficiente longitud, permiten vaciar tractomulas de 15 ó 20 metros, pero su costo naturalmente es más elevado y tal vez en nuestro estado actual de desarrollo sólo circunstancias especiales pueden justificar su instalación.

Para recibo a granel de cantidades importantes de grano, con las implicaciones de estandarización, clasificación, pérdida de identidad que son indispensables, se debe estudiar cuidadosamente el tamaño de la tolva y la capacidad de los elevadores y transportadores de recibo. Es posible utilizar diferentes combinaciones de tamaños de elevador y tolva para recibir la misma cantidad de grano. El elevador proporciona una descarga constante de grano mientras la alimentación en la tolva es irregular de acuerdo con el arribo de los camiones; su tamaño debe ser adecuado para "absorber" las variaciones en la alimentación y retener suficiente grano para permitir una operación casi constante del elevador.

Es necesario, en consecuencia determinar la máxima capacidad diaria de recibo y conocer los diversos tamaños de camiones utilizados y el máximo tiempo de espera que puede darse a un camión.

La alternativa más conveniente será la que exija una menor inversión inicial. Normalmente una tolva de pequeña capacidad requiere un elevador de mayor tamaño que una grande. Varios estudios realizados en los Estados Unidos (3), (4), (5), (6) y (7) coinciden en afirmar que, el tamaño más económico de elevador, en condiciones normales, es el de capacidad más o menos igual a la cantidad promedio que se recibirá por hora, complementado con una tolva que permita almacenar la tercera o cuarta parte de la misma capacidad.

Para la selección definitiva del tamaño de la tolva se deben tener en cuenta, además de los anteriores, otros factores característicos del sitio como



la confiabilidad del suministro de corriente eléctrica. Si ésta falla con frecuencia, puede ser conveniente utilizar una tolva grande que además en caso de daño en los equipos permite efectuar reparaciones rápidas sin suspender el recibo. Esta combinación de tolva grande y elevador pequeño, permite absorber variaciones amplias en la llegada de camiones, característica especialmente importante cuando se limpia y seca grano que se recibe directamente de la tolva y no se dispone de silos para grano húmedo. En instalaciones privadas en Colombia se puede encontrar tolvas de 60 a 100 toneladas de capacidad, de las cuales se abastece directamente la secadora. Este sistema sin embargo dificulta el manejo de granos de tipos diferentes, a no ser que la tolva se encuentre subdividida en compartimientos independientes.

La localización de la zona de recibo, con relación a la báscula y demás instalaciones, es de mucha importancia: Debe permitir el tránsito fácil de los camiones, ubicándola a suficiente distancia de la báscula de camiones para permitir el parqueo de los mismos antes de su descarga y la fácil circulación de los vehículos vacíos para el pesaje de salida. Si es posible, los camiones cargados y vacíos deben circular hacia la báscula como se indica en la Figura No. 33.

Para recibo de grano a granel, en vagones de ferrocarril no provistos de tolva, pueden usarse palas mecanizadas del tipo ya descrito o cargadores pequeños, denominados "Bobcat" en los Estados Unidos, (Figura No. 34) fácilmente maniobrables en el reducido interior del vagón.

Para recibir grano transportado en buques, en las grandes instalaciones portuarias, preferentemente se utilizan sistemas neumáticos montados sobre torres móviles (Figura No. 35); equipos más pequeños, de características portátiles, se utilizan en algunas ocasiones para desocupar camiones, vagones de ferrocarril o pequeños buques. El sistema neumático permite el vaciado completo de vehículos difíciles de desocupar en otra forma, pero puede causar deterioro en los granos, quebraduras, y vendeduras, especialmente cuando se operan a capacidad inferior a la de diseño, pues se aumentan la velocidad del grano y los golpes que recibe.

El transporte neumático, además, es ineficiente considerando su consumo de energía; para transporte vertical por ejemplo necesita alrededor de 10 veces más energía que un elevador de cangilones de capacidad similar.

B. Control de Polvo en las Tolvas

Para evitar la dispersión en la atmósfera del polvo que inevitablemente se produce durante el vaciado de camiones, es muy frecuente en países de agroindustria más desarrollada, ubicar las tolvas en recintos cerrados, de suficiente tamaño, y dotados de sistemas de aspiración adecuados (Figura No. 36).

C. Transportadores

El transporte de granos en sentido horizontal, o con pequeñas inclinaciones, se hace principalmente con transportadores de tornillo sinfín, de banda y de arrastre.

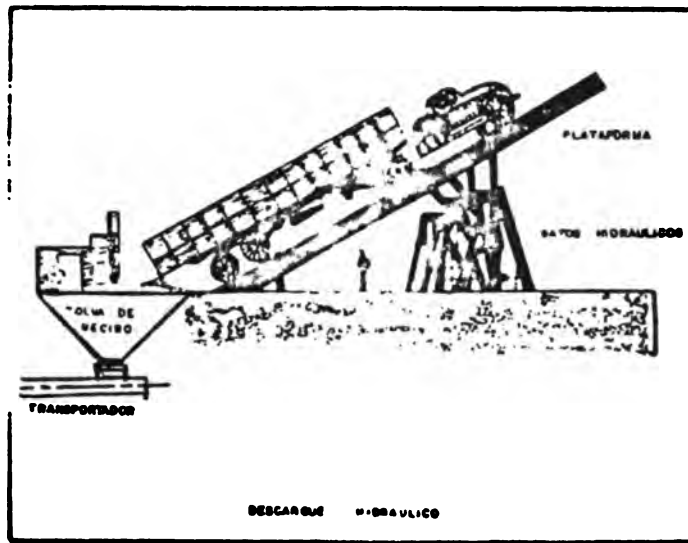


Figura No. 32

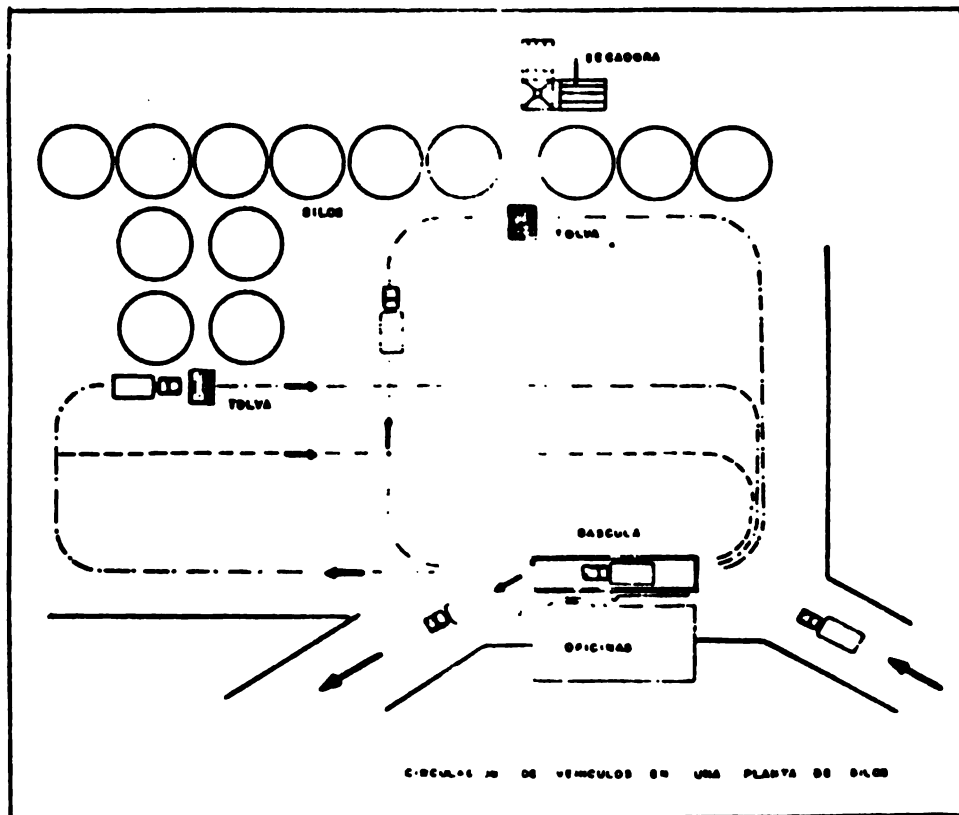


Figura No. 33

Para seleccionar el tipo de transportador más conveniente para una aplicación determinada se debe tener en cuenta:

(a) Tipo de grano; (b) Longitud de transporte; (c) Capacidad requerida; (d) Espacio disponible; (e) Importancia de evitar mezclas; (f) Cantidad y localización de puntos de cargue y descargue; (g) Facilidad de mantenimiento.

1. Tornillo sinfín (o de Arquímedes):

Uno de los mecanismos de transporte más antiguos. Apropiado para el transporte de toda clase de granos comerciales, pero de uso restringido en el manejo de semillas pues además de someterlas a un tratamiento brusco, es casi inevitable que después de finalizar un movimiento de grano, quede un pequeño remanente en el fondo de la canal que puede producir mezclas inaceptables en ciertos casos. La máxima longitud económica de un sinfín es de 40 o 45 metros, longitudes mayores necesitan ejes especiales para soportar los esfuerzos de torsión resultantes.

Aunque pueden construirse de casi cualquier capacidad, se aplican principalmente para manejar cantidades reducidas: 1-2 tons./hora y rara vez se usan para más de 60 u 80 tons./hora.

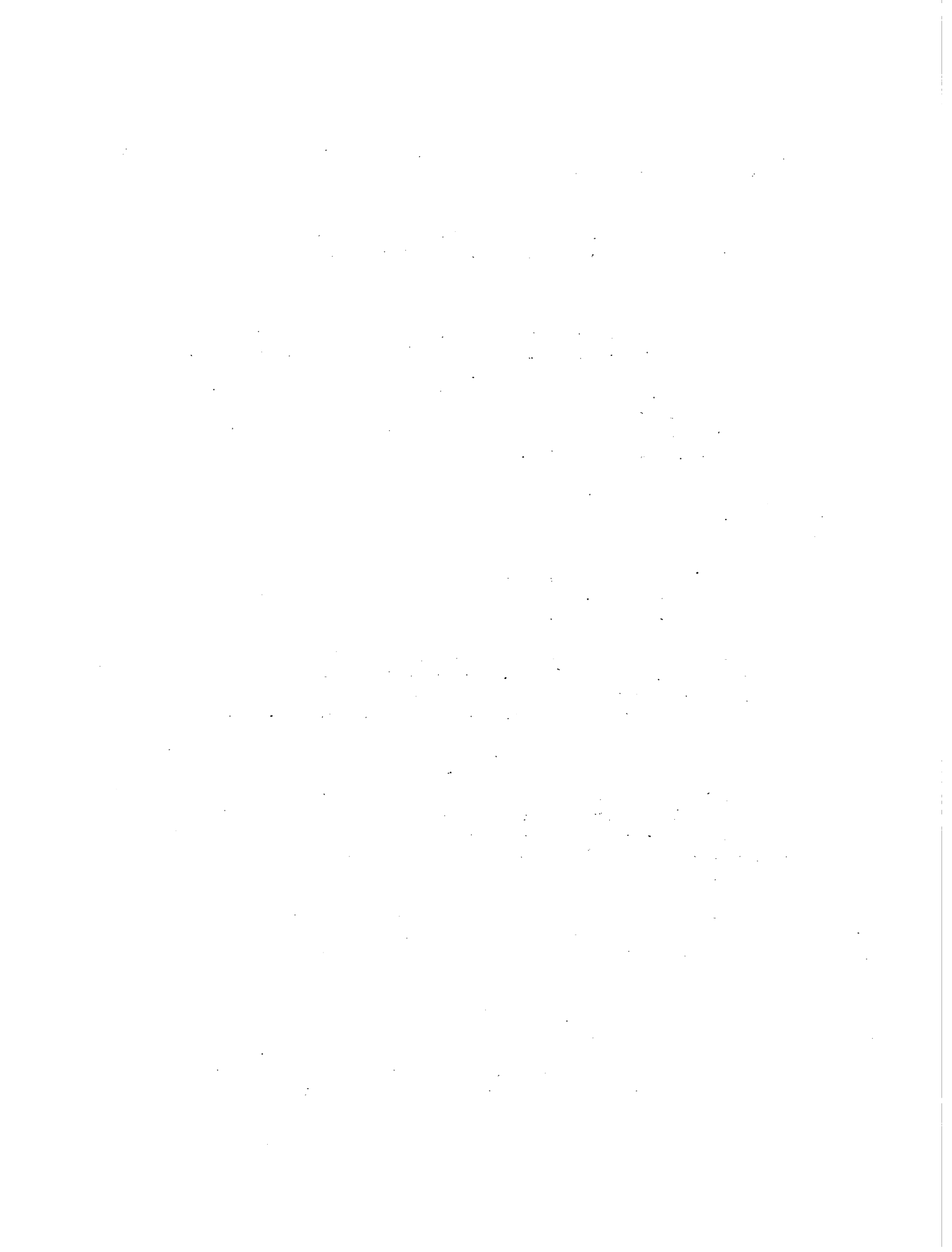
El cargue y descargue de producto en los sinfines se puede hacer en cualquier sitio, en forma económica y fácil de accionar, simplemente se instalan tubos provistos de compuertas (Figura No. 37).

Los transportadores sinfín ocupan muy poco espacio y es posible hacerlos herméticos al polvo y lluvia económicamente. Necesitan mayor mantenimiento que los transportadores de banda y de arrastre. Es necesario hacerles mantenimiento frecuente cuando transportan granos sucios y con cabuyas (usadas en el amarre de los sacos) pues estas tienden a enredarse en los ejes y producir atascos. Su servicio normal es muy simple, se reduce a mantener bien lubricados sus rodamientos, inspeccionar su estado y en caso necesario limpiar los residuos del fondo de la canal. Su consumo de energía es mayor que el de los transportadores de banda o de arrastre de la misma capacidad; sin embargo su costo, en tramos cortos de 20 a 30 mts. es considerablemente inferior a los de banda, pues no requiere sus costosas unidades de mando y tensoras. En relación a los transportadores de arrastre, el sinfín tiene un costo ligeramente inferior en unidades de más de 10 mts.

Los tamaños normalmente utilizados son los de 6", 9", 12" y 14" de diámetro (del sinfín), y cuyas capacidades con maíz, en tramos horizontales son respectivamente de 7, 24, 46 y 80 toneladas por hora, con velocidades de giro intermedias.

Para transporte de granos, generalmente la "hélice" tiene un "paso" igual a su diámetro (Figura No. 37). De ser posible la toma de fuerza debe estar situada en el extremo de descarga, de tal manera que su eje trabaje siempre en tensión; sin embargo cuando las circunstancias lo exigen, se puede accionar por el otro extremo; esta característica permite convertirlos fácilmente en transportadores reversibles.

No es conveniente llenar un sinfín con grano hasta cubrir su eje (50%), el efecto final es el de retardar el flujo del material y aumentar el consumo



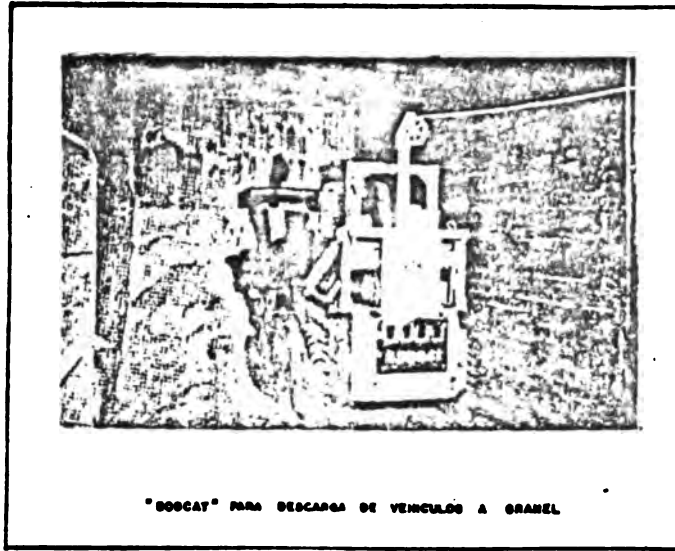


Figura No. 34

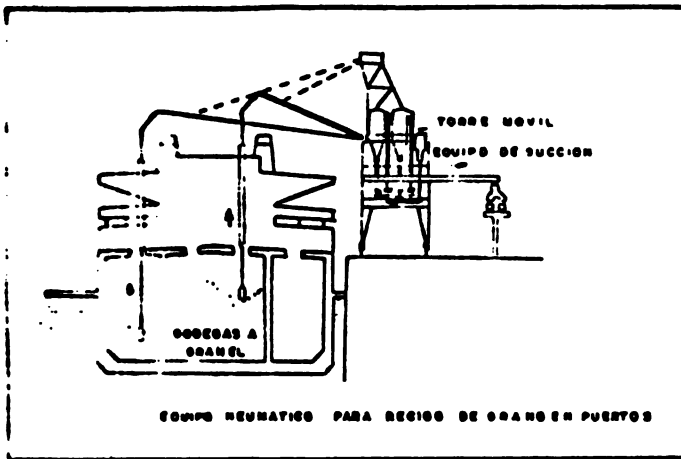


Figura No. 35

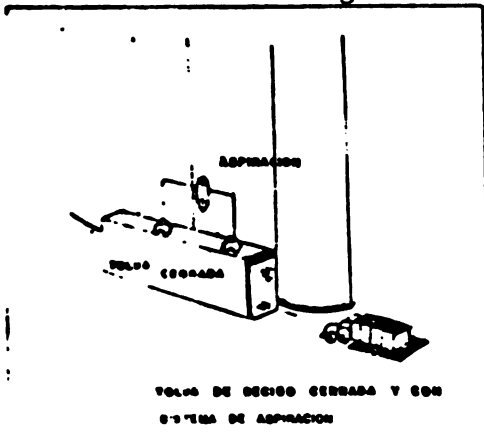


Figura No. 36

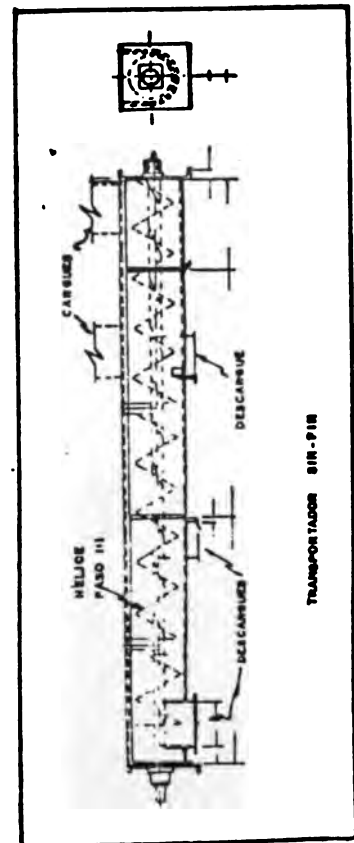
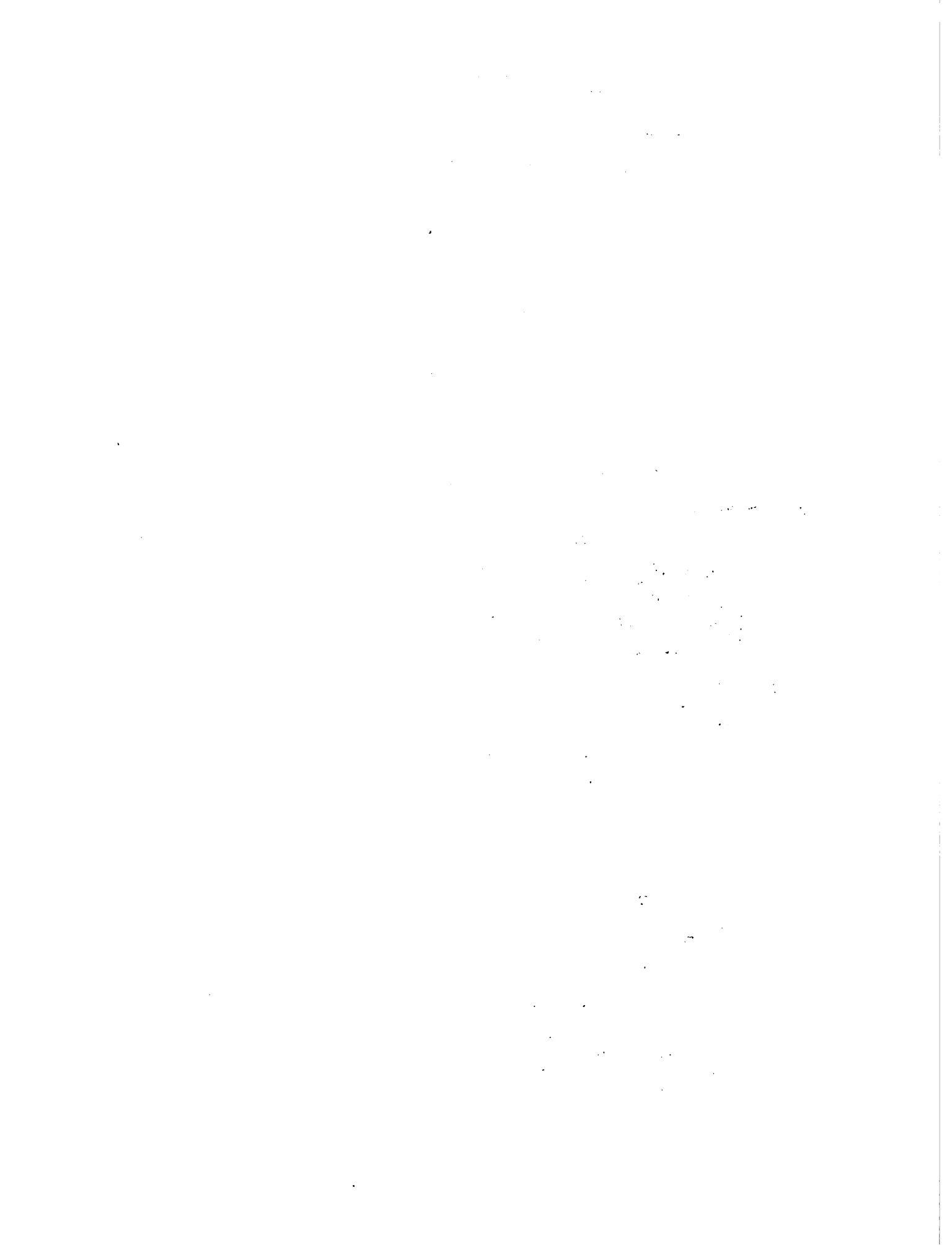


Figura No. 37



de energía desproporcionadamente, y se corre también el peligro de atascarlo y romperlo. Con granos se recomienda un llenado máximo de 45%.

Cuando sea necesario, es posible instalar sinfines de construcción normal, en tranos inclinados, teniendo presente que una inclinación de 15° reduce su capacidad de transporte a 75% de su capacidad horizontal y aumenta su consumo de energía en 25%. Si se inclina 25°, su capacidad disminuye a 50% y su consumo aumenta en otro 25%. Para inclinaciones mayores es preferible utilizar sinfines con caja tubular, del tipo "bazzoka".

El tamaño de los motores de accionamiento para sinfines, puede calcularse en forma aproximada, en la mayoría de los casos normales, utilizando fórmulas empíricas, como la siguiente:

$$HP = A \times C \text{ (sinfines horizontales)}$$

$$\text{donde } A = \frac{4.1 \times m^3/\text{hora} \times \text{long. (mts.)}}{1.000}$$

$$\begin{array}{ll} \text{y } C = 2.0 & \text{cuando } A = 1 \text{ ó menor} \\ & 1.5 \text{ cuando } A \text{ mayor a } 1 \text{ y menor que } 2 \\ & 1.25 \text{ cuando } A \text{ mayor a } 2 \text{ y menor que } 4 \\ & 1.1 \text{ cuando } A \text{ mayor a } 4 \text{ y menor que } 5 \\ & 1.0 \text{ cuando } A \text{ es mayor que } 5 \end{array}$$

En la Tabla No. 8, se resume la velocidad de giro y capacidad en m^3/hora correspondiente, de los diámetros más utilizados para transporte de granos.

Tabla No. 8 - Velocidad de Giro y Capacidad de Sinfines

Ø Sinfín	RPM	Capacidad (m^3/hora)
6"	165	10
9"	150	33
10"	150	47
12"	140	75
14"	130	112
16"	120	156

La potencia necesaria para sinfines inclinados, pede estimarse en la siguiente forma:

$$HP_{\text{(incl.)}} = HP_{\text{(horiz.)}} + \frac{\text{tons./hora} \times \text{altura (mts.)}}{100}$$

2. Transportadores de arrastre

Por medio de una cadena sinfin, provista de aletas y situada dentro de una caja de sección cuadrada o en "U", se hace un arrastre "en masa" del producto; la aleta, generalmente de poca altura y de material elástico en los transportadores de sección "U" y metálica en los de caja cuadrada, pone en movimiento la capa inferior de granos, sobre la cual se desplaza el resto de la masa.

Los transportadores de sección "U" (Figura No. 38) utilizan aletas flexibles que asientan directamente sobre el fondo del transportador haciendo un barrido completo. Las aletas deben construirse preferiblemente de "nylon" o algún otro material cuyo coeficiente de fricción con el acero sea bajo; debe evitarse el uso de aletas de caucho por su elevado consumo de energía. Los transportadores de caja cuadrada (Figura No. 39), se deslizan sobre una platina recambiable, colocada en el fondo de la caja; para barrer totalmente el grano se instalan unas cuantas aletas de material flexible.

Cuando transportan granos muy delicados, semillas, maíz muy seco, etc., los transportadores de arrastre pueden causar algunos daños, pero en el movimiento de granos comerciales su trabajo es satisfactorio en la mayoría de los casos. Su longitud puede llegar a ser, sin mayores dificultades de 50 a 90 mts., y aún mayor si se utilizan cadenas construidas con materiales especiales. Su capacidad puede ser de 150-200 toneladas/hora, pero en Colombia su principal aplicación se ha hecho para transportar 50 a 100 toneladas /hora; para mayor capacidad se prefiere utilizar transportadores de banda.

Los transportadores de arrastre ocupan poco espacio y pueden instalarse inclinados o formando curvas verticales suaves, característica muy útil en los diseños de ampliación de instalaciones existentes. El cargue y descargue de producto se puede hacer, como en los sinfines, en casi cualquier punto; para evitar sobrecargas deben instalarse válvulas de alimentación regulables en los puntos de cargue. En el extremo final del transportador es conveniente colocar una compuerta basculante que permita la fácil descarga de los granos remanentes, evitando atasques, rotura de aletas y sobrecarga del motor.

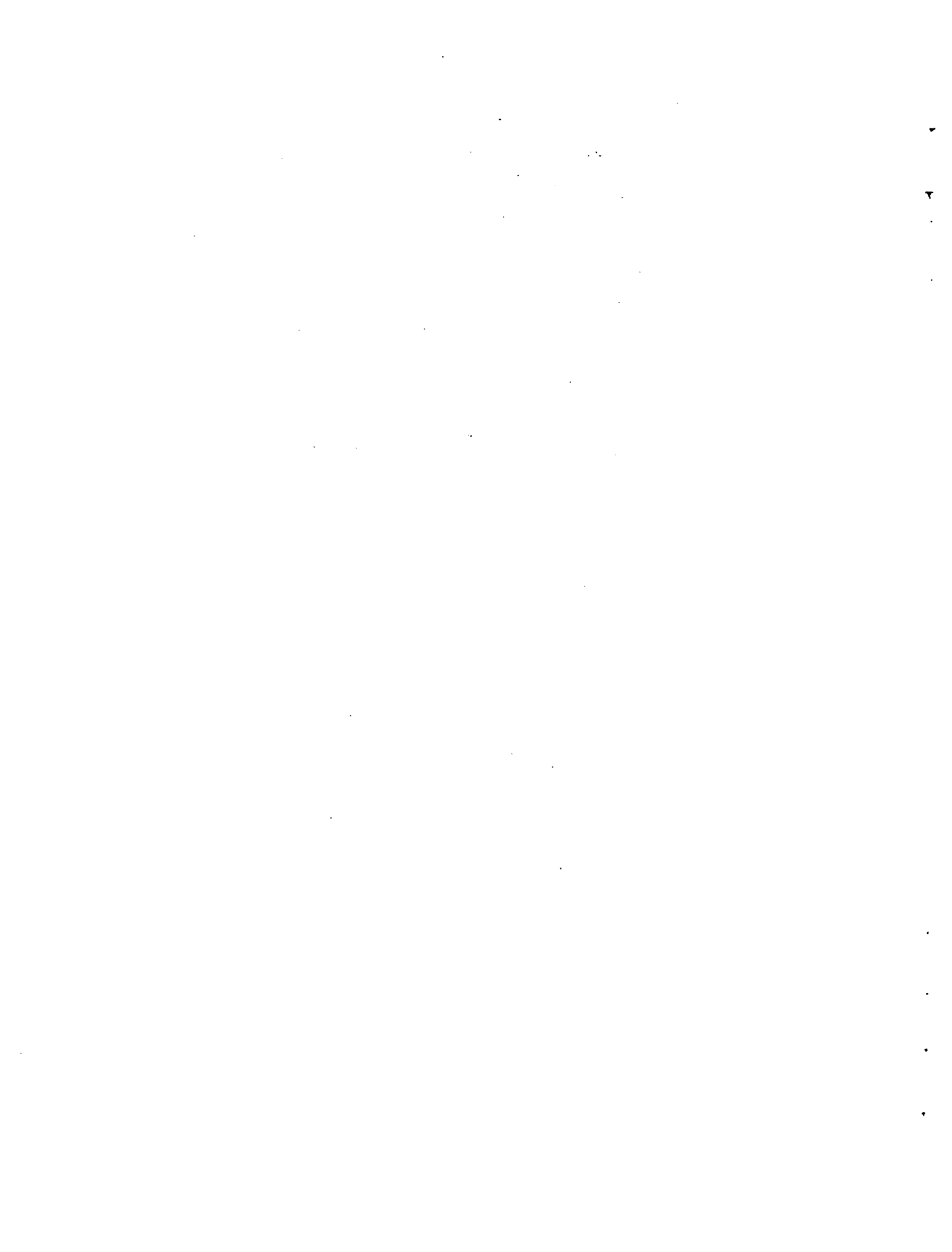
El consumo de energía en los transportadores de arrastre es inferior al de los sinfines, pero superior a los de banda.

Su mantenimiento debe ser un poco más cuidadoso que el de los sinfines e incluye comprobación de la tensión de la cadena, desgaste de aletas y de platina de fondo y cambio en caso necesario.

3. Transportadores de banda

Utilizan una banda sinfin que desliza sobre rodillos, su longitud puede ser muy grande, varios kilómetros. Los rodillos se instalan en sección "C" o "U" abiertas (Figura No. 40).

Los granos se depositan sobre la banda y son transportados sin sufrir golpes o desgaste; su capacidad puede ser superior a 500 ó 1000 toneladas/hora.



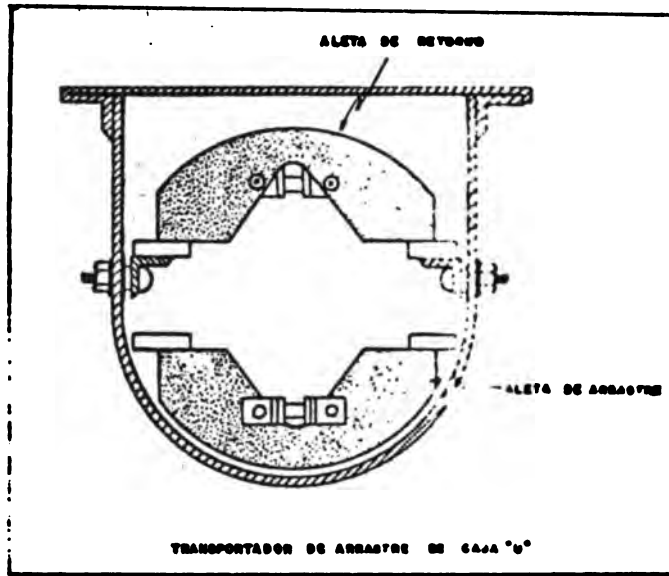


Figura No.38

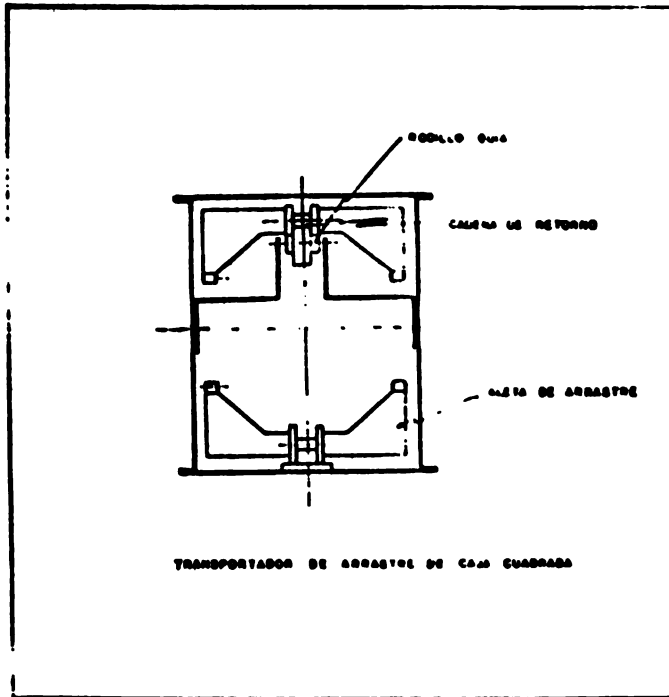


Figura No.39

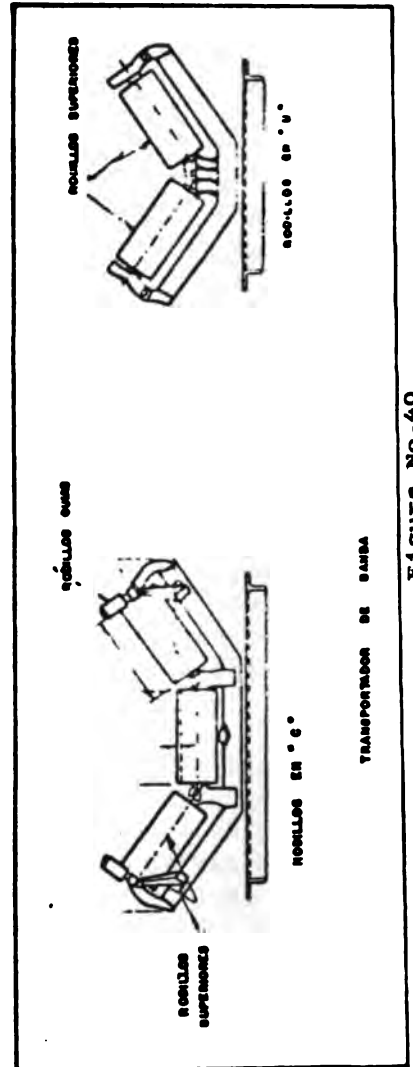


Figura No.40

El espacio que ocupan los transportadores de banda es mucho mayor, para una misma capacidad que el requerido por sinfines o transportadores de arrastre, y por consiguiente cubrirlos y hacerlos herméticos es más costoso. Sus mecanismos de cargue son más complicados pues deben permitir el llenado uniforme de la banda sin que se presenten derrames laterales; el descargue en el punto final se hace en forma sencilla (caída libre), pero los descargues intermedios no son tan fáciles. Para realizar una descarga total es necesario utilizar un carro móvil provisto de varias poleas, denominado "tripper" (Figura No. 41) que levanta la banda y permite el descargue lateral del grano. Con el fin de facilitar la movilización del "tripper" al punto de descarga deseado, éste debe montarse sobre unos rieles longitudinales, su avance puede hacerse con un motor individual o utilizando el movimiento de la misma banda.

Puede realizarse una descarga bastante efectiva, aunque no total, con un dispositivo más económico que utiliza un pequeño carrito, desplazable sobre rieles, que con un sistema de palancas levanta la banda y la coloca en forma plana, facilitando la desviación lateral del grano mediante una vertedera vertical provista de material flexible y recambiable en su base. Para mantener una adecuada tracción en la banda es indispensable que el transportador disponga de un sistema de tensionamiento apropiado. En longitudes cortas se usa generalmente tensor de tipo tornillo, mientras los tensores de gravedad se usan en los inclinados o de longitudes importantes (Figura No. 42). El tamaño del contrapeso y su ubicación debe determinarse con cuidado, para garantizar suficiente tracción en la banda y evitar patinaje, especialmente durante la puesta en marcha del equipo.

El costo inicial de transportadores de banda cortos (10-20 mts.), es bastante más elevado que los de sinfin o arrastre equivalentes, debido al mayor costo del sistema tensor; cuando las longitudes son mayores, el costo por unidad de longitud disminuye.

El mantenimiento de los transportadores de banda, especialmente si se utiliza rodillos autolubricados y tensores de gravedad, es muy sencillo y económico.

D. Elevadores de Cangilones

Equipo utilizado ampliamente para el transporte vertical de granos.

Una banda (o cadena) sinfin, provista de cangilones y normalmente encerrada en cajas metálicas, efectúa la elevación del grano. La velocidad de la banda y la forma de las cubetas permite la descarga centrífuga del grano de la boca de la "cabeza" del elevador (Figura No. 43). La velocidad lineal de la banda varía entre 60 y 150 metros por minuto según el tipo de cubeta y diámetro de la polea superior.

Dada la importancia de los elevadores en las plantas de manejo de granos, se describirán con algún detalle sus principales componentes: base, cabeza, piernas, banda, cangilones, etc. (Figura No. 44).



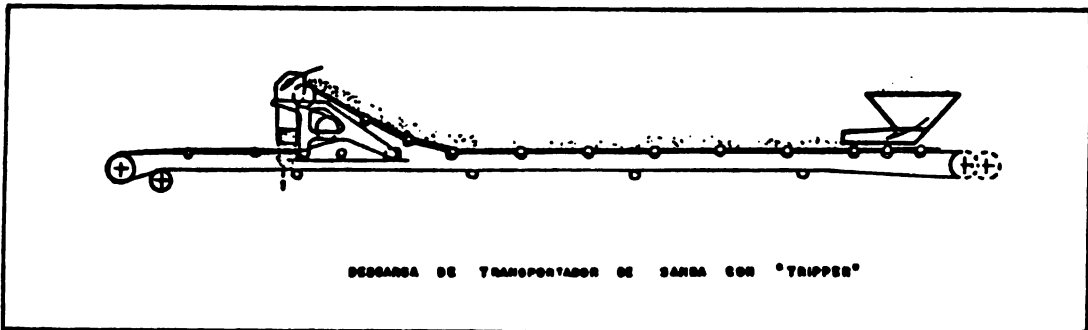


Figura No.41

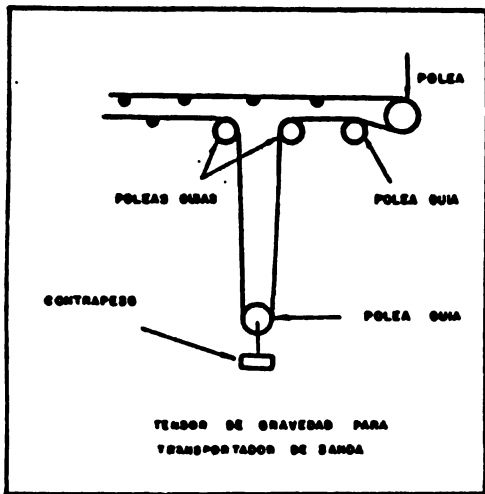


Figura No.42

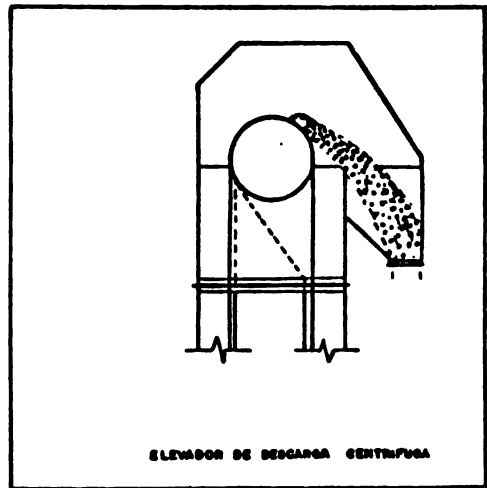


Figura No.43

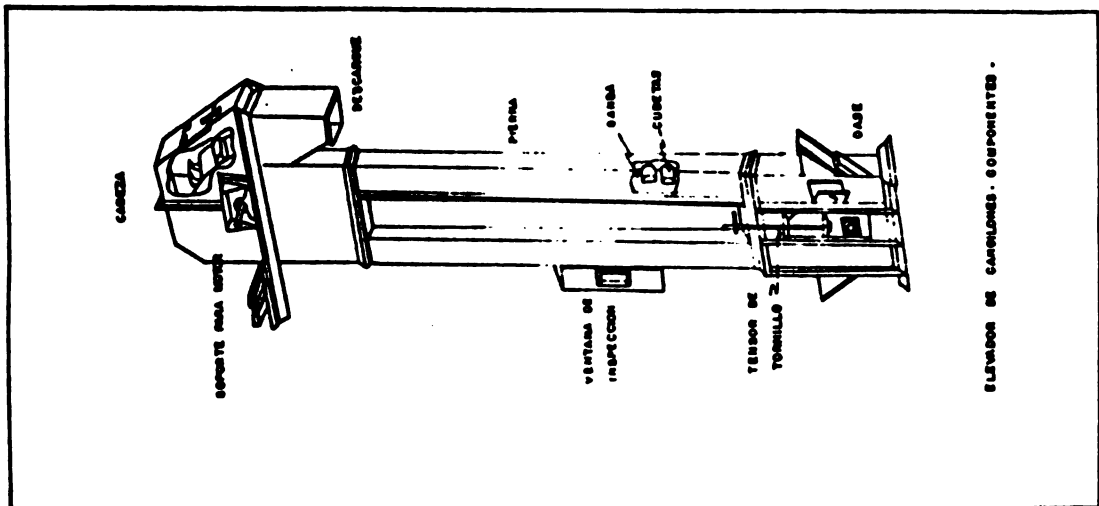


Figura No.44



1. Base

En los elevadores de tipo autosoportado, la base debe estar capacitada estructuralmente para recibir: el peso total del elevador del grano transportado y la vibración inherente a su funcionamiento. Debe disponer de compuertas de operación rápida (corredera) que permitan la remoción de residuos de granos o del producto acumulado durante un atasco. La polea de la base debe estar adecuadamente balanceada y disponer de tornillos que permitan tensionar y centrar la banda. El tensor manual (tornillo) se puede utilizar con buenos resultados en elevadores hasta de 80 ó 100 toneladas/hora, cuya altura máxima sea de 35-40 metros y se instalen en sitios donde la temperatura ambiente no varíe demasiado. Para elevadores de mayor capacidad y tamaño es preferible utilizar algún tipo de tensor automático, por ejemplo de gravedad, (Figura No. 45) que compense los elongamientos o contradicciones de la banda con los cambios de temperatura, y mantenga una tensión constante.

Es conveniente que la polea de la base tenga un ligero "abombamiento" que permita centrar más fácilmente la banda.

El cargue de los elevadores, generalmente puede hacerse por cualquiera de los dos lados, si bien el cargue directo a la cubeta (por el lado de la pierna ascendente) permite un mejor llenado y mayor capacidad.

2. Cabeza

Soporta la polea de mando y el peso total de la banda, cangilones y grano. La polea transmite el movimiento del motor por fricción a la banda. En elevadores altos con el fin de conseguir una mejor tracción se puede recubrir la polea con algún material apropiado ("lagging"). Este recubrimiento en caso de atasco del elevador, provoca rápidamente una sobrecarga del motor y la consiguiente acción del protector térmico que desconecta el motor, evitando el calentamiento de la banda por patinaje. Naturalmente es indispensable que, el protector térmico se encuentre en buenas condiciones y adecuadamente graduado. Si se accionan varios elevadores con un solo motoreductor no es conveniente recubrir las poleas, pues la sobrecarga de uno de ellos, puede no ser suficiente para accionar el protector del motor y se aumenta el peligro de daños en la banda e incendios.

En los elevadores altos (más de 15 mts.) es recomendable la instalación de un dispositivo que, impida el retroceso de la rama cargada de la banda en caso de una falla de la corriente eléctrica; el retroceso produce atascos, que es necesario remover antes de reiniciar la operación, para evitar roturas de los cangilones y aún de la banda. Un simple mecanismo de trinquete o motoreductores con freno interno solucionan el problema.

Para evitar la acumulación de desperdicios y grano, susceptible de infestarse de bajo de la polea, es necesario colocar una superficie inclinada, según se aprecia en la Figura No. 47.

Durante la descarga de las cubetas, parte del grano puede golpear con alguna fuerza la parte frontal de la cabeza y sufrir daños, es conveniente recubrir este punto con algún material elástico, banda, caucho... o unas pequeñas aletas

inclinadas que permitan la acumulación de un pequeño remanente de grano que amotigue el golpe.

Para facilitar el mantenimiento y revisión, la cabeza debe contar con una ventana de inspección de tamaño adecuado.

La descarga debe iniciarse en un nivel inferior al eje de la polea, para que reciba los últimos productos en dejar la cubeta y disminuya el retorno de grano por la pierna descendente. Un deflector de material flexible convenientemente ubicado puede contribuir a disminuir el retorno (Figura No. 47), cuyos efectos son perjudiciales, pues además de disminuir la capacidad efectiva del elevador, aumenta el deterioro de los granos y la formación de polvo, susceptible de explotar violentamente en algunas circunstancias.

3. Cubetas

Pueden ser de varios tipos y características, según el tipo de trabajo. En la Figura No. 48, se ilustran los principales. Las dimensiones más importantes son la línea de máxima capacidad y la proyección horizontal. La primera indica el máximo nivel hasta el cual podría llenarse la cubeta, su ángulo con la horizontal corresponde al de reposo del grano (Tabla No. 9) (8). El nivel máximo de llenado sólo se puede conseguir en condiciones ideales de trabajo y cargando los elevadores por su rama ascendente. El cálculo de la máxima capacidad se hace considerando un factor de llenado de 85% - 90% con granos, y de 75% - 80% con productos molidos.

Tabla No. 9 - Angulo de Reposo de Granos Secos

Grano	Ángulos de Reposo
Mafz	26° a 29°
Arroz	24° a 26°

La velocidad de giro de la polea del elevador puede calcularse, en forma teórica, determinando la velocidad a la cual, la fuerza centrífuga iguala el peso del grano dentro de la cubeta, cuando ésta se encuentra en su posición vertical, momento en el cual, teóricamente, el grano se encontraría en equilibrio (Figura No. 49).

Las cubetas de tipo 1 y 3 (Figura No. 48) se utilizan con una velocidad equivalente a 80% ó 90% de la velocidad teórica, mientras las cubetas "rápidas" tipo 2 y 4, permiten la utilización de velocidades que pueden aún doblar la teórica, dada su forma geométrica que facilita la descarga; sin embargo con la mayor velocidad, el grano sufre mayores golpes y deterioro y su descarga no se presenta en forma concentrada y cercana a la polea, sino dispersa y alejada, haciendo necesario el uso de una cabeza de mayores dimensiones. Para calcular la velocidad teórica (Figura No. 49)

P = paso del grano, Fc = fuerza centrífuga,

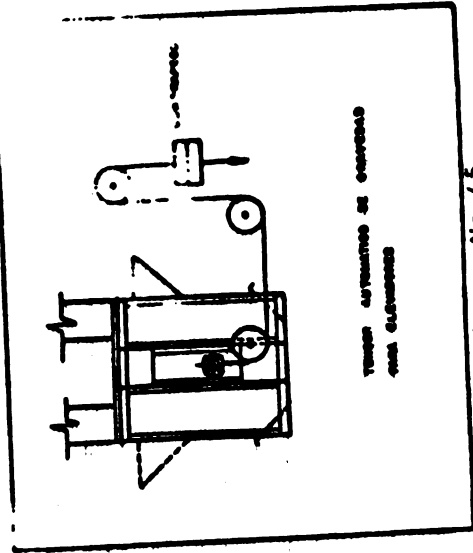


Figura No.45

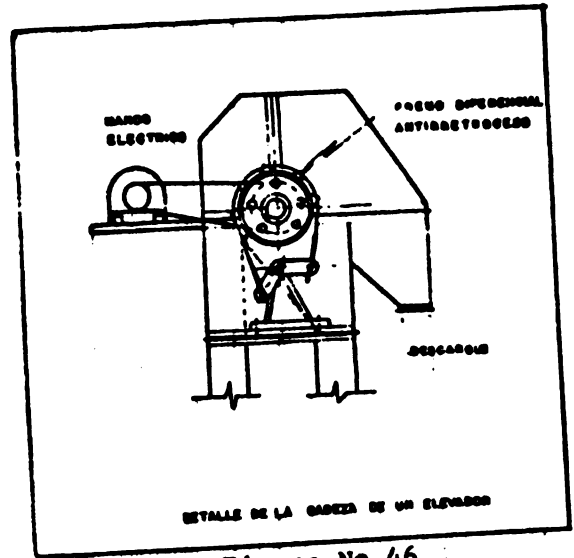


Figura No.46

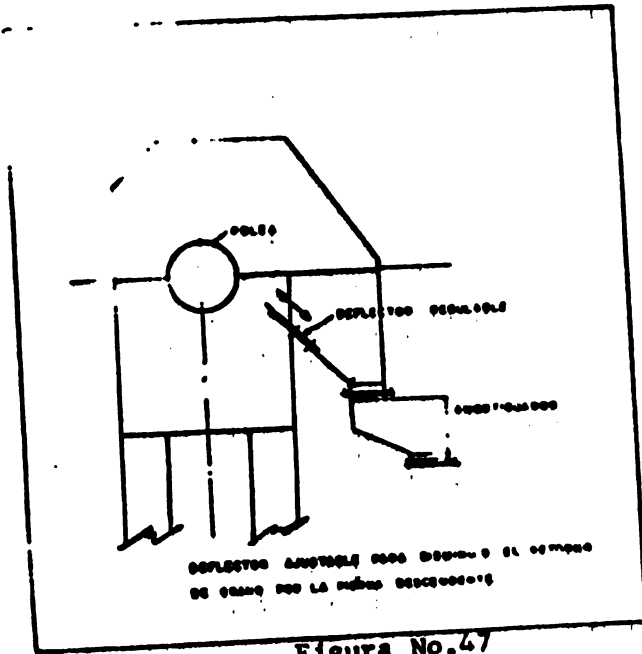


Figura No.47

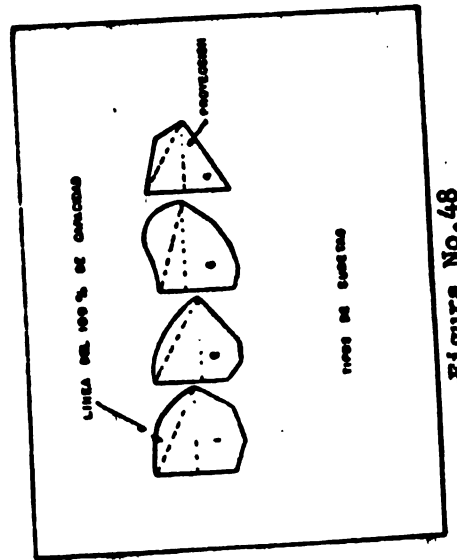
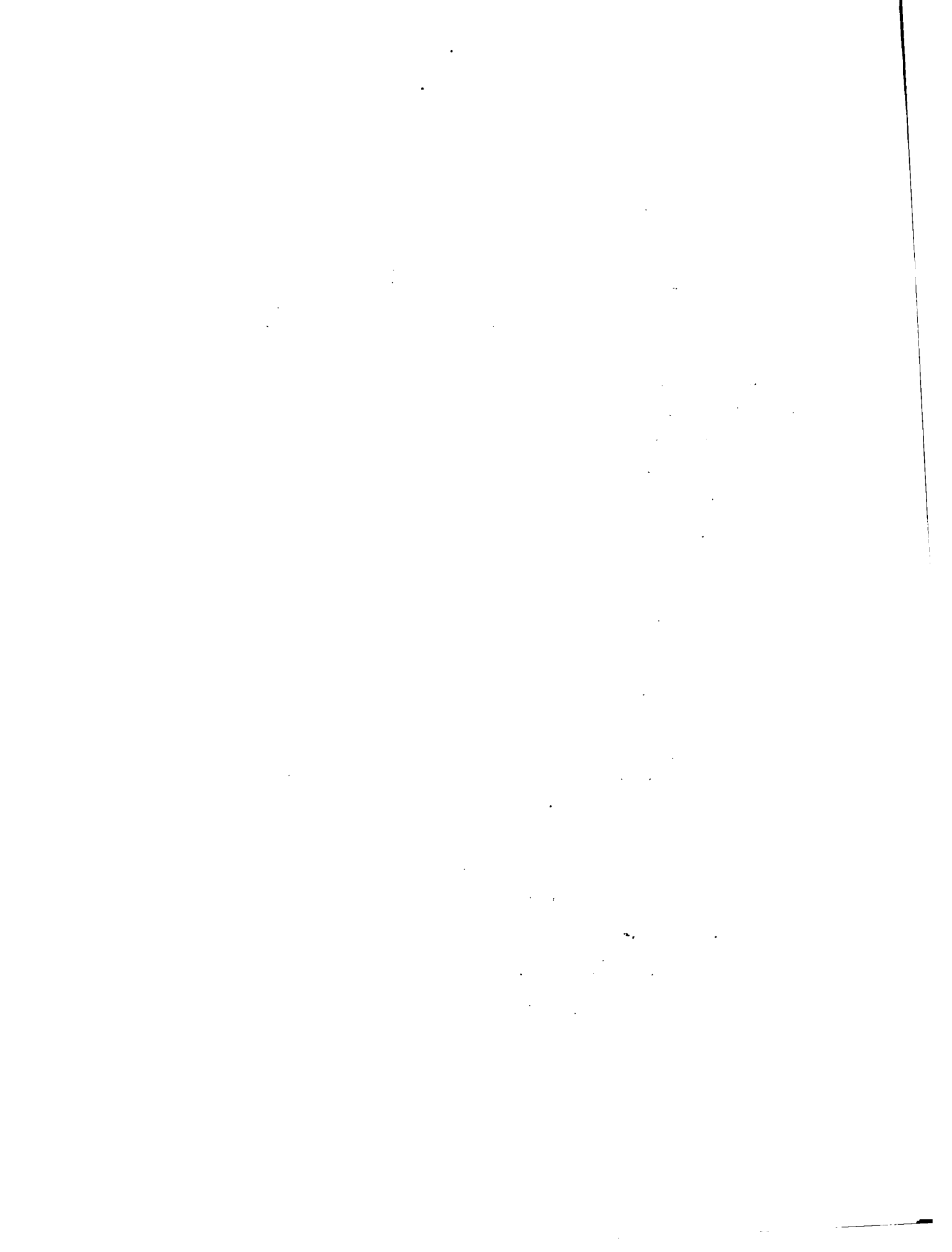


Figura No.48



R = distancia del centro de la polea hasta el centro de gravedad del grano dentro de la cubeta (en cubetas 1 y 3 aproximadamente la mitad de la proyección horizontal).

$$F_c = \frac{P V^2}{gR} \quad \text{donde:} \quad V = \text{velocidad} \\ g = \text{aceleración de la gravedad}$$

de donde puede deducirse en unidades inglesas que $RPM = \frac{54.2}{R}$

Para conseguir la mayor capacidad en un elevador determinado, se acostumbra utilizar velocidad relativamente alta y una separación reducida entre cubetas; para evitar interferencias en la descarga de grano de dos cubetas adyacentes, se recomienda colocar las cubetas separadas en una distancia igual, por lo menos, a la proyección horizontal más 5 cms.

La construcción definitiva de las cubetas varía apreciablemente de acuerdo con el fabricante, pero en general todos los diseños de cubetas "rápidas" tratan de prevenir la descarga prematura y asegurar el vaciado completo.

4. Banda:

En la elevación de granos se utilizan diferentes tipos de bandas: de algodón tejido y protegido contra la humedad, de lonas de algodón recubiertas con caucho, de lonas reforzadas con cuerdas de nylon o acero, etc. Cualquier tipo de banda utilizado debe reunir las siguientes condiciones principales:

- a. Resistencia a la tensión: debe soportar con adecuado margen de seguridad la máxima tensión que puede presentarse, incluyendo los efectos de peso propio, peso de cubetas, peso de grano, impacto en el momento de la arrancada.
- b. Resistencia al cizallamiento: Suficiente para evitar que la tracción, que en los tornillos ejercen el paso de la cubeta, del grano y la carga del impacto, la desprenda de la banda.
- c. Estiramiento: Especialmente en elevadores altos, es importante que su estiramiento bajo carga sea reducido, para evitar demasiados ajustes en los tornillos de tensionamiento y recortes en caso necesario.
- d. Protección contra la humedad: bien sea con recubrimiento de caucho o algún otro sistema que impida la entrada de humedad especialmente por los bordes. Las bandas deberán tener un ancho superior en 2.5 cms. a la cubeta, para ofrecer adecuada protección si se descentra o roza contra las paredes de las piernas, y su ancho debería ser 5 cms. menor que el de la polea de mando.

-Tornillos para cubetas. Para que la superficie interna de la banda resulte plana después de colocar en su lugar los tornillos y facilitar además su colocación, deben ser de cabeza plana, ancha y provista de dientes que los "anclen" a la banda.

-Uniones de la banda. Aunque existen muchas formas de hacer los empalmes: caimanes metálicos, etc., tal vez el método más sencillo sea el traslappe, ilustrado en la Figura No. 50. Los tornillos utilizados deben ser de longitud suficiente para asegurar las dos secciones de banda y la cubeta.

5. Piernas

Además de tener dimensiones amplias para alojar las cubetas y la banda, las piernas necesitan varias ventanillas de inspección con vidrio, que permitan además el cambio de las cubetas y la frecuente asegurada de tornillos. Se requiere también una sección de pierna desarmable en su parte trasera, para realizar el recorte de las bandas cuando su estiramiento sea excesivo. Si el elevador es del tipo autosoportado, las piernas, los amarres entre ellas, los templetos de montaje, y los tornillos de anclaje a la cimentación deben calcularse para soportar además del peso propio, las fuerzas de los vientos y los posibles movimientos sísmicos; los destrozos que puede causar la caída de un elevador de gran altura pueden ser muy grandes, como se ve en la fotografía de la Figura No. 51, que el autor tomó en un país Centroamericano.

6. Accesorios

Dependiendo de la ubicación del elevador, puede ser necesario instalar plataformas que permitan realizar en forma fácil la atención a los mandos y a la cabeza del elevador (Figura No. 52); el acceso a la plataforma debe hacerse por una escalera convenientemente protegida (guardacuerpo o "quitamiedo").

En algunos sitios y en elevadores muy importantes, se instala un sistema automático de control de velocidad que detecta cualquier reducción en la velocidad de la polea del elevador, indicativo de patinaje o atasque, y puede accionar una alarma o desconectar el motor. Igualmente en elevadores grandes en ocasiones se instala en la cabeza un termostato que indica recalentamientos.

7. Potencia

Es posible calcular en forma rápida el tamaño del motor para un elevador de canchales, utilizando la siguiente fórmula empírica:

$$HP = \frac{H \times Q}{160}$$

donde HP = potencia del motor; H = altura en elevación en metros; Q = toneladas por hora que moverá el elevador.

El resultado de la aplicación de esta fórmula puede utilizarse únicamente como guía; especialmente cuando se trata de elevadores grandes es necesario efectuar cálculos más detallados.

8. Prelimpiadoras

La prelimpieza que se realiza con anterioridad al secamiento y almacenamiento, tiene por objeto principal remover las impurezas grandes, algo de grano

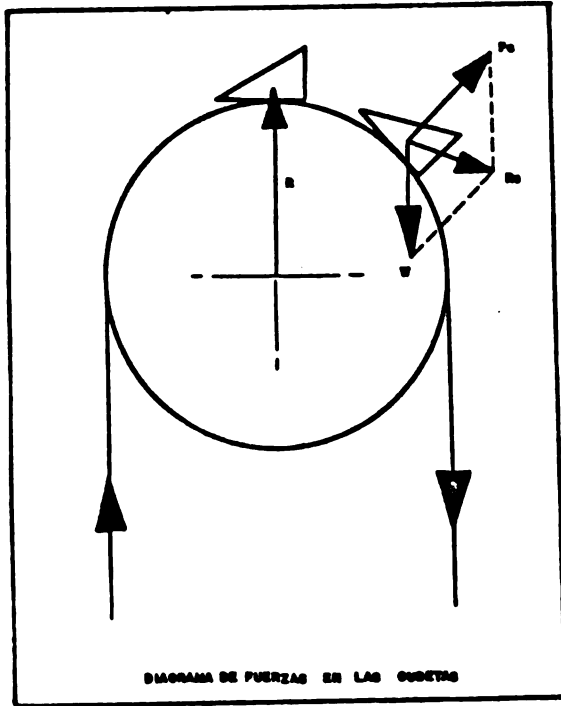
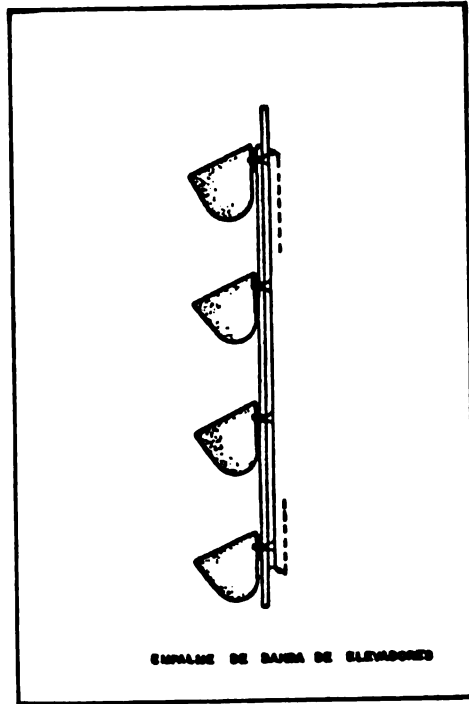


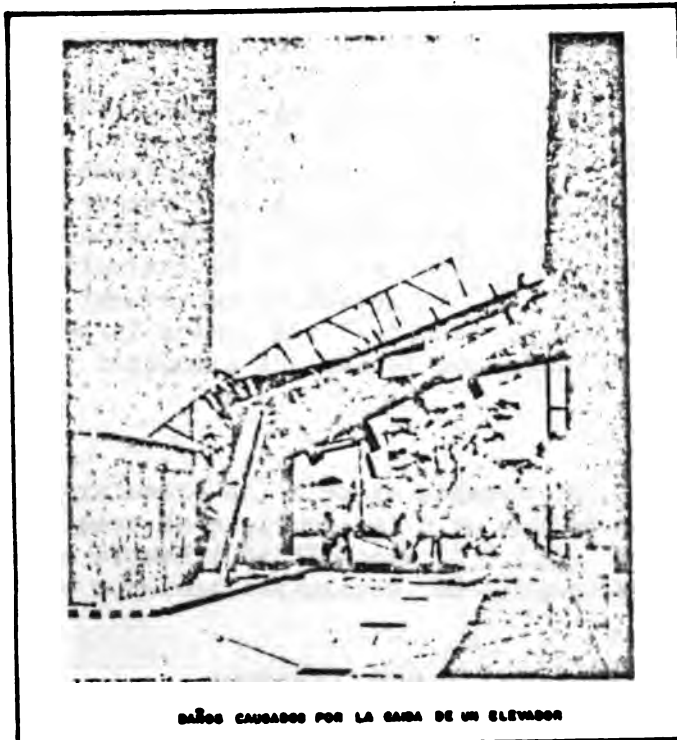
DIAGRAMA DE FUERZAS EN LAS CUBETAS

Figura No.49



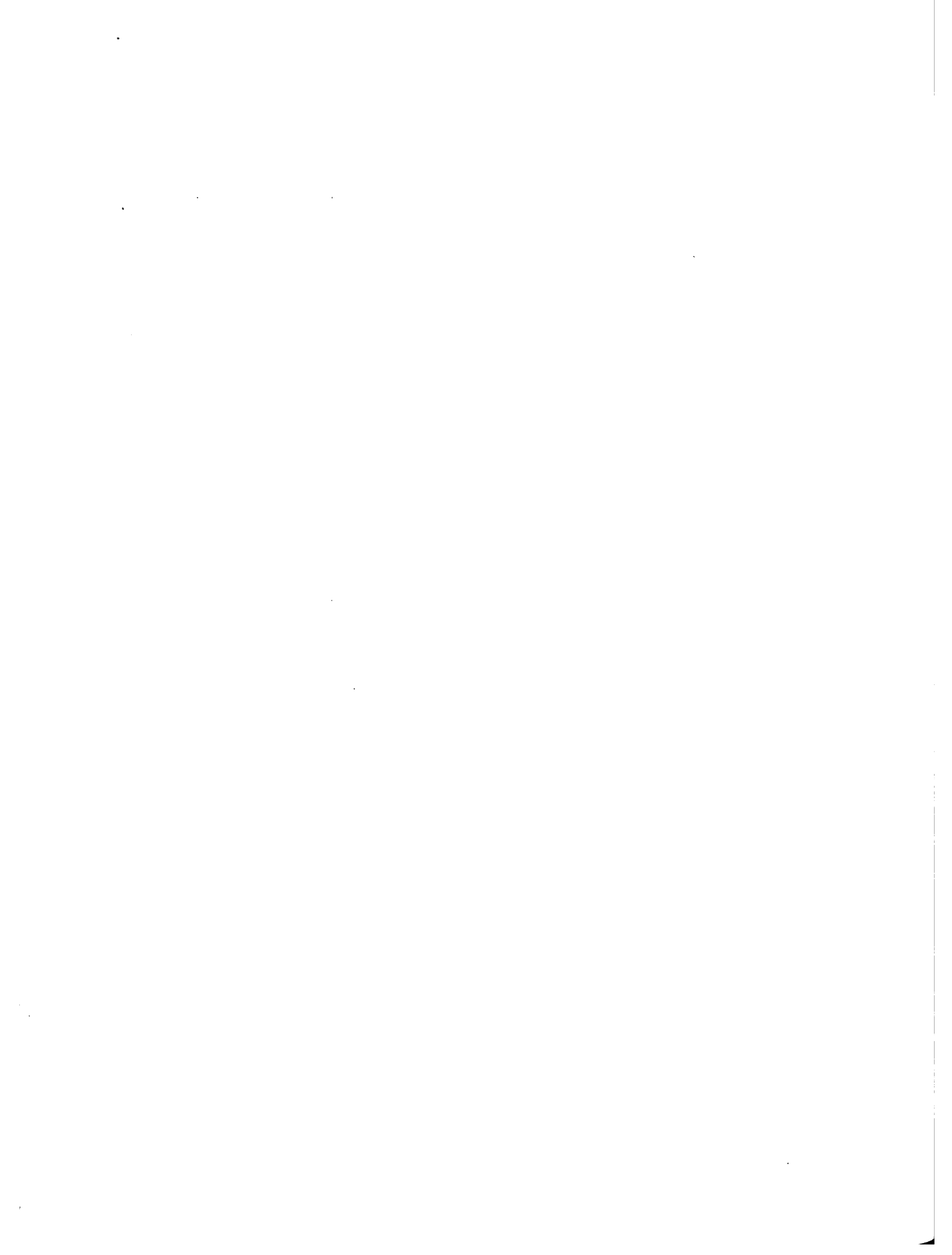
ENLACE DE BARRA DE ELEVADORES

Figura No.50



DAÑOS CAUSADOS POR LA BARRA DE UN ELEVADOR

Figura No.51



partido, de polvo e impurezas livianas; como generalmente la prelimpieza se efectúa "en líneas" con el recibo de grano, es necesario que su capacidad sea suficiente para que no afecte la velocidad de recibo.

Un emparrillado sobre la tolva de recepción es el sistema más simple de prelimpieza y permite separar materias extrañas de tamaño grande, piedras, etc., que pueden causar deterioros en los equipos; para hacer una separación un poco más efectiva con frecuencia se colocan sobre las parrillas "mallas" del tipo utilizado en la construcción de jaulas para gallina, con aberturas de 2.5 x 2.5 cms.; normalmente es necesario extender con la ayuda de rastrillos el grano sobre la malla, operación que al mismo tiempo permite remover las cabuyas e impurezas retenidas.

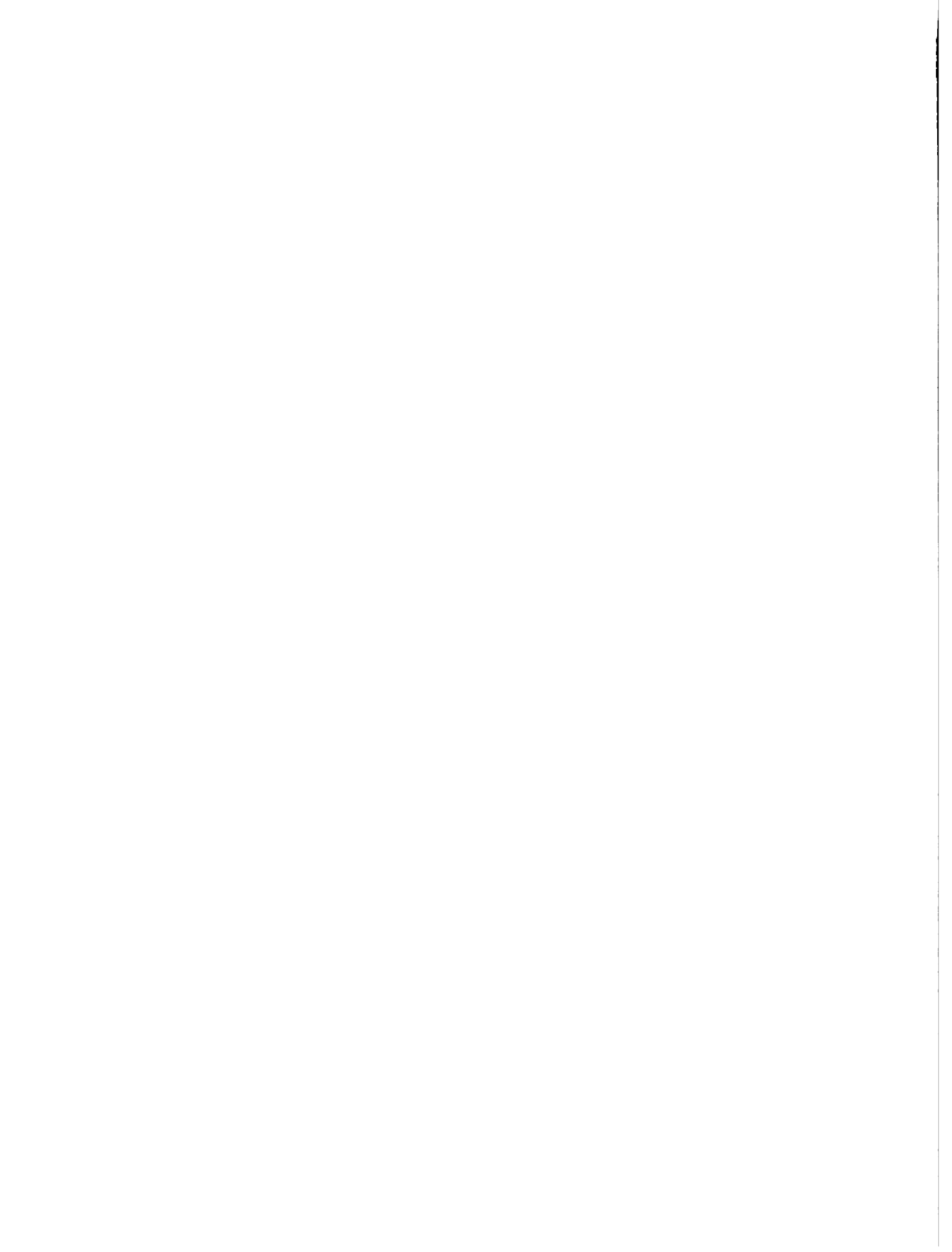
La prelimpieza mecanizada de grano, generalmente se hace con máquinas de malla de alambre, en forma de cilindro o de malla sinfin, que se combina con una corriente de aire graduable para "aspirar" el grano. El "scalperator" de Carter y la "Atlas" de EMC son representativas de este tipo de prelimpiadoras. El "scalperator" máquina de la cual existen múltiples versiones, pero desarrollada originalmente por "Carter" cerca a 1920 (9), se ilustra en la Figura No. 53, consiste esencialmente de una jaula de alambre, con un tejido de diferente separación según el tipo de grano, que tiene en su interior unos deflectores curvos; el grano atraviesa la malla, que retiene en su exterior la paja y materiales gruesos, los deflectores retardan el flujo de grano y mejoran la limpieza, las impurezas son descargadas en una segunda jaula que recupera parte de los granos que pueda haber rechazado la primera. Antes de su descarga el grano se aspira mediante una corriente de aire graduable que permite separar impurezas livianas, polvo y grano vano. La máquina Atlas (Figura No. 54) utiliza una malla de tipo sinfin; el grano la atraviesa y las impurezas retenidas en su exterior, son transportadas por la banda hasta el otro extremo donde se descargan. El grano en su salida se somete a una fuerte corriente de aspiración regulable, la decantación del polvo y grano vano se hace con ciclones externos.

Normalmente la capacidad de las prelimpiadoras fabricadas en los Estados Unidos y Europa, se afora con granos de fácil flujo, como maíz o trigo y cuyo contenido de impurezas no es demasiado elevado (4% - 5%). Es necesario tener en cuenta que cuando una prelimpiadora trabaja con arroz húmedo y relativamente sucio, su capacidad se disminuye enormemente. Una máquina aforada para 50 toneladas por hora de maíz, escasamente limpiará 10 ó 15 toneladas por hora de arroz; tal fue el caso de las prelimpiadoras importadas de Europa por el IDEMA en Colombia en 1972. La presencia de cabuyas en el grano, muy frecuente en América tropical, o de granos exageradamente sucios, dificulta aún más el funcionamiento de las máquinas.

9. Limpiadoras

Son máquinas generalmente del tipo de zaranda oscilante; se utilizan con frecuencia después de un paso de prelimpieza, y su misión, en estos casos, es reducir las impurezas desde un promedio de 3% hasta 1% ó 1.5%, aunque pueden usarse con buenos resultados como máquinas receptoras, en sitios donde el grano no se presente demasiado sucio.

Como sucede en las prelimpiadoras, el área de cribado y por consiguiente su tamaño, debe ser muy grande para trabajar con arroz húmedo. En la fotografía



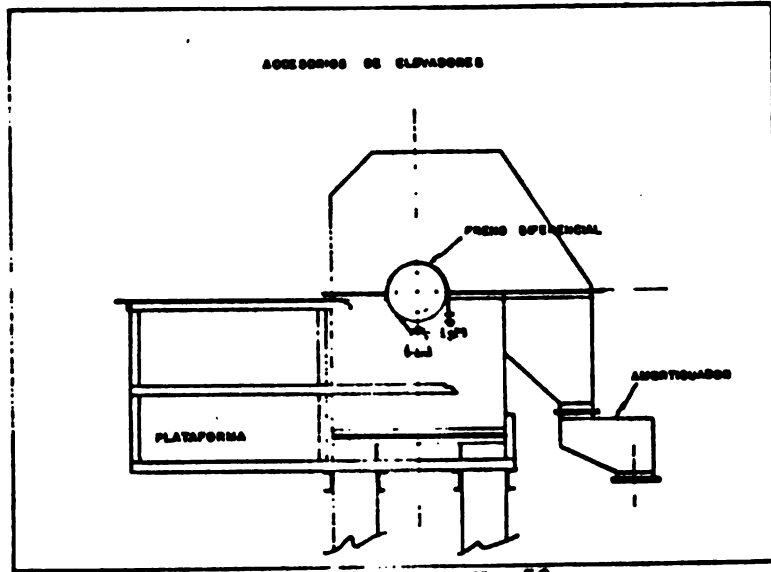


Figura No.52

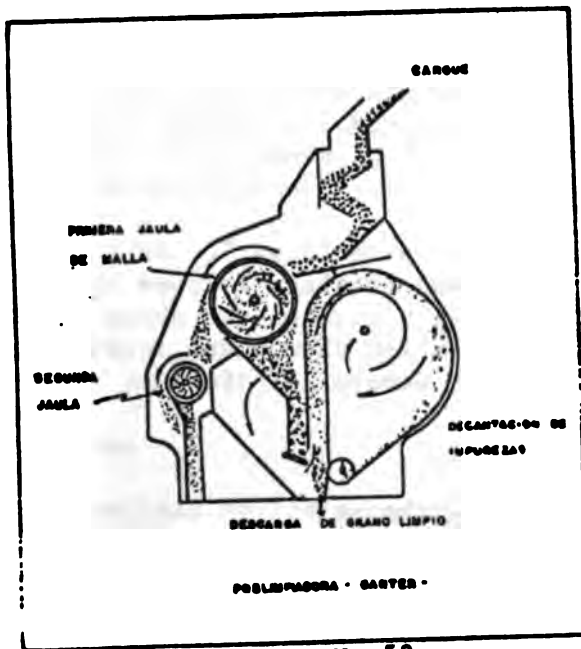


Figura No.53

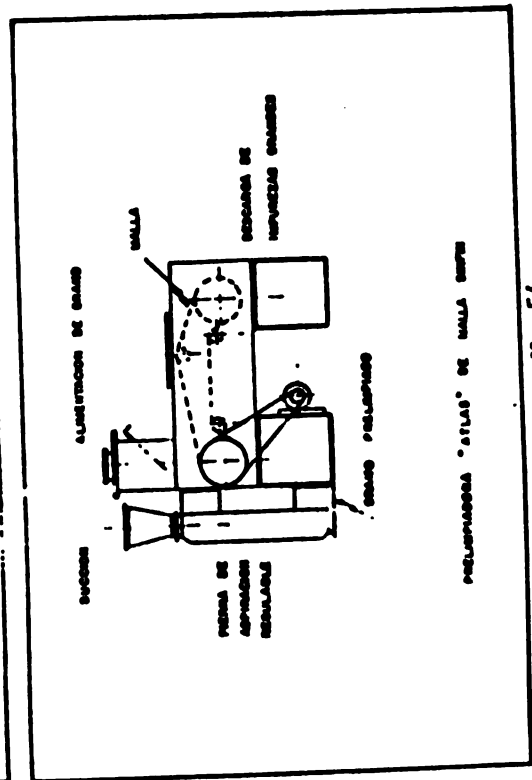


Figura No.54

ilustrada en la Figura No. 55 se aprecia el tamaño de dos máquinas de zarandas que limpian arroz húmedo, a razón de 50 toneladas/hora, en una instalación colombiana.

En la Figura No. 56 se aprecian las partes principales de una limpiadora de zarandas: un sistema de alimentación (A) de placa o rodillo reparte el grano sobre una criba receptora con perforaciones grandes (B), que retiene las impurezas y permite el paso del grano a la criba principal (C), de perforaciones más finas, que permite el paso de grano y retiene impurezas menores. El grano cae sobre la segunda criba principal (D) cuyas perforaciones aún más finas retienen el grano y permiten el paso de semillas pequeñas, arena, etc.

En la entrada y salida de grano, corrientes regulables de aire (E-F) separan el grano vano, impurezas livianas, etc., cuya parte más pesada se decanta en cámaras internas (G) y el resto en ciclones externos (H); un mecanismo de biela, u otro tipo, proporciona un movimiento oscilante continuo a las zarandas.

Para mantener limpias las perforaciones de las cribas, algunas máquinas utilizan cepillos móviles o bolas de caucho que rebotan entre la criba y una malla interior abierta.

En el libro "Technology of Grain Processing and Provender milling" Capítulo II traducido del Ruso (10) se explican en forma bastante completa los principios científicos de la limpieza de granos por cribado y aspiración (el lector no familiarizado con la literatura técnica rusa, se sorprenderá al encontrar que, de acuerdo con los autores, prácticamente todas las máquinas modernas de limpieza y molienda de granos, son inventos de técnicos y científicos rusos).

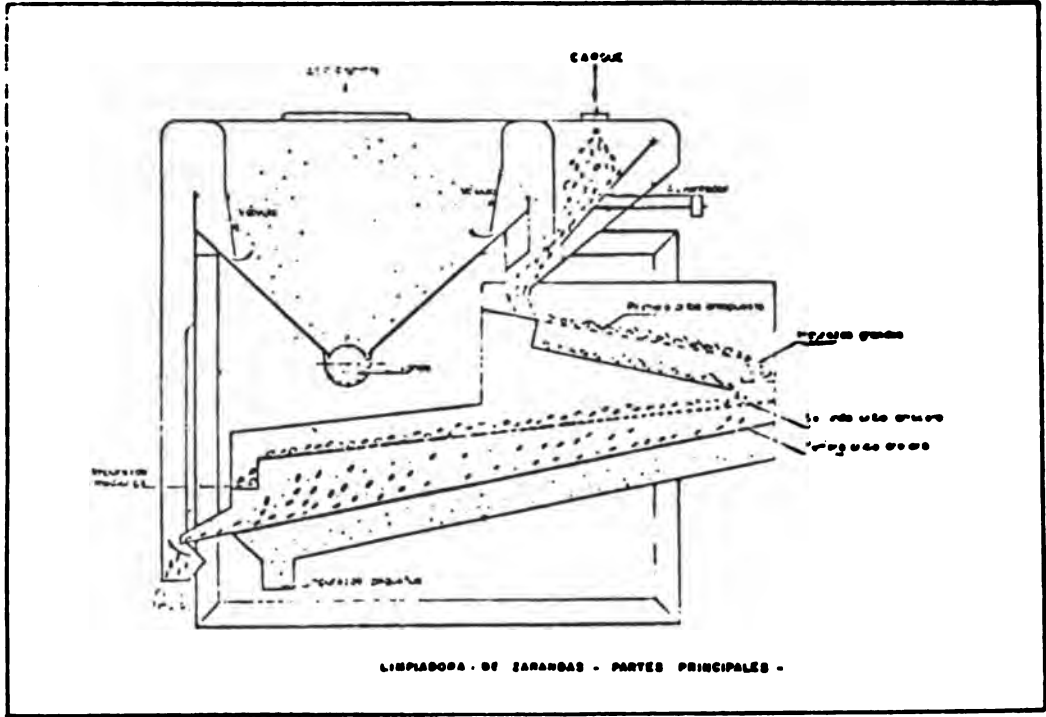
Las instalaciones de limpieza de granos de alguna importancia, es conveniente sean complementadas con la instalación de imanes, de tipo permanente o eléctricos que separen piezas metálicas, tornillos, alambres, etc., que pueden causar daños, afectar el normal funcionamiento de las máquinas y aun producir explosiones de polvo de efectos catastróficos.

En la Figura No. 57 se ilustra la forma como se debe instalar un imán permanente en un tubo de sección cuadrada que conduce grano. El imán debe localizarse de tal manera que pueda ser abierto y limpiado fácilmente. Su potencia debe ser suficiente para atrapar las piezas del metal ferroso a través del espesor de la capa de grano y para mantener los mismos adheridos mientras es limpiado.

10. Secadoras

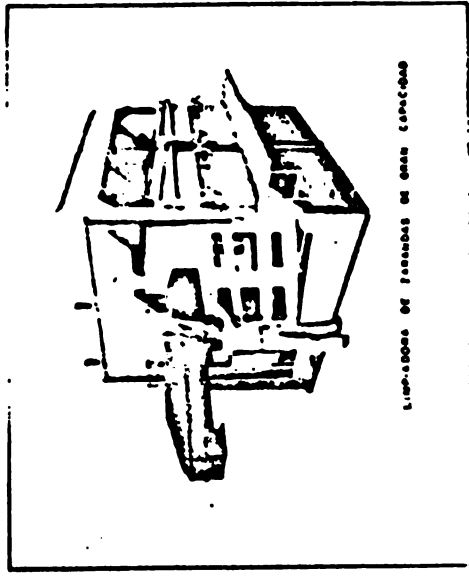
Casi la totalidad de las secadoras usadas comercialmente, utilizan como medio desecante una corriente de aire que transporta calor y atraviesa una capa de grano removiendo humedad durante su paso.

- a. Ventiladores. Para generar la corriente de aire se utilizan ventiladores de tipo axial o centrífugo.



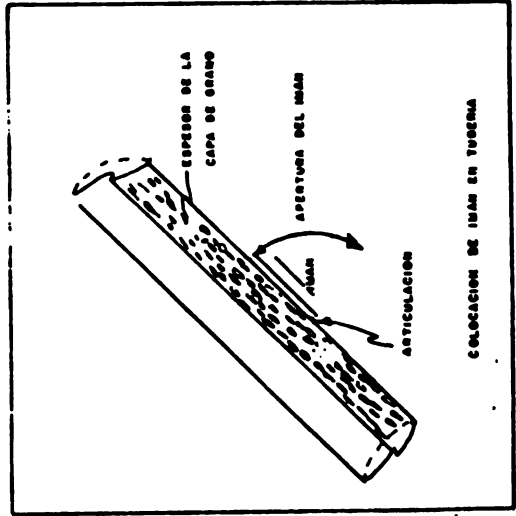
LIMPIADORA DE ZARANDAS - PARTES PRINCIPALES -

Figura No.56



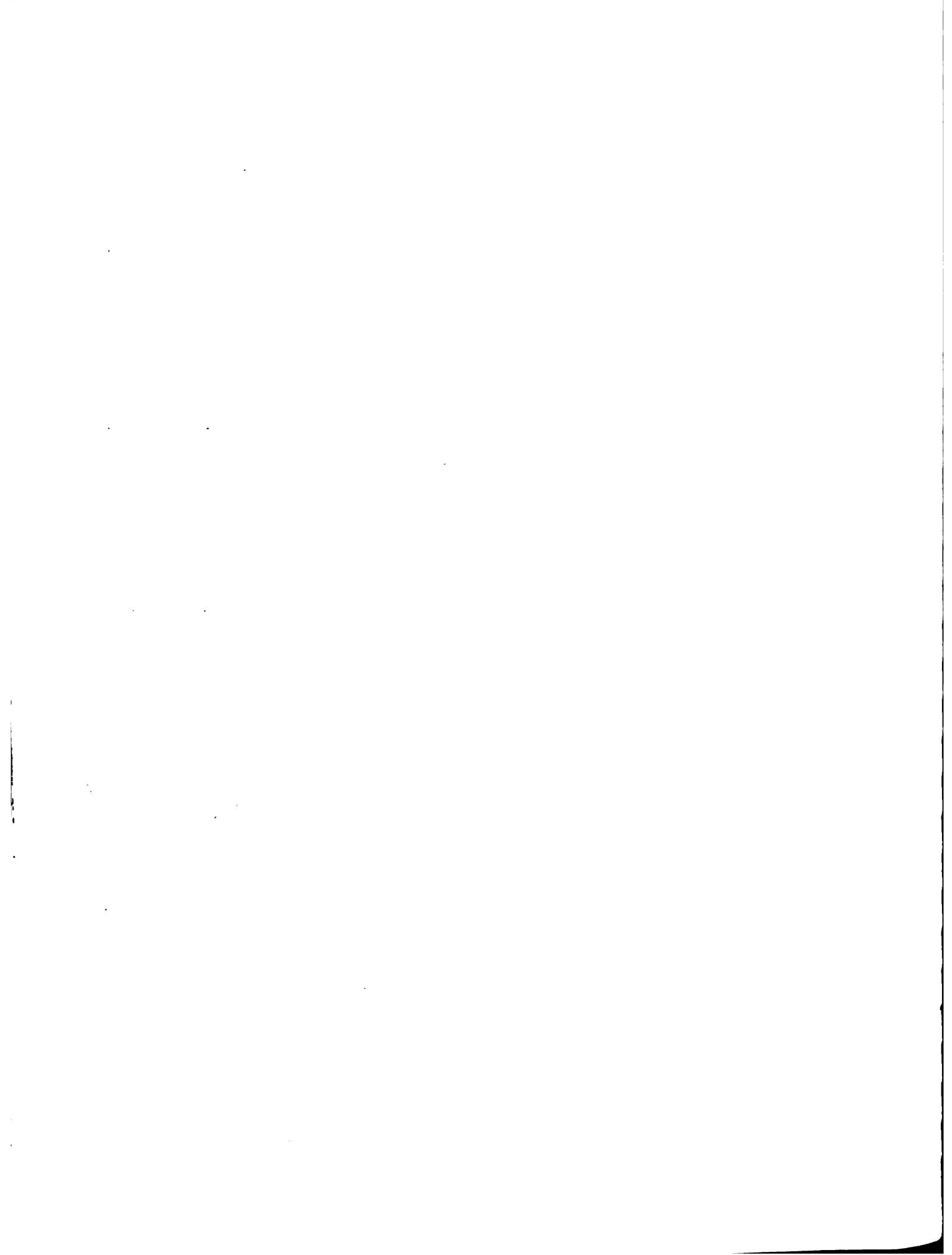
LIMPIADORA DE ZARANDAS DE GRAN CAPACIDAD

Figura No.55



COLOCACION DE IMAN EN TUBERIA

Figura No.57



Los ventiladores axiales, como su nombre lo indica, mueven el aire paralelamente a su eje y formando ángulo recto con el plano de rotación de sus aspas. Se construyen principalmente en dos tipos: tuboaxiales y va no-axiales (Figuras 58 y 59). Frecuentemente, en ambos tipos, la hélice se monta directamente sobre el eje del motor eléctrico. En el tipo vano-axial se utilizan álabes guías que actúan como rectificadores del flujo del aire y reducen las pérdidas que producen las turbulencias. Los ventiladores axiales se utilizan, preferentemente, para mover volumen reducido o mediano de aire contra presión relativamente baja (2"-3" de columna de agua).

En los ventiladores centrífugos, parte de la energía que se usa para producir la presión, se genera por acción centrífuga. El aire penetra al ventilador paralelamente al eje y se mueve radialmente a través de los álabes. Su descarga se hace tangencialmente a la carcasa envolvente. (Figura No. 60).

Los álabes se construyen según dos diseños diferentes: inclinados hacia atrás, para conformar los ventiladores de tipo no sobrecargable e inclinados hacia adelante (Figura No. 61) característicos de las unidades sobrecargables.

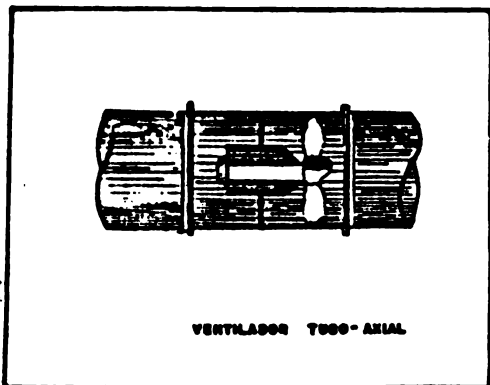
En la Figura No. 62 se ilustra gráficamente el comportamiento característico de los dos tipos de ventiladores. Los no sobrecargables presentan una curva de presión estática estable y un punto máximo claro de consumo de potencia, mientras en los sobrecargables la presión estática tiene una zona de comportamiento errático y el consumo de potencia aumenta en forma apreciable al disminuir la resistencia impuesta al ventilador (presión estática). Los ventiladores de tipo sobrecargable exigen motores con amplio margen de potencia, especialmente en aquellas instalaciones de carga variable.

Los ventiladores axiales, son generalmente inestables en su operación y rendimiento y después de cierto punto, tienen características sobrecargables.

La escogencia de un ventilador para una determinada aplicación, debe hacerse de acuerdo con las características del sitio en el cual se va a trabajar, el volumen de aire total por unidad de tiempo, la presión estática que se necesita vencer para mover el volumen de aire a través del sistema, las variaciones de resistencia al paso del aire que se pueden presentar durante la operación, etc.

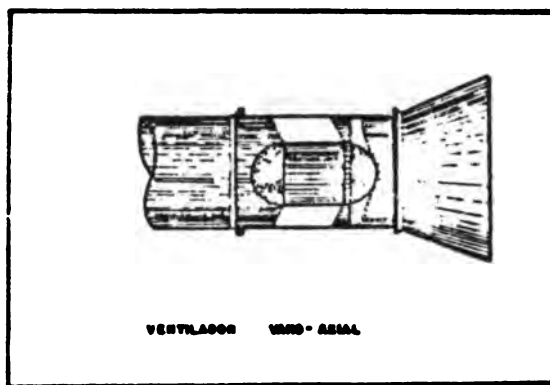
- b. Fuente de calor. El calor para efectuar la evaporación de la humedad, se genera normalmente por medio de quemadores de combustibles fósiles, principalmente Diesel No. 2 (denominado en Colombia ACPM) Fuel Oil No.5 o gas natural.

El Diesel cuando se quema con suficiente oxígeno y adecuado tiraje, produce alrededor de 9.000 kilocalorías por litro (136.000 BTU/galón), el Fuel Oil 9.600 kilocalorías por litro (145.000 BTU/galón); el gas natural produce cerca de 1.050 BTU por pié cúbico, aunque pueden presentarse variaciones de importancia de acuerdo con su composición química.



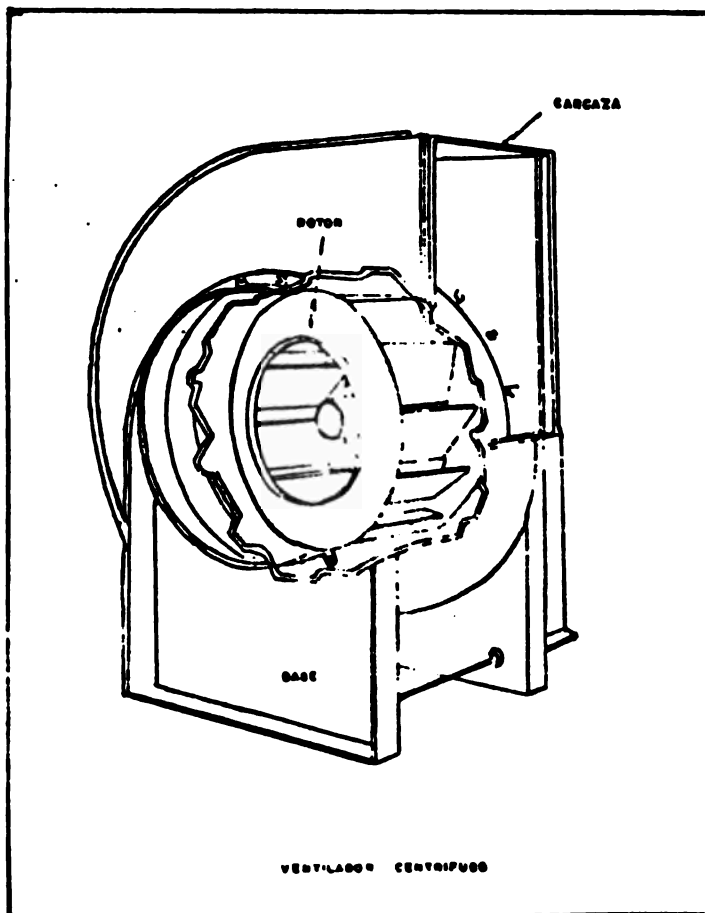
VENTILADOR TUDO-AXIAL

Figura No.58



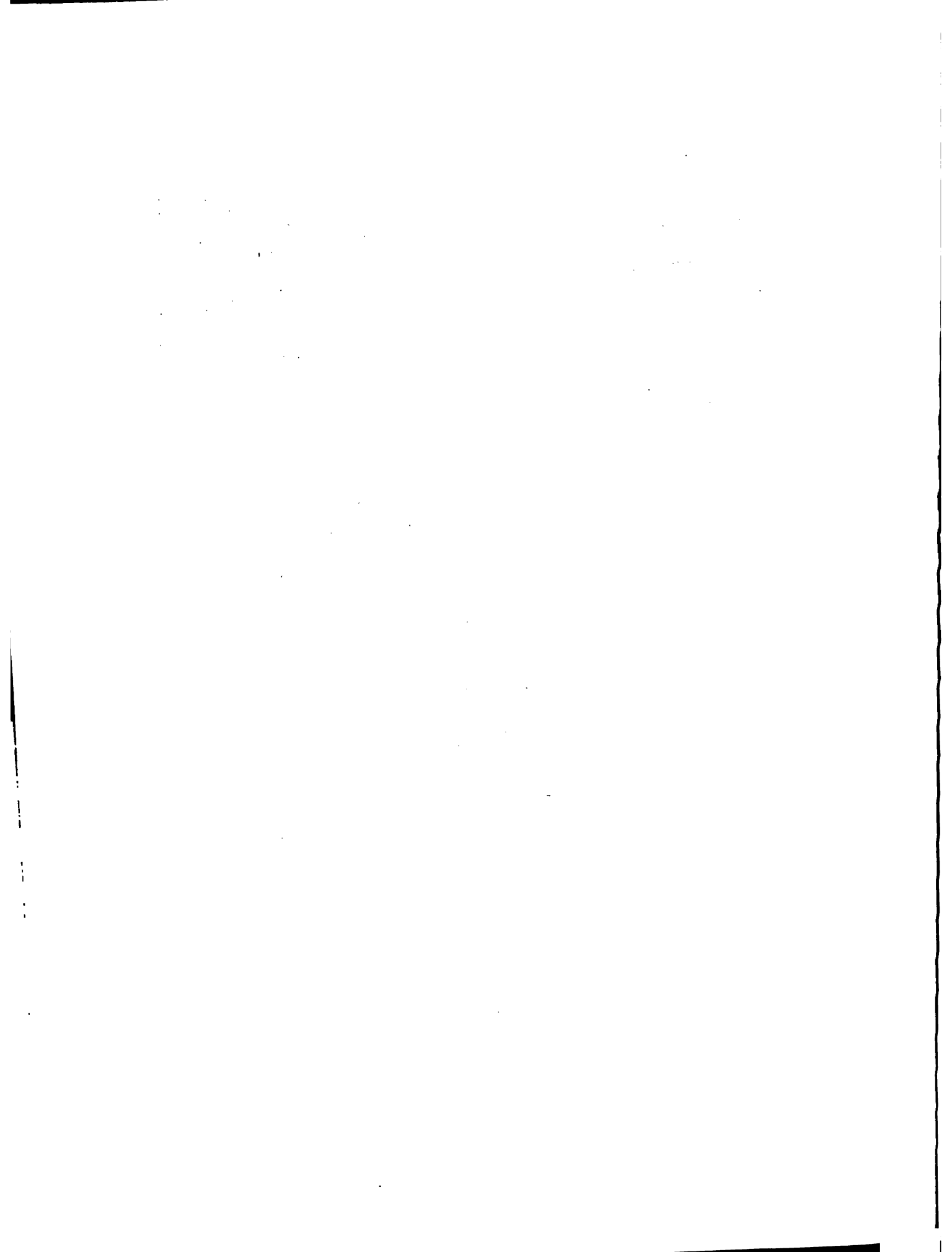
VENTILADOR MIXTO-AXIAL

Figura No.59



VENTILADOR CENTRIFUGO

Figura No.60



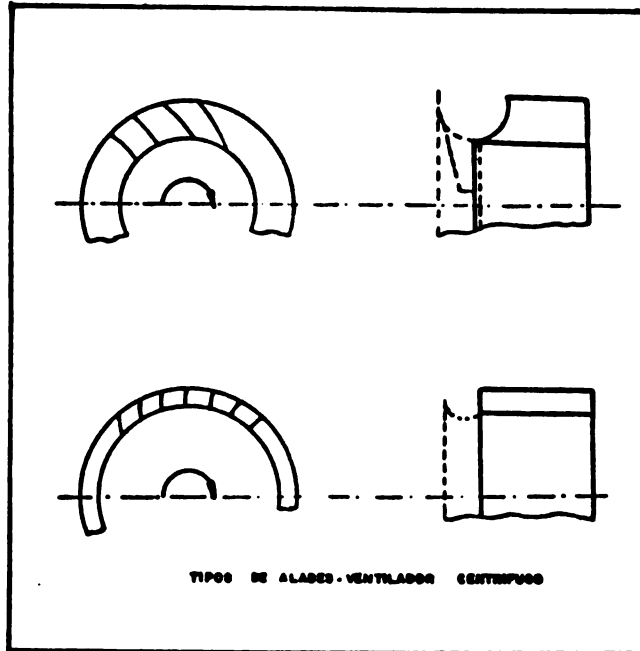


Figura No.61

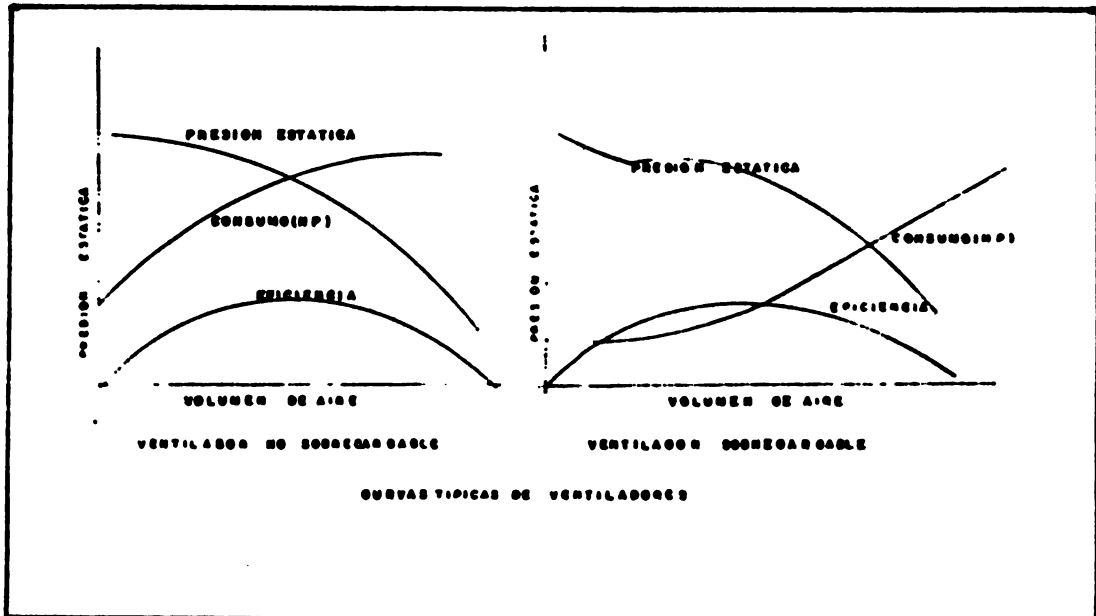
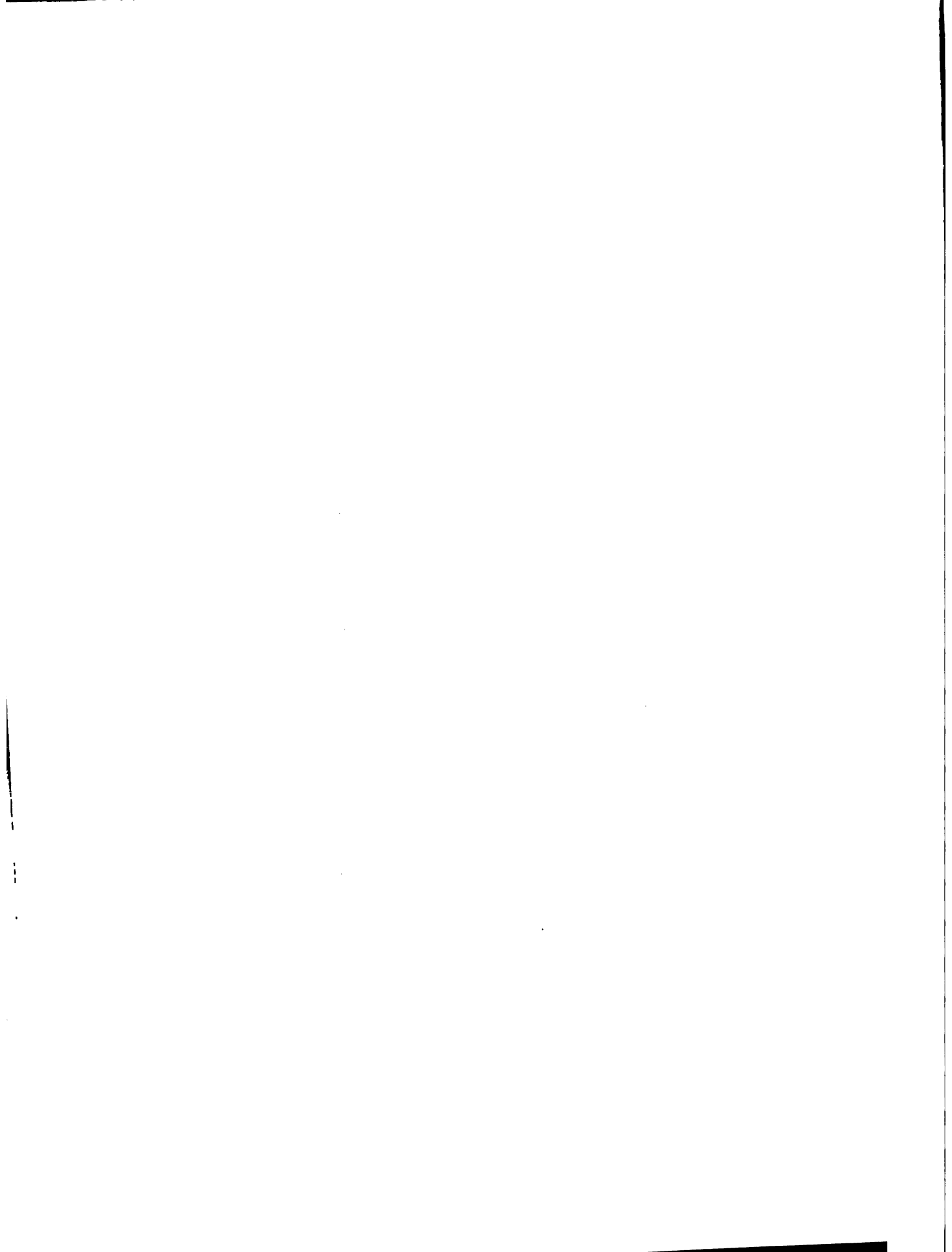


Figura No.62



Es recomendable que los quemadores utilizados en secado de granos, cuenten con controles automáticos que, además de mantener constante la temperatura del aire de secado, mantengan una adecuada relación entre el aire y el combustible para conseguir una combustión eficiente. El uso de quemadores rudimentarios puede producir contaminación en los granos, llegando aún a recubrirlos con una película grasosa, como sucedió hace algunos años con frijol caraota exportado a un país centroamericano y cuyo color negro disfrazó inicialmente la contaminación pero no pudo evitar las dificultades y reclamos posteriores.

Las compañías aseguradoras norteamericanas exigen para expedir pólizas que amparen secadoras de grano, la instalación de un dispositivo de seguridad de llama (celda fotoeléctrica o termostato) que cierre el paso de combustible inmediatamente se presente una falla en la llama, para evitar la atomización de combustible crudo con el riesgo consiguiente de incendios y contaminaciones.

Ante el aumento de precio de los combustibles fósiles, se ha renovado el interés en fuentes alternativas de calor para el secado de granos; seguramente en el curso de los próximos años se desarrollarán tecnologías que permitan utilizar en forma eficiente y simple, combustibles como cascarilla de arroz, polvo de carbón en suspensión y energía solar.

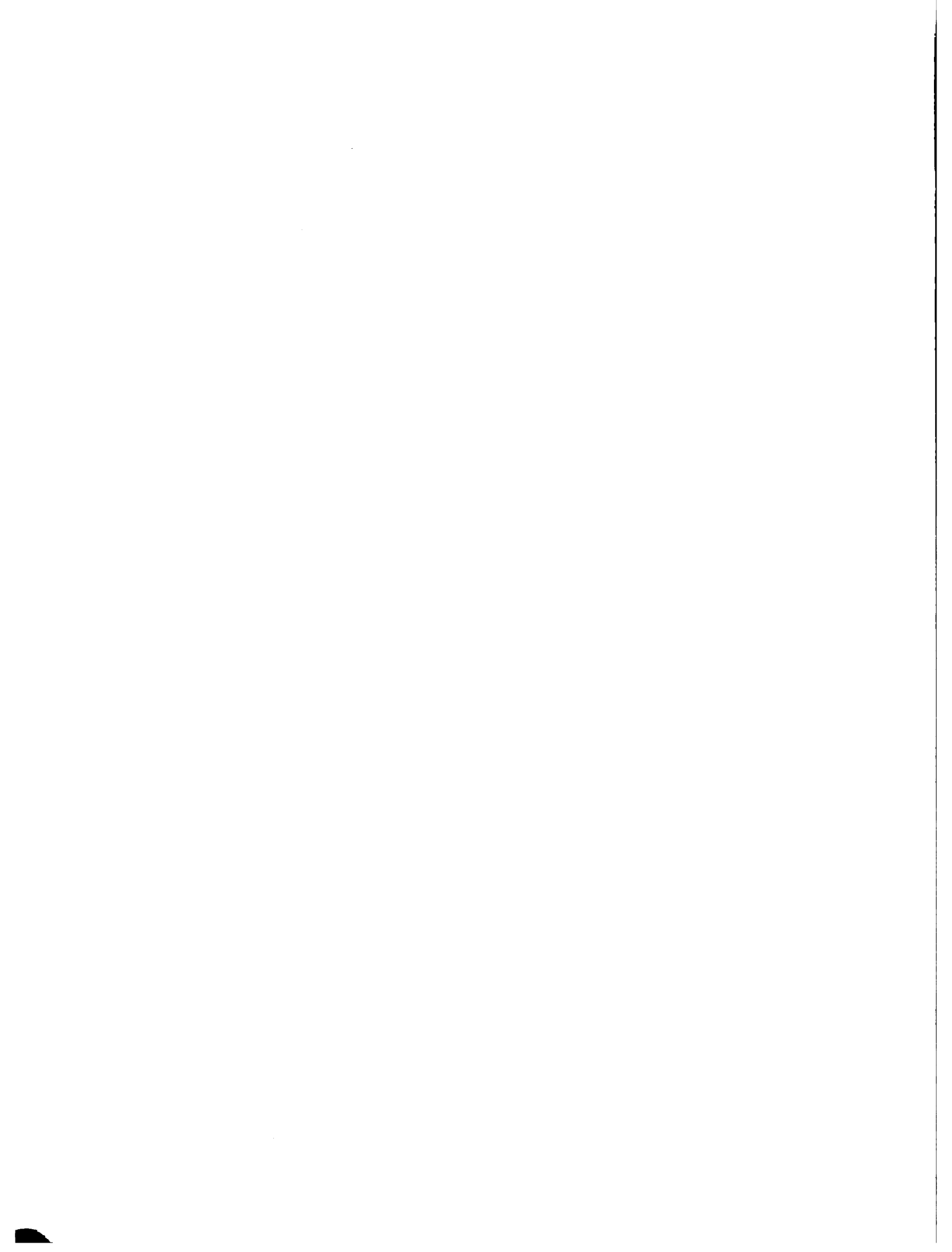
- c. Energía solar. Su utilización se encuentra aún en etapa de desarrollo inicial, sin embargo se tienen fundadas esperanzas de que en el futuro podrá utilizarse para secar un volumen importante de granos.

El problema principal, en el momento, estriba en encontrar forma de almacenar económicamente el calor del sol de los días claros, para utilizarlo durante las noches y días nublados.

Se han utilizado con algún éxito varios materiales para almacenar el calor, la piedra por ejemplo, tiene un calor específico relativamente alto (0.20) de tal manera que 50 metros cúbicos en un día soleado podrían almacenar 1.000.000 BTU, suficiente para evaporar aproximadamente 500 libras de agua. En la Figura No. 63 se ilustra el sistema (11).

Con la ayuda de tubos plásticos de color negro, es posible captar en forma fácil y económica energía solar, si bien su utilización debe ser inmediata. En promedio, en un ambiente soleado, un metro cuadrado de plástico negro puede captar 200 BTU/hora (11), de tal manera que se necesitarían 640 metros cuadrados para generar el calor de un galón de combustible Diesel (Figura No. 64).

- d. Recipiente de grano. El depósito de grano de una secadora puede tener múltiples formas, desde la sencilla alberca con fondo falso (Capítulo VIII) hasta las torres de las máquinas industriales de flujo continuo, provistas de columnas de malla verticales (Figura No. 65) o de caballetes en "v" invertida (tipo LSU) ilustrados en la Figura No. 66.



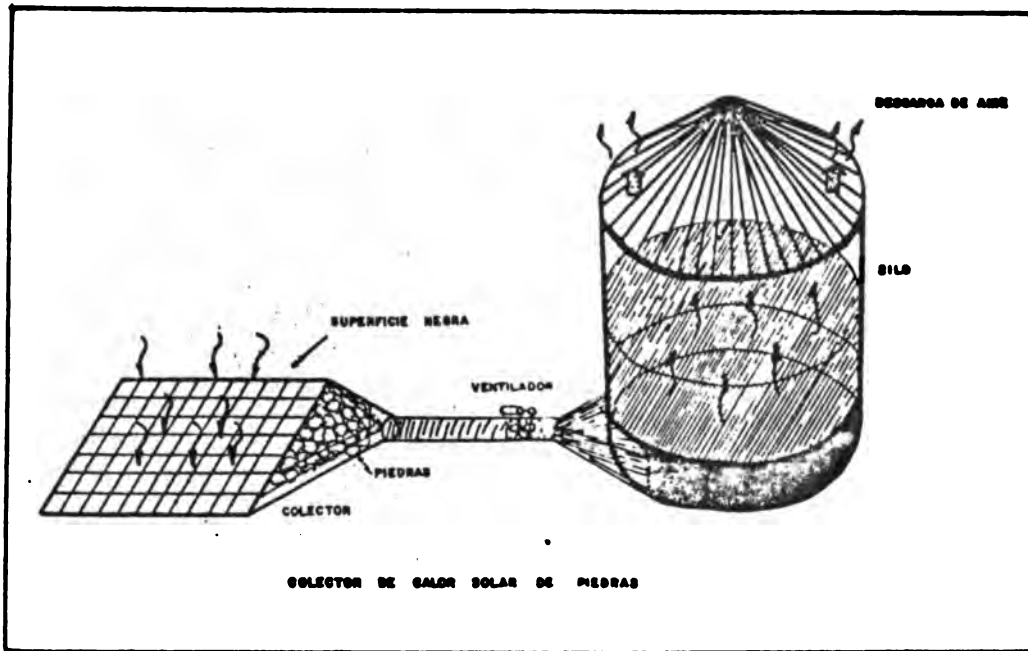


Figura No.63

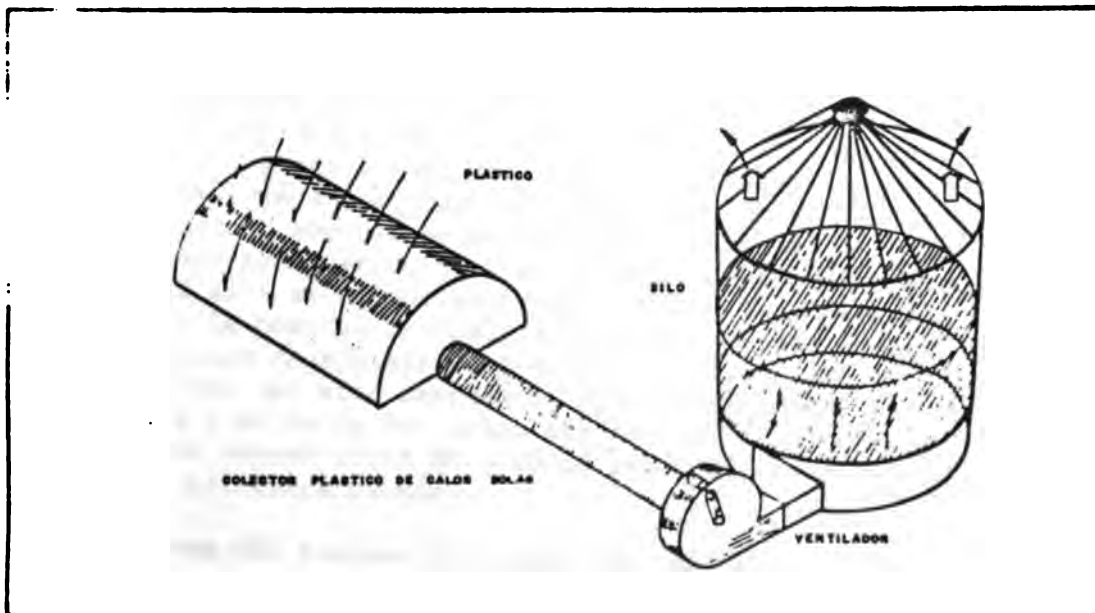
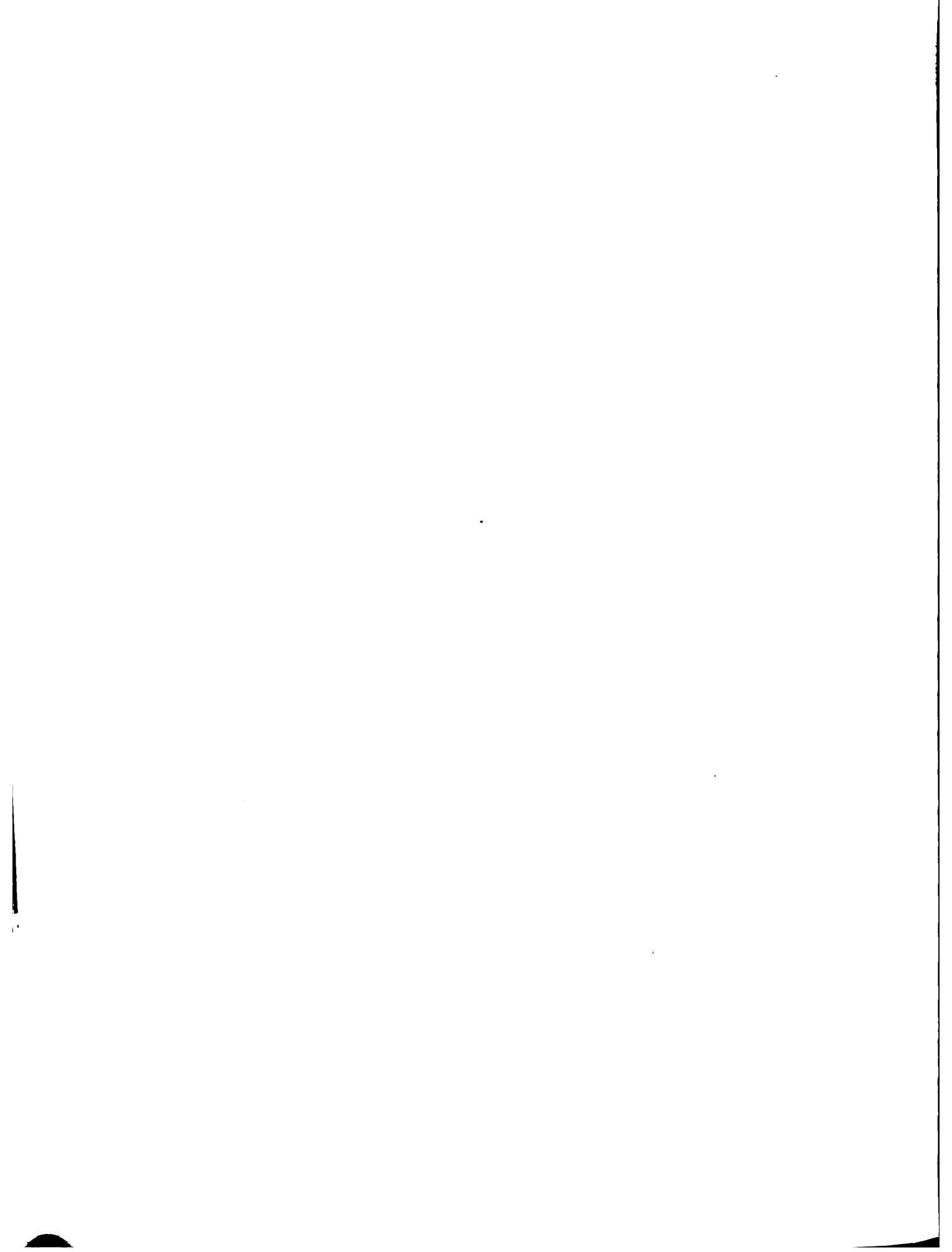


Figura No.64



Las secadoras de flujo continuo, de tipo industrial, necesitan para su adecuado funcionamiento, una serie de dispositivos complementarios; en la Figura No. 67 se ilustran los más importantes.

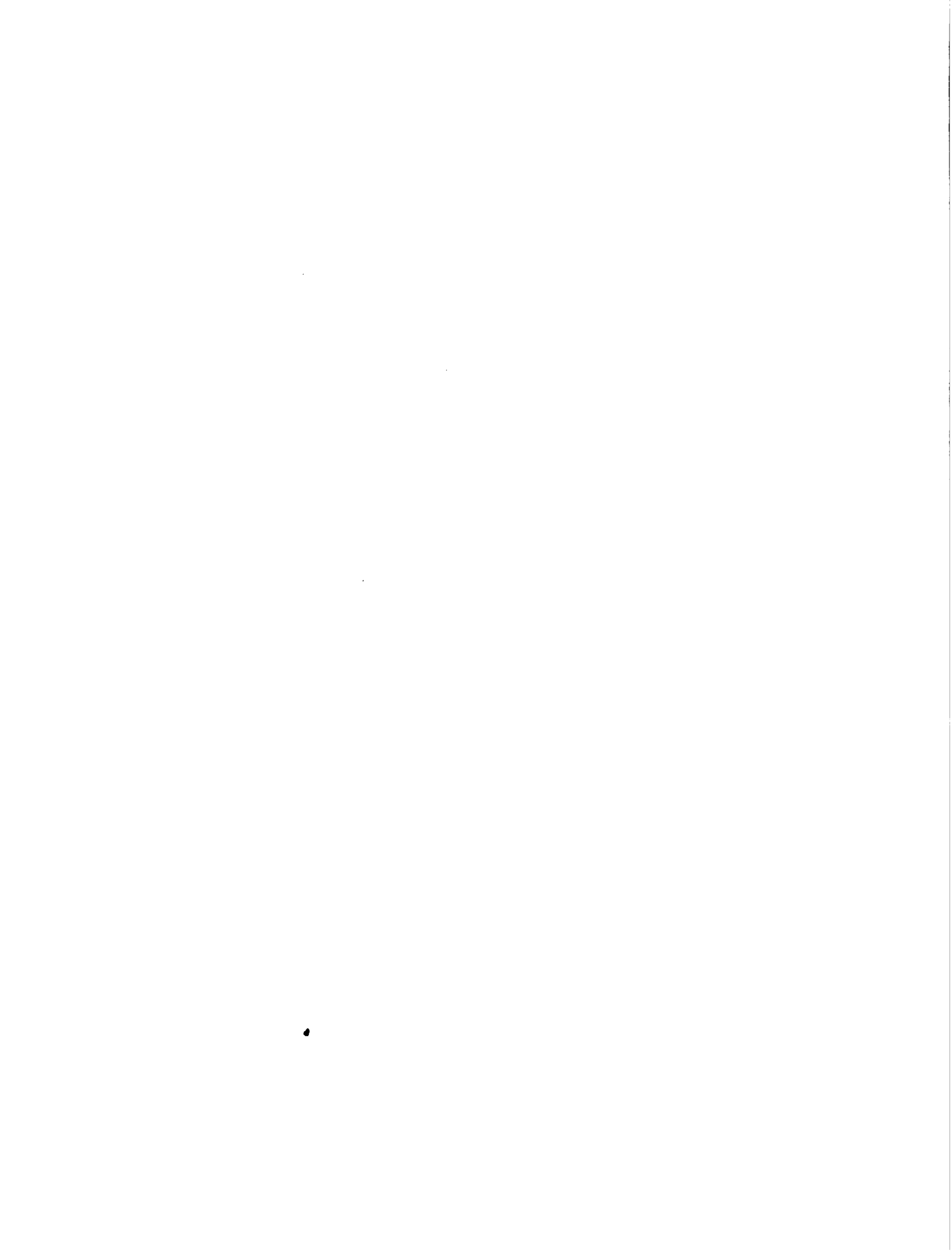
Sobre la torre de secamiento propiamente dicha debe disponerse de un tanque de reserva (A), que permita continuar el proceso por 10 ó 15 minutos en caso de alguna falla en la alimentación del grano húmedo, especialmente cuando se hace con elevadores de cangilones, con al menos un indicador de nivel (B) que alerte, por medio de una señal visual o auditiva, al operario sobre la pronta terminación del grano húmedo y se pueden tomar las medidas, para evitar la formación de una zona vacía de grano en la parte superior de la secadora, que permitiría el paso directo de aire caliente y el secado y calentamiento excesivo del grano e impurezas con el consiguiente riesgo de incendios.

Los ductos de aire caliente y frío de la secadora deben disponer de termostatos (O) convenientemente graduados que desconecten el sistema, si por alguna razón la temperatura del aire es superior a los límites fijados.

La secadora debe disponer de algún sistema que permita variar la descarga en un rango amplio y en forma continua, para ajustar el tiempo de exposición del grano a la acción del aire caliente de acuerdo con la reducción de humedad deseada; el sistema de descarga debe permitir el vaciado del grano, evitando el descargue más rápido de la parte central, característico de los depósitos de grano corrientes (Figura No. 68).

En los últimos años ha aumentado el uso de sistemas automáticos de control de humedad de granos, que ajustan la velocidad de descarga del grano (D) para obtener una descarga de grano de humedad más o menos constante, compensando las variaciones en el grano húmedo. En su forma más simple y rudimentaria los sistemas utilizan como indicador del contenido de humedad del grano un simple termostato colocado en la descarga de aire. La temperatura se usa como indicador del contenido de humedad del grano para ajustar proporcionalmente la velocidad de descarga, o más frecuentemente para accionar un sistema simple de encendido-apagado. La temperatura del aire es un indicador aproximado de la humedad del grano, siempre y cuando la humedad inicial del mismo sea relativamente uniforme y las capas de grano secado sean muy delgadas; si se seca en capas profundas, la temperatura del aire después de atravesarlas será un índice de la humedad promedia y no de la del grano más seco o más húmedo, de tal manera que cuando se sequen lotes de humedad desuniforme, se resecará una parte y otra se entregará húmeda.

Un sistema más preciso de control de humedad utiliza un medidor de tipo capacitivo, que puede instalarse dentro o fuera de la torre y toma lecturas de la humedad del grano que se descarga en forma continua o en intervalos determinados (12) (13), y permiten, mediante el uso de amplificadores y convertidores apropiados, variar la velocidad del



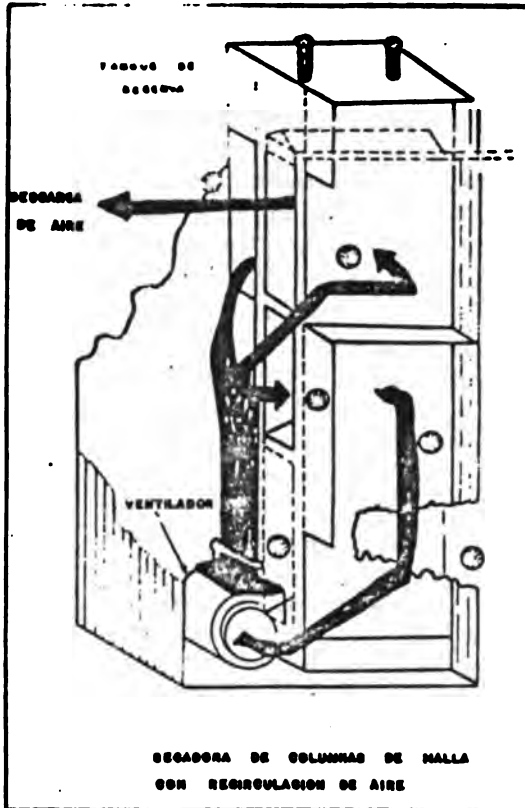


Figura No.65

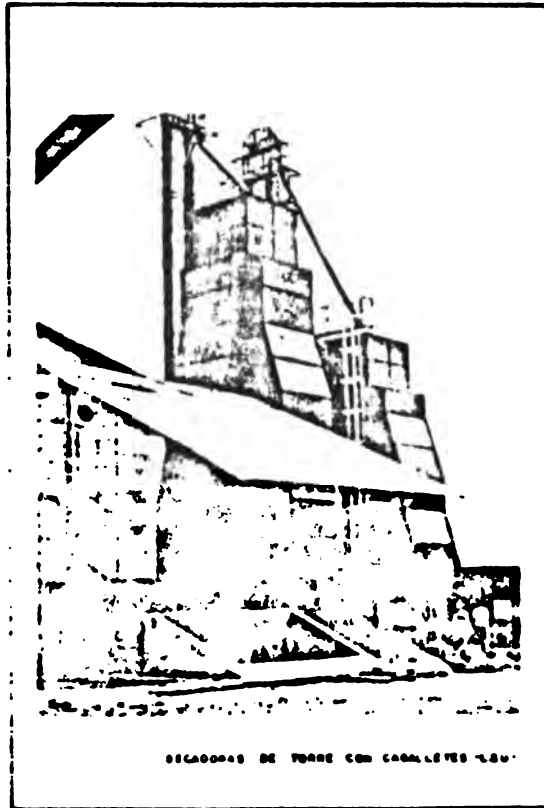


Figura No.66

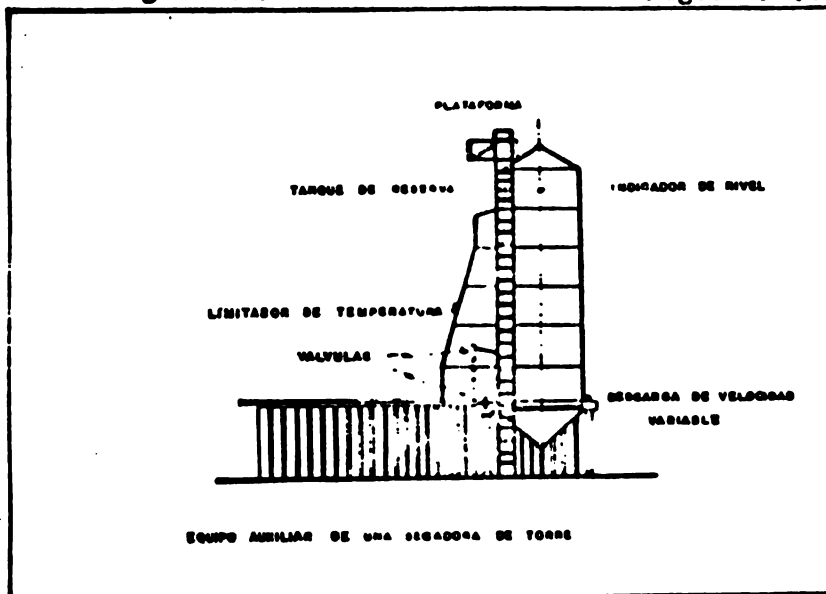
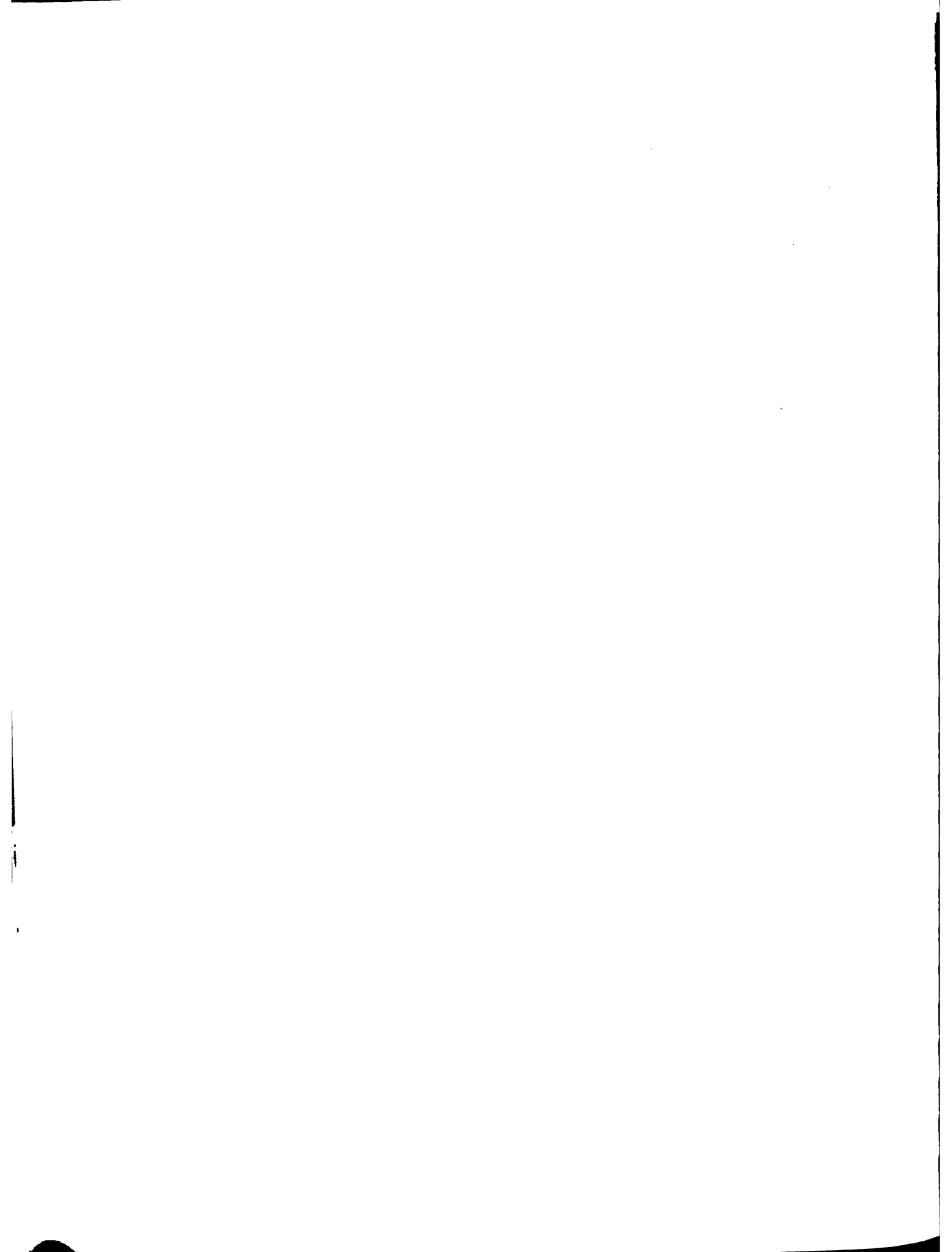


Figura No.67



sistema de descarga. Estos aparatos producen resultados confiables, cuando se trabaja con granos separados previamente, de acuerdo con su humedad en grupos que no varíen más de dos o tres "puntos".

Si es necesario secar granos con variación de humedad más amplia, como es la práctica normal en muchas de las instalaciones de los países tropicales, es preferible utilizar un sistema de control manual en el cual el operario puede, en caso necesario, retornar grano que se descargue repentinamente demasiado húmedo de la secadora, a la misma máquina o al silo de alimentación. Este caso se presenta con frecuencia, cuando después de descargar un camión con grano de humedad baja (16%) se recibe otro con grano húmedo (22%) y se depositan sin mayor mezcla en la secadora (14).

En algunas máquinas se dispone de válvulas y compuertas que permiten secar cantidades de grano inferiores a la capacidad de la torre (Figura No. 69) o disminuir la cantidad de aire efectivamente utilizado para el secado. Normalmente el volumen de aire utilizado en las secadoras industriales es el apropiado para secado de maíz, cuyos granos son de tamaño grande y su humedad inicial elevada, y necesita, en consecuencia, alto volumen de aire y amplia cantidad de calor; con granos pequeños como sorgo y arroz el volumen de aire de maíz puede resultar excesivo y producir un desperdicio de energía y de calor, las compuertas de alivio regulables resultan útiles en las plantas de secado de propósito múltiple.

Para seleccionar el tamaño adecuado y más económico de la secadora para una nueva instalación, debe programarse el trabajo de la misma durante 20 horas diarias y seis días a la semana.

11. Transporte por gravedad

Generalmente la conducción de granos de un equipo a otro, elevadores, secadoras, silos . . . se realiza por un sistema de tuberías, que incluye codos, válvulas, distribuidores, amortiguadores, etc. El tamaño e inclinación mínima de las tuberías se selecciona de acuerdo con el tipo y condiciones del grano. Para trabajo normal no debería utilizarse ninguna inclinación de menos de 45° (100%); en aquellas zonas donde se manejen granos húmedos y sucios la pendiente debería ser un poco mayor.

La Tabla No.10 indica la capacidad máxima en toneladas por hora que puede transportarse en forma cómoda, en tuberías redondas de diferentes diámetros, inclinación mínima de 45°, con arroz y sorgo moderadamente húmedos y sucios.

Tabla No.10 Transporte de Grano por Tuberías

Diámetro		Tons. /hora
CM	Pulgadas	
15	6"	10
20	8"	25
25	10"	40
30	12"	60

Para obtener un flujo uniforme y disminuir el riesgo de atasco, no se deben hacer reducciones o deformaciones de la sección interior libre de la tubería, o de otras piezas, en los codos, cambios de dirección, etc. El diseño del sistema de tuberías afecta en forma importante la calidad del grano.

Con maíz, se presenta considerable daño cuando se deja rodar libremente en tramos de tubería de más de 12 metros, daño que se aumenta en granos muy secos.

Por ejemplo, maíz con 15% de humedad en un tramo de 12 metros, puede sufrir un aumento de partido de 0.4%, si la longitud se aumenta a 21 metros el daño adicional puede ser de 4.1% y de 7.1% si la longitud es de 30 metros (15). Para reducir la longitud efectiva de las tuberías se utilizan dispositivos amortiguadores y retardadores, tales como los ilustrados en la Figura No.70. Los efectos abrasivos sobre las tuberías, muy importantes con soya y sorgo, y los daños que sufren por impacto, pueden reducirse en instalaciones donde el volumen manejado lo justifique, recubriendo las superficies internas de las tuberías y los sitios de impacto con recubrimientos sintéticos, que generalmente pueden comprarse adheridos a una base de lámina metálica delgada que facilita su instalación. Experimentos realizados en 1971 (15) determinaron que el mayor daño físico en el maíz durante su manipuleo, se produce por el impacto contra algún objeto. La superficie de impacto afecta significativamente el daño total: con superficie sintética (uretano) el daño se reduce a la quinta parte del sufrido en acero y a la sexta parte del daño producido por una superficie de concreto.

En el diseño de cualquier sistema de tuberías no debe olvidarse su facilidad de instalación y de mantenimiento. Cualquier tubería durante su vida útil deberá ser girada y remendada varias veces y aún cambiada totalmente; de tal manera que estas operaciones deben poderse ejecutar en forma rápida y simple. En ciertos casos es preferible aumentar la inversión inicial, e instalar transportadores horizontales adicionales que permitan reducir la luz libre de tuberías instaladas en lugares de difícil acceso.

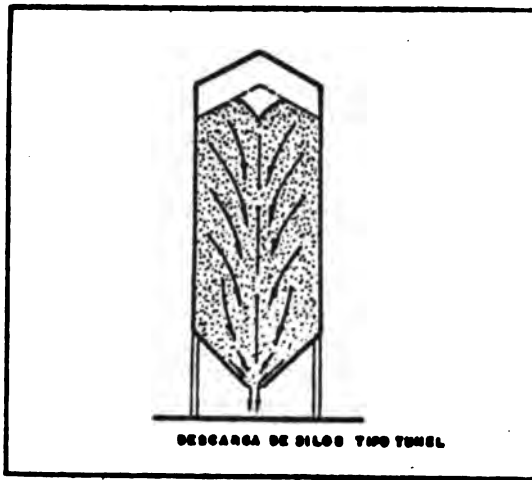


Figura No.68

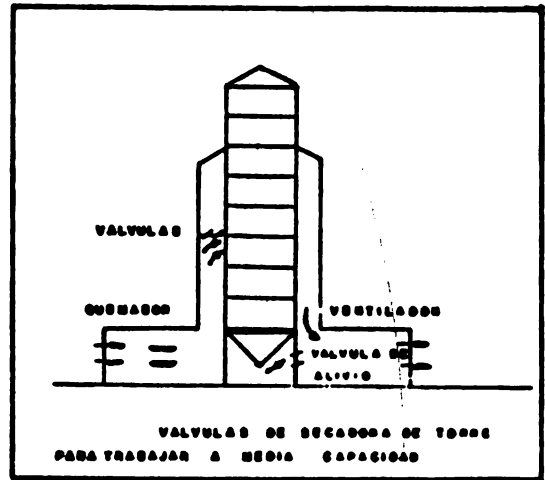


Figura No.69

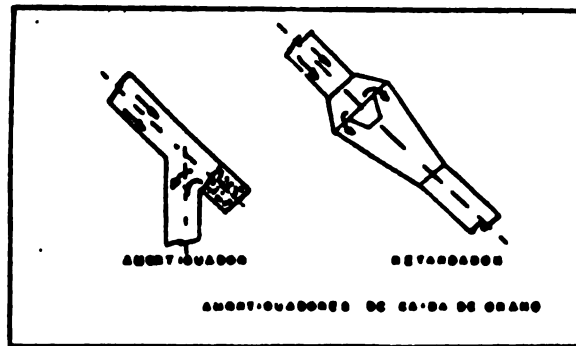
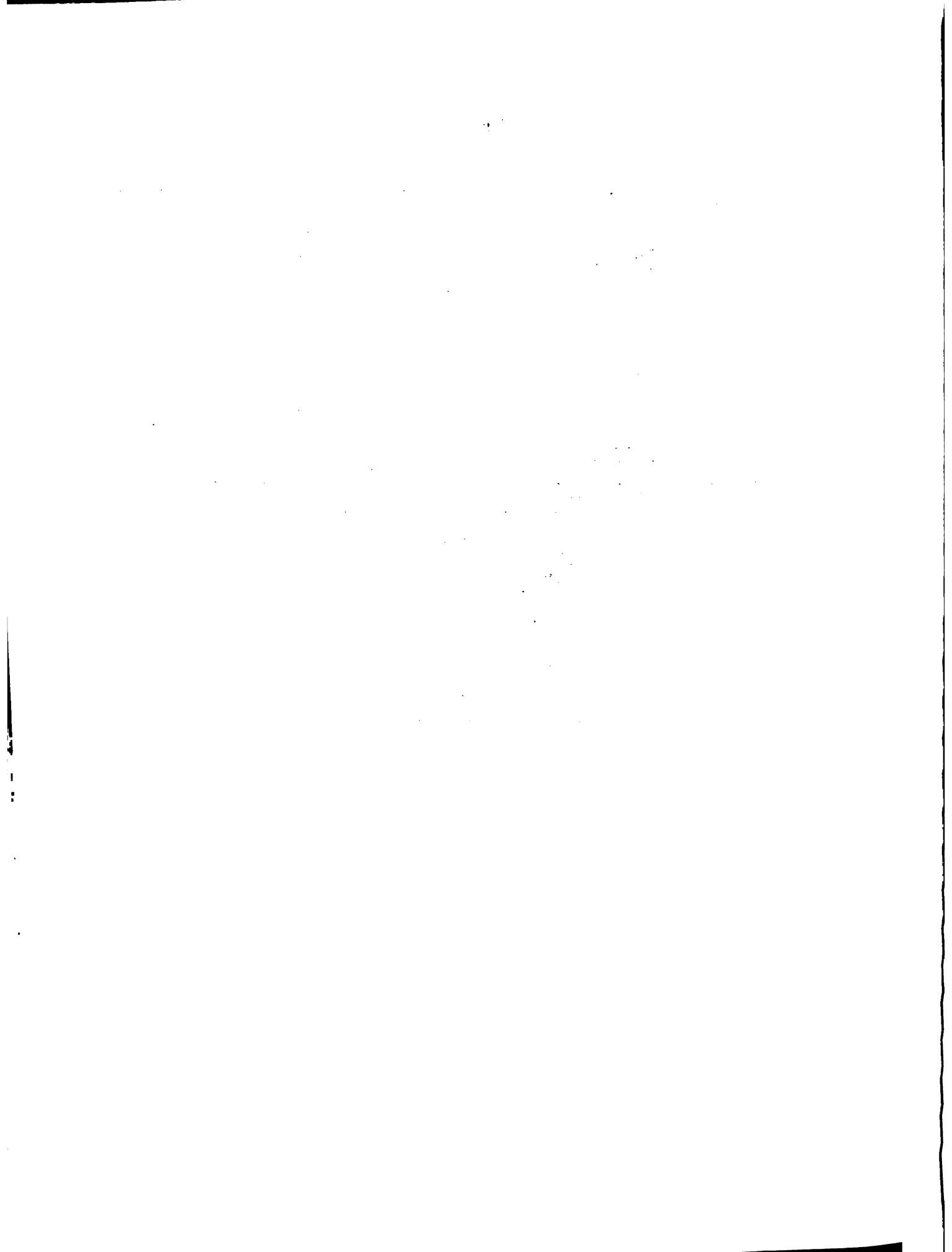
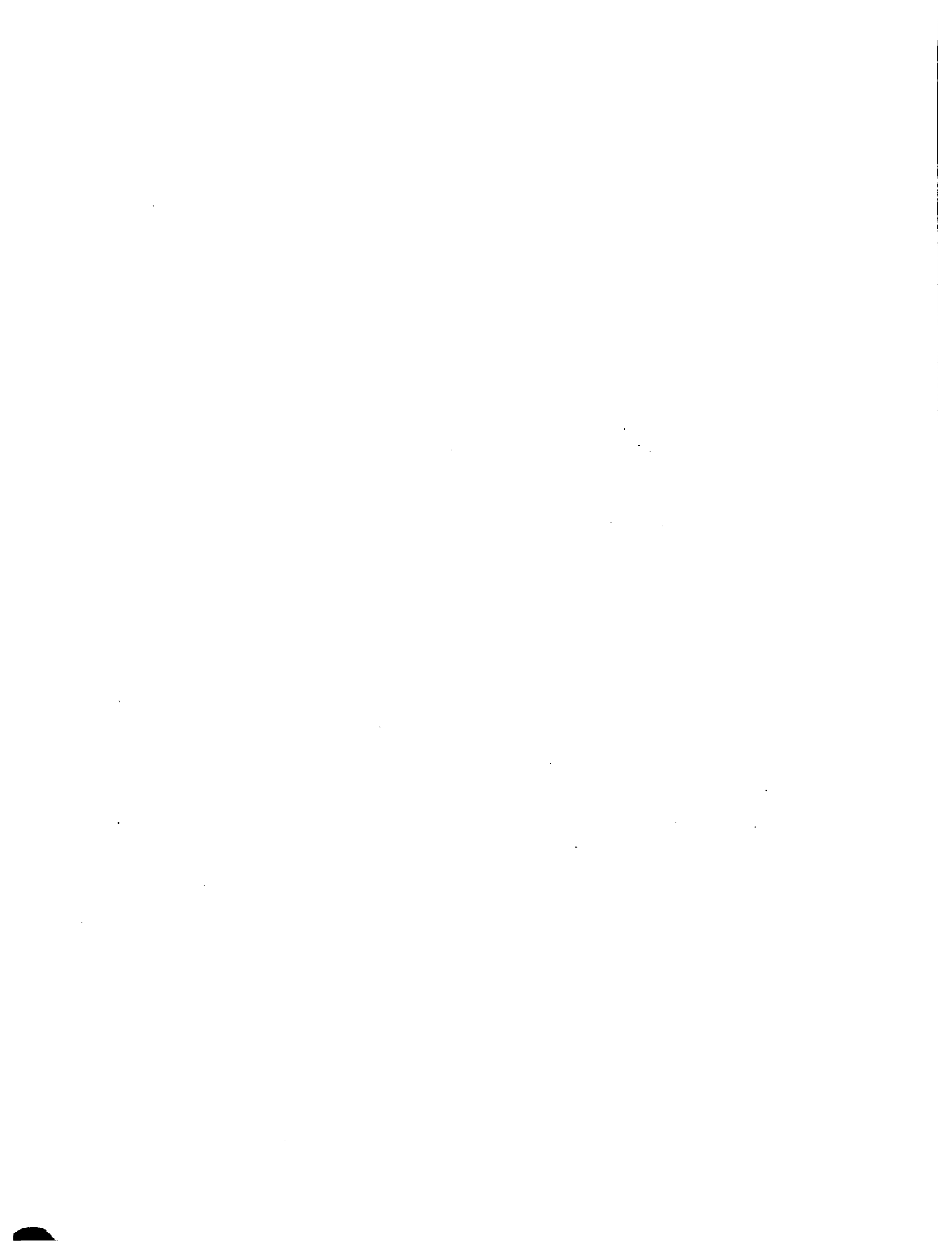


Figura No.70



REFERENCIAS

- (1) Grain Storage and Marketing, Kansas State University, Appendix IV Manual No. 2-1976.
- (2) Morse, Philip, "Queues, inventories and maintenance", John Wiley and Sons Inc., London, 1962.
- (3) USDA - Selecting dump pits and elevator legs for country grain elevators. ARS 52-6-1965.
- (4) _____. Receiving rice from farm trucks at commercial dryers-Mrr -499- 1961.
- (5) _____. Selecting the vest capacity of truck receiving facilities of country grain elevators. Mrr -671- 1967.
- (6) _____. Receiving grain at country elevators. Mrr -638- 1964.
- (7) _____. Receiving grain sorghum at country elevators in the south west. Mrr -694- 1965.
- (8) M y A Reimbert. Construcción de silos pág. 13 Aguilar 1962.
- (9) Scott "Development of grain milling machinery" Edimburgo 1972.
- (10) Ya N. Kuprits (Editor) "Technology of grain processing and provender milling -Approved by the Ministry of Higher and secondary specialized education of the URSS as University textbook on food technology" translated from Russian by Israel program for scientific translations Jerusalem 1967.
- (11) Morey, Nelson "Field evaluation of a solar energy drying system" Asae Diciembre 1975.
- (12) USDA "An automatic moisture control for continuous grain dryers - Technical bulletin No. 1442- 1972.
- (13) Aeroglide Corp. "Moisture Rite" -operators manual- Raleigh N.C. 1976.
- (14) EMC- Manual de Operaciones de secadoras de grano de flujo continuo. Bucaraman ga 1976.
- (15) Keller, Converse y otros "Corn Kernel damage due to high velocity impact" ASAE paper No.71 -340- 1971.



VI. DISEÑO Y OPERACION ECONOMICA DE PLANTAS DE SECADO

Introducción

La selección del diseño general de una planta de secado, su tipo, características, etc., debe ajustarse al criterio de su rentabilidad económica.

Es claro que en una inversión gubernamental, no se puede utilizar el criterio de simple rentabilidad económica; es necesario incluir los beneficios sociales del proyecto, efecto de redistribución de la riqueza etc.; sin embargo, es necesario en todos los análisis tratar de cuantificar la magnitud de los beneficios sociales, para asegurar, hasta donde sea posible, la conveniencia de la inversión.

El diseño general y el tipo de equipo empleado debe ajustarse a las condiciones de la zona, a la forma como se maneja el grano, sus condiciones de recolección, climatología del lugar, etc.

Es posible, naturalmente, promover reformas en el modo de manejo de los granos, mediante utilización de determinados equipos y formas de recibo; pero en la preparación del presupuesto de inversiones y operación, es necesario incluir el costo total estimado de las modificaciones y cambios que debe hacerse al sistema para ajustarlo a las nuevas condiciones. Así, si se desea promover el transporte a granel en una región de manejo tradicional en sacos, con poca infraestructura vial, cosechadoras de diseño antiguo y producción de muchas variedades de granos; el análisis del proyecto debe incluir el costo de adecuación de vías que pueda requerirse, el valor de las modificaciones en las combinadas, las mayores dificultades de manejo de pequeñas cantidades de características diferentes, etc.

Antes de avanzar en el diseño de una instalación, es conveniente realizar, por lo menos, un análisis de los siguientes aspectos:

A. Condiciones y Necesidades de la Zona

1. Climatología

Condiciones de humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura ambiente.

Las condiciones más difíciles se presentan en aquellas zonas donde la temperatura y humedad relativa son altas, y se presentan lluvias durante la temporada de recolección (como sucede en los Llanos Orientales Colombianos en la temporada de recolección que se extiende desde julio hasta septiembre). En las condiciones anteriores, la capacidad de secado que necesita la instalación, debe ser elevada, no sólo para remover el mayor contenido de humedad de los granos, sino para evitar la demora en el secado de algunos granos, causada por gran afluencia de cosechas en la planta, demoras que pueden causar deterioros (desarrollo de hongos, calentamiento de micotoxinas) algunos de ellos irreversibles.

El tiempo disponible antes de realizar el secado se restringe en forma notoria cuando aumenta el contenido de humedad.

B. Determinación de Capacidad

Dado que los costos financieros tienen mucha importancia en el costo total de secamiento, es importante mantener reducido el costo total de las inversiones. El diseño seleccionado debe ser sencillo, ajustado a las necesidades reales. Es preferible prever en el diseño inicial la forma como puede aumentarse la capacidad en el futuro, que realizar inversiones muy grandes, adecuadas para un futuro lejano y generalmente incierto.

La capacidad necesaria de secamiento se determina analizando las siguientes variables principales:

1. Extensión de la zona de influencia de la planta. En su tamaño inciden las vías disponibles, mercados consumidores vecinos, localización de zonas de consumo, vecindad de industrias procesadoras de grano cercanas, etc.

2. Area de cultivo disponible y efectivamente sembrada.

3. Grado de mecanización de la recolección en la zona y perspectiva de cambio a corto y mediano plazo.

4. Condiciones climáticas normales durante las temporadas de cosecha. Este aspecto influye, como se mencionó, en el aumento de la humedad de recolección y en la disminución del número de días disponibles para cosecha, con el consiguiente recargo durante los días secos.

5. Duración de la temporada de recolección. La disponibilidad de riego artificial abundante, permite prolongar la recolección, pues independiza las siembras de la temporada de lluvias.

6. Disponibilidad de vías y transporte adecuados para movilizar el grano en toda época.

7. Humedad de recolección, y su variación, en los meses de cosecha.

8. Energía eléctrica disponible.

9. Restricciones de trabajo nocturno.

10. Inventario de otras instalaciones disponibles en la zona.

Las necesidades de almacenamiento pueden determinarse analizando los siguientes aspectos principales:

1. Tipo y localización de la instalación: en zona de producción o de consumo.

2. Disponibilidad de transporte y vías.

3. Conducciones ambientales que puedan dificultar el almacenamiento.

4. Variación estacional de los costos de transporte y mano de obra.

5. Duración de la temporada de recolección (mayor duración disminuye las necesidades de almacenamiento).

6. Capacidad instalada de almacenaje de las industrias y compradores.

C. Diseño de la Instalación

Un criterio económico, formado con el conocimiento de la zona y de las características de producción, debe orientar el diseño mecánico de la instalación. En la sección VIII se suministra información detallada sobre los principales rubros que conforman los costos de secado y almacenaje. La alternativa tecnológica escogida debe ser la que conduzca al menor costo total de operación, determinado tanto con los costos directos, como con los de administración y financieros.

Las grandes inversiones en equipos y construcciones, que permitan reducir los costos de mano de obra, sólo se justifican cuando se procesan grandes volúmenes de grano o en circunstancias especiales que restrinjan la disponibilidad de mano de obra.

En las Figuras Nos. 71 y 72 se ilustran diagramas de flujo de instalaciones sen cillas, que pueden utilizarse en forma económica para secar 10.000 o más toneladas de grano anualmente, en circunstancias normales de disponibilidad de mano de obra.

D. Equipo e Instalaciones

Esta planta se ha diseñado para trabajar básicamente con un solo grano.

1. Tolva de recepción

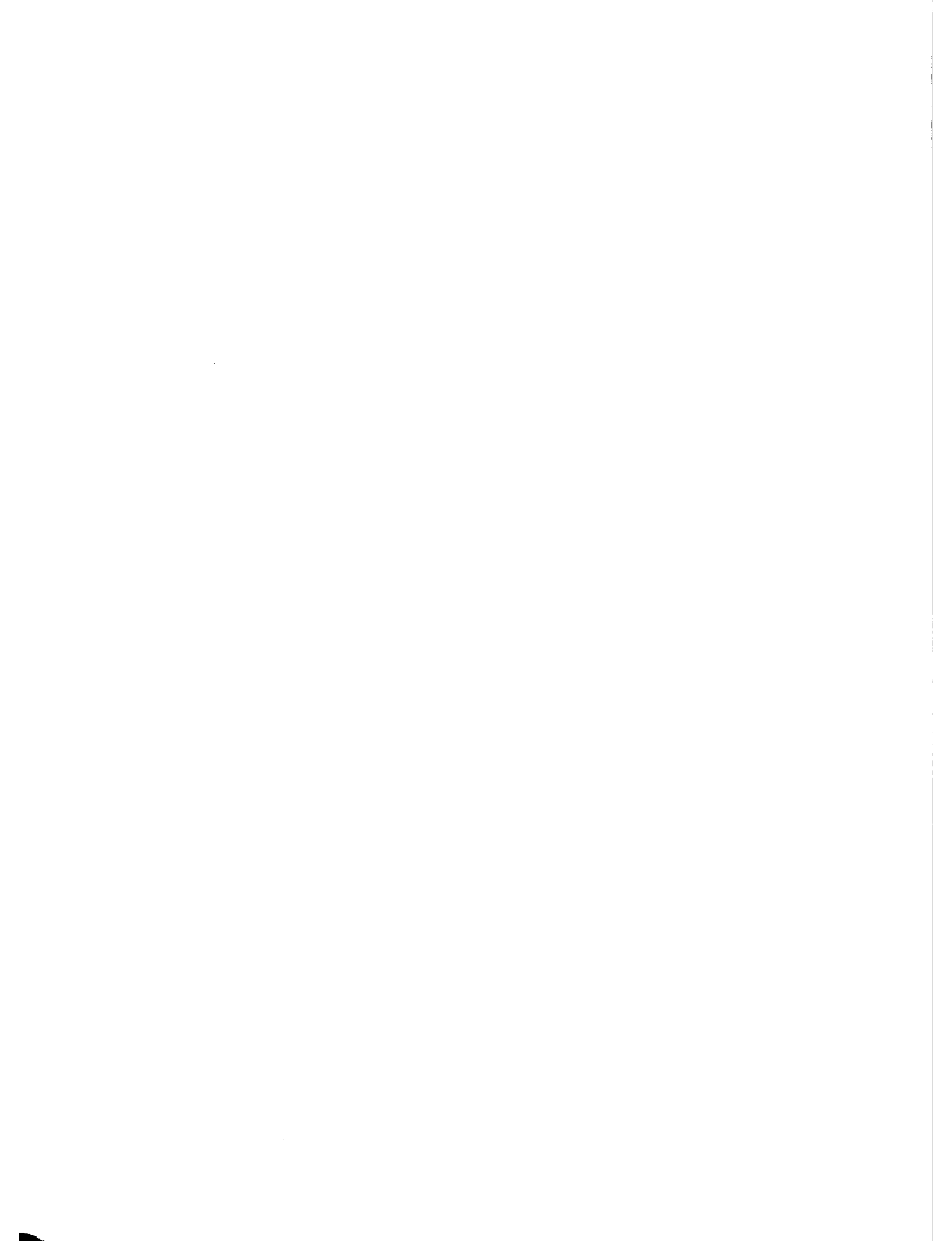
10 o más toneladas -su tamaño, dentro de lo posible-, debe ser adecuado para recibir la carga del vehículo de transporte más utilizado.

2. Secadora de granos

Capacidad normal 10 toneladas por hora, con reducción de humedad hasta el nivel adecuado para almacenamiento.

Normalmente las capacidades de secadoras se especifican para trabajo en flujo continuo, de tal manera que su capacidad efectiva diaria se reduce por el tiempo perdido en las operaciones de cargue y descargue de la máquina cuando se cambia el tipo, o humedad del grano procesado o se finaliza un trabajo.

Elevadores de cangilones E-1-2-3, capacidad 20 toneladas por hora es conveniente, en todos los diseños, que su capacidad sea mayor que la de secado para acelerar las operaciones de cargue y descargue.



105

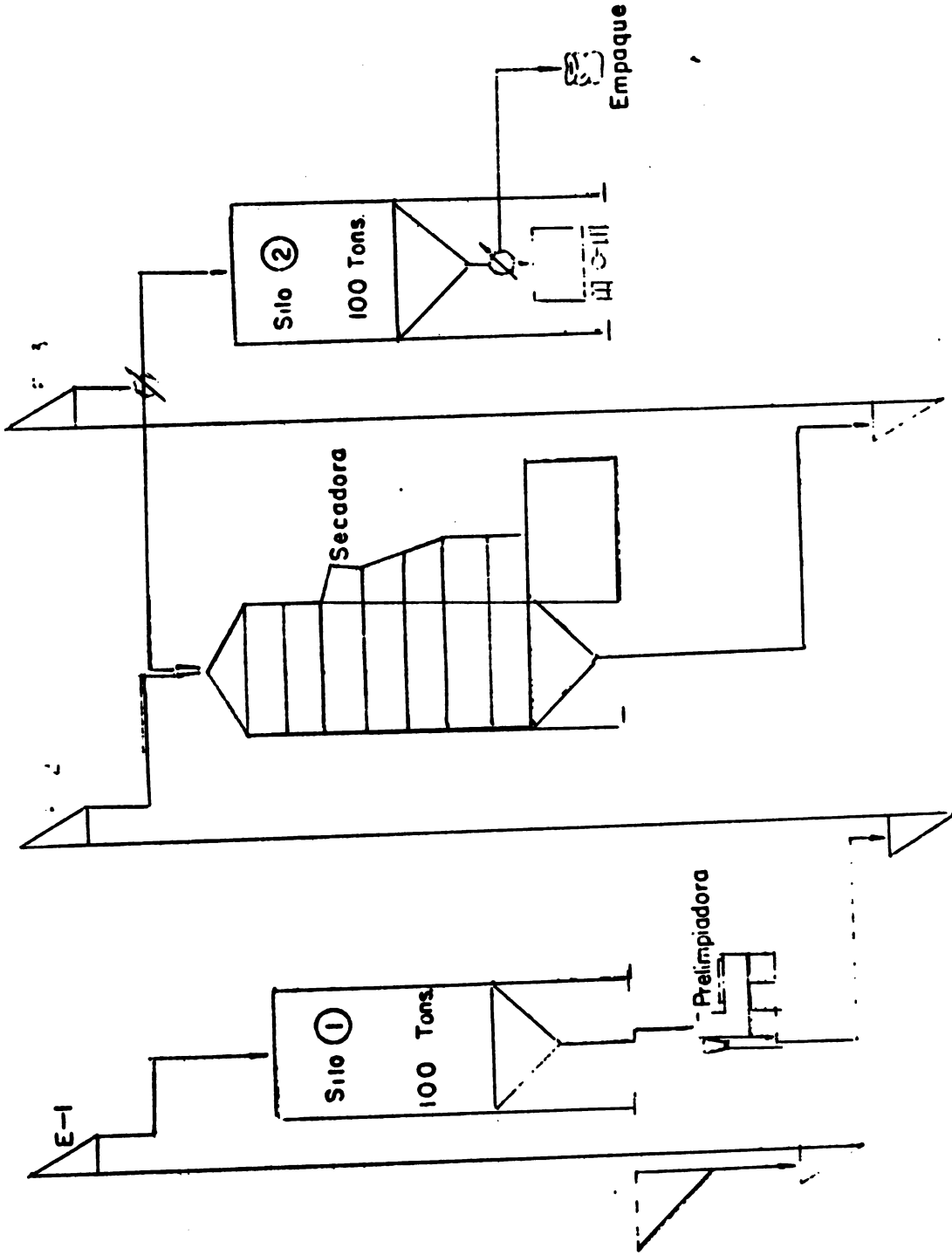


FIGURA No. 71



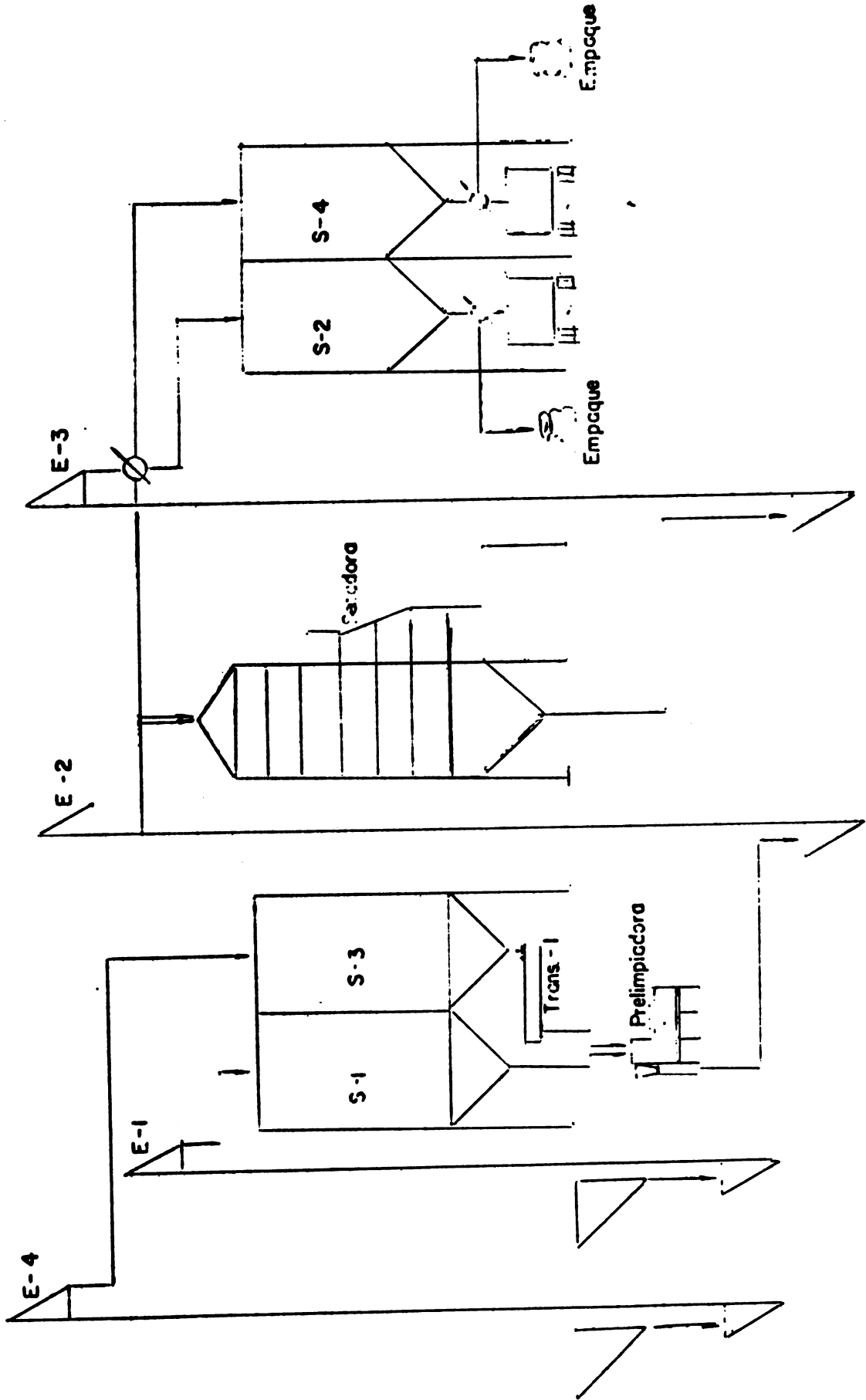


FIGURA No.72



3. Prelimpiadora

Su capacidad debe ser igual a la de los elevadores de cangilones; si fuera menor sería conveniente construir un silo adicional para grano prelimpiado que permita acelerar el cargue inicial de la secadora.

- a. Silo No.1: Capacidad 100 toneladas. Permite almacenar suficiente grano para trabajo durante 10 ó 12 horas, de tal manera que es posible realizar la operación de recibo en forma exclusivamente diurna, sistema conveniente, pues el control del recibo nocturno se dificulta y aumenta los riesgos de aceptar granos de mala calidad.
- b. Silo No.2: Capacidad 100 toneladas, permite almacenar grano secado durante la noche, para que la operación de ensacado sea realizada en forma exclusivamente diurna. El ensacado y movimiento posterior del grano en esta forma, requiere un número grande de braceros, cuyo trabajo nocturno resulta costoso por el recargo legal del salario en horas de la noche y la menor productividad inevitable en estas horas.

Si el silo se construye de altura adecuada (aproximadamente 4.50 metros) puede utilizarse además, para hacer entregas a granel.

El diseño descrito puede ampliarse, según las necesidades, para permitir el manejo de mayores volúmenes, o el recibo simultáneo de diferentes tipos de granos (por ejemplo arroz y sorgo).

La Figura No.72 ilustra una disposición conveniente: Se ha agregado un conjunto de tolva, elevador y silo independiente para el recibo del segundo grano. La operación de secado se realiza en turnos diferentes; la de arroz, por ejemplo, durante el día y la de sorgo en la noche. Es conveniente para disminuir el riesgo de contaminación, mantener los granos diferentes separados antes de prelimpieza. Para el empaque del segundo grano es conveniente construir un silo adicional (S - 4).

E. Manejo con Pérdida de Identidad

La operación económica de plantas de acondicionamiento y almacenamiento de granos, depende en gran medida del manejo de cantidades apreciables. Las continuas operaciones de cargue y descargue de los equipos, para el manejo separado de pequeños lotes de grano, reduce grandemente la capacidad total del sistema.

La solución está en el manejo del grano con pérdida de identidad, y haciendo su separación en diversos grupos de acuerdo con su tipificación. Así se simplifican las operaciones y facilita el tratamiento de volúmenes grandes.

El desarrollo y aplicación generalizado, de un sistema de tipificación racional y adecuado a las necesidades y condiciones del país, debería ser una de las primeras etapas en un programa de mejoramiento de la infraestructura de tratamiento y almacenamiento.

VII. REGLAS BASICAS PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE MANEJO DE GRANOS

A continuación se presenta una serie de fórmulas empíricas y semi-empíricas que puede utilizarse para el diseño y determinación de potencias de algunos de los componentes de un sistema de tratamiento de granos.

A. Motores Trifásicos

$$HP = \frac{\sqrt{3} \times I \times V \times EF \times F.P.}{746}$$

donde

I = Intensidad en Amperios

V = Tensión en Voltios

EF= Eficiencia (Ver placa del motor)

EP= Factor de Potencia (Ver placa del motor)

B. Conversión de Unidades

1 P S I = 27.5" de columna de agua (presión de aire)

1 B T U = 0.2519 kilo calorías (unidades de cantidad de calor)

1 M³ = 35.31 pies³

1 M³ = 28.38 Bushells (unidad Americana para volumen de grano)

1 Quintal = 46 kg (Centro América)

1 Barrel = 67 kg de arroz (unidad Americana de volumen de arroz)

1 Bulto de "Combinada" = 62.5 kg (Colombia)

1 Bulto de arroz blanco= 46 kg (Costa Atlántica)

62.5 kg (Santanderes)

75 kg (Meta - Huila - Tolima)

C. Conversión de Temperatura

°C	°F
50	122
55	131
60	140
65	149
70	158
75	167
80	176
85	185
90	194

D. Potencias

1. Tonillos sinfin

$$HP = A \times G$$

donde $A = 4.13 \times M^3 \times \text{hora} \times \text{long. (mts.)}$

y $G = 2.0$ para $A = 1$ o menor

1.5 para A entre 1 y 2

1.25 para A entre 2 y 4

1.1 para A entre 4 y 5

1.0 para A superior a 5

2. Capacidad de sinfines

Ø 6" - 165 RPM - 10.5 M³X horas

Ø 9" - 150 RPM - 33.6 M³X horas

Ø 12" - 140 RPM - 75.6 M³X horas

Ø 14" - 130 RPM - 112 M³X horas

E. Transportadores de Arrastre

1. Potencia

Ø 9" : 0.25 HP/MT

Ø 12" : 0.33 HP/MT

2. Capacidad

Ø 9" : 40 Ton/hora (maiz)

Ø 12" : 65 Ton/hora (maiz)

F. Elevadores de Cangilones

1. Potencia

$$HP = \frac{\text{Toneladas X Hora X altura (mts)}}{160}$$

G. Ventiladores Centrifugos

1. Potencia

$$HP = \frac{P.E \times CFM}{3.000}$$

dónde PE = Presión estática

CFM = Volumen de aire movido en pies cúbicos por minuto

H. Tuberías

Capacidad aproximada de (Ton/Hora) - pendiente 45° -

Diámetro	Arroz	Maíz
Ø 6"	10	15
Ø 8"	30	40
Ø 10"	40	60
Ø 12"	60	80-100

VIII. RECOMENDACIONES PARA SECAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE
MAIZ - SORGO - ARROZ - SOYA - FRIJOL

A. Maiz

Buen rendimiento industrial: en los países tropicales de América el maiz se uti
liza principalmente para:

1. Alimentos de consumo directo: arepas, tortillas, tamales, etc.
2. Molienda seca para producción de "grits" de cervecería y harinas crudas.
3. Harinas precocidas.
4. Molienda húmeda para extracción de almidones.
5. Fabricación de alimentos para animales.

1. Los alimentos de consumo directo se han preparado durante muchos años con maiz de cultivos de tipo tradicional, cosechado a mano y secado en forma lenta. Cuando en ocasiones, como resultado de malas cosechas se ha tenido que reemplazar es
te maiz con grano de zonas mecanizadas, cosechado a máquina y secado artificialmente, los resultados no han sido siempre satisfactorios; el tratamiento inadecuado de los granos desnaturaliza sus componentes y produce daños físicos que dificultan la prepa
ración de los alimentos tradicionales. Así, cuando en 1973, el Gobierno Guatemalteco importó varios miles de toneladas de maiz de los Estados Unidos; para compensar una disminución en la cosecha interna, se encontró que las "tortillas" delgadas y flexi-
bles no podían prepararse con el sistema tradicional de ebullición con cal, la tortilla resultaba dura, frágil y se conservaba en condiciones más o menos aceptables por
muy poco tiempo; fue necesario desarrollar y divulgar rápidamente un sistema diferente de preparación, con menor tiempo de cocción, que unido a mezclas con maiz de la re-
gión permitió utilizar el importado. Probablemente éste había sido secado a alta ve
locidad y elevada temperatura, de tal manera que sus almidones se habían modificado al sufrir un proceso parcial, y sin control, de gelatinización y sus proteínas desna
turalizado por la elevada temperatura física.

Cuando se seca maiz destinado a la fabricación de alimentos de consumo huma
no directo, la temperatura física máxima del grano no debería ser superior a 53-58°C y la velocidad de extracción de humedad no mayor a 3 "puntos" por hora. La tempera-
tura de aire máxima utilizable, dependerá de la humedad del grano y del tiempo de ex
posición a la acción del aire caliente. En secadoras de torre de flujo continuo, normalmente puede utilizarse 70°C a 75°C y en silos de fondo plano de secado lento, la máxima temperatura debería ser de 35°C a 40°C para evitar resecar y recalentar la
capa inferior del grano.

2. Molienda seca:

Generalmente se busca producir la mayor cantidad de "grits" para cervecería de tamaño grande y mayor valor comercial, el secamiento rápido produce quebraduras y
venceduras en la cutícula, que disminuyen la producción de "grits" y hacen el grano más frágil y susceptible a daños durante su manejo.

Las fisuras se producen por los gradientes internos de humedad que induce el secamiento rápido; el efecto directo de los gradientes de temperatura es reducido, se

ha encontrado que, sin evaporación, se requiere un gradiente entre la parte externa del grano y la interna de más de 90°C. para causar roturas.

Las fisuras en el maíz dificultan la separación del germen de las otras partes del grano, con la consiguiente reducción en calidad y rendimiento de aceite. También en este caso la temperatura física no debe ser superior a 53°C y la velocidad a 3 puntos por hora.

Los estándares de calidad utilizados actualmente para regular el comercio internacional del maíz, no permiten conocer sino en forma parcial e indirecta la fragilidad del grano; probablemente en pocos años nuevas normas lo incluirán, proporcionando incentivos para cosechar y secar los granos en forma cuidadosa y cultivar variedades más resistentes.

Medidores de fragilidad: Los modelos experimentales tienen un recipiente giratorio que levanta y deja caer el grano un número determinado de veces, los "finos" producidos durante el proceso se separan con la ayuda de una criba (por ejemplo la de 12/64" utilizada en el sistema americano para determinar la materia extraña), su cantidad podría utilizarse como índice de fragilidad.

3. Harinas precocidas:

Utilizadas para la preparación rápida de arepas y tortillas y para reemplazar parcialmente harina de trigo en la preparación de pastas y pan; se trata de una industria relativamente reciente, de rápido desarrollo, en cuyo proceso se busca gelatinizar los almidones, con la completa rotura de sus gránulos por medio de una combinación controlada de humedad, calor y presión, y en algunos casos de presiones mecánicas. La gelatinización aumenta la capacidad para absorber agua, y también la velocidad a la cual las enzimas pueden descomponer los almidones en carbohidratos más simples y solubles.

Durante el secamiento rápido, a temperatura demasiado elevada, la temperatura física del grano puede alcanzar a la de gelatinización de sus almidones (62°C-72°C) y producir cambios parciales y sin control en los mismos, que dificultan el proceso posterior con disminución de la calidad del producto final.

Las recomendaciones generales para el secamiento de maíz para uso humano, son aplicables al maíz destinado a precocción.

4. Molienda húmeda para extracción de almidones:

En este proceso el maíz se humedece con agua caliente para ablandarlo y permitir una mejor desgerminación, el almidón se separa del gluten en un proceso posterior, utilizando separadores centrífugos que hacen flotar las partículas más livianas del gluten en el centro y las pesadas del almidón en el exterior.

Los efectos del secamiento a elevada temperatura, se aprecian fácilmente en los rendimientos de la molienda húmeda. Los gránulos de almidón se encuentran incrustados en una matriz proteínica que con la elevada temperatura se desnaturaliza, (sufriendo cambios y rupturas internas en las cadenas de aminoácidos) modificándose irreversiblemente sus propiedades biológicas, actividad enzimática y haciéndose menos soluble en agua, de tal manera que no se ablanda suficientemente durante el proceso de

ensopado preliminar a la molienda; se dificulta así el proceso de desgerminación y la separación del gluten del almidón mucho más valioso comercialmente. La extracción de aceite del germen se disminuye con el secamiento artificial de granos muy húmedos, un 3% en promedio puede obtenerse de maíz secado de 20% a 10% y sólo 2.7% con granos secados de 30% a 15%.

La extracción de almidón se reduce con la temperatura de secamiento, según se aprecia en la Tabla No. 11, desarrollada con los resultados de experimentos de G. Foster (1964).

Tabla No. 11 - Disminución de Rendimiento de Almidón de acuerdo con la Temperatura de Secamiento

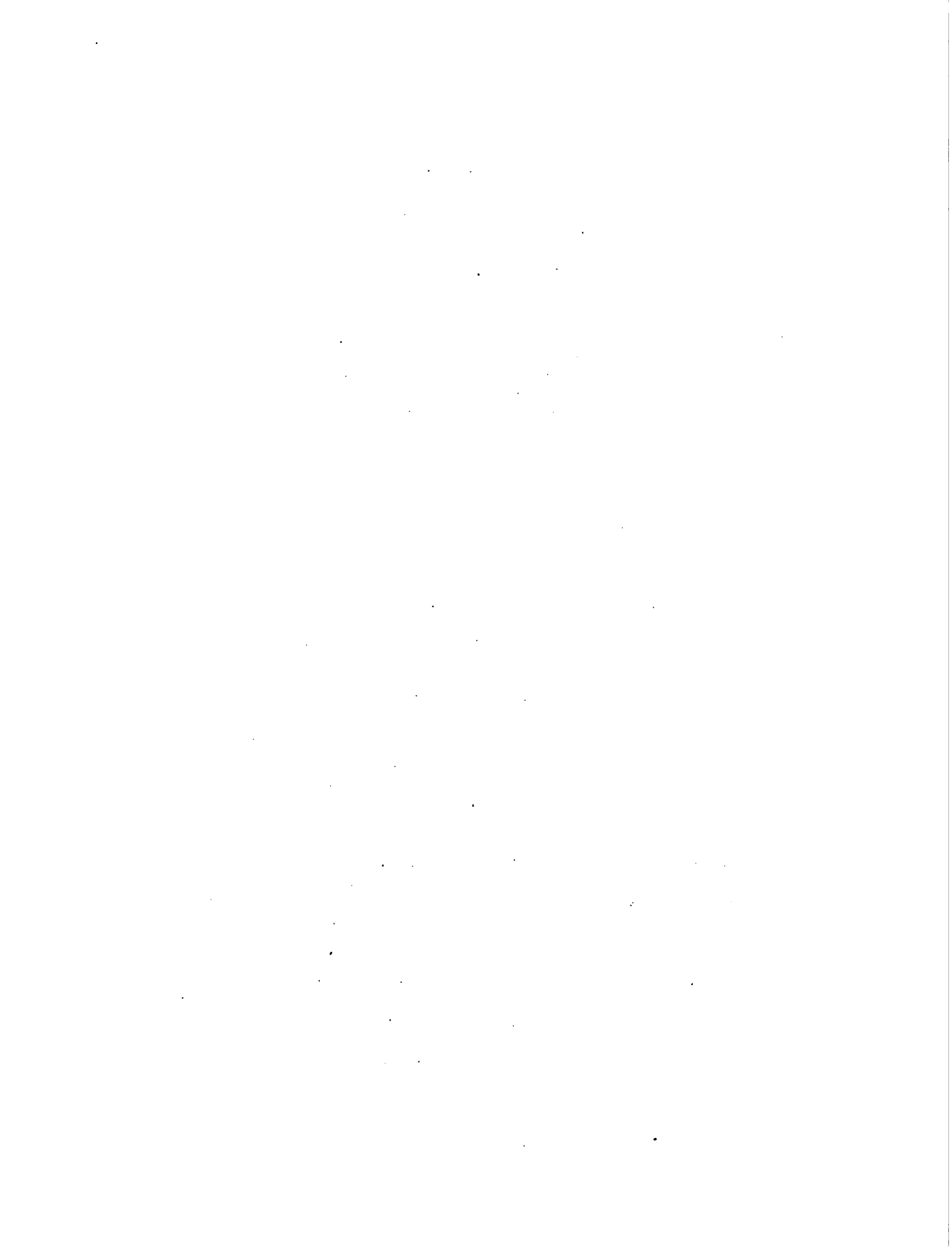
Temperatura de Aire	Temperatura Física	Rendimiento de Almidón
23°C	-	62.2% (aire natural)
60°C	48	61.2%
86°C	65	60.2%
114°C	77	57.5%

El almidón obtenido de granos recalentados tiene una menor pureza, pues contiene mayores residuos de proteína; normalmente se acepta un contenido de proteína de 0.40% en el almidón, pero el mal secamiento puede duplicarlo. La extracción de almidón es también menor, pues parte del mismo se desperdicia adherido a la fibra, de menor valor comercial; con grano sano, adecuadamente tratado el contenido de almidón en la fibra no debería ser superior a 22%.

Los daños causados por el calentamiento dependen, no sólo de la temperatura física máxima que alcance al maíz en cualquier momento, sino del tiempo de aplicación de esta temperatura. La temperatura física del grano se aproxima a la del aire cuando el tiempo de exposición es largo y la velocidad de evaporación se ha reducido, como puede apreciarse en la Figura No. 73.

Durante el proceso de secado, especialmente si se tratan granos muy húmedos y que aún no han terminado su proceso de maduración, se pueden producir granos con alteraciones organolépticas visibles; el pericarpio adquiere un aspecto oscuro y negro al desarrollarse la denominada reacción de "Maillard", característica del calentamiento de las soluciones de aminoácidos y azúcares reductoras (presentes en los granos inmaduros y de fácil oxidación). En las etapas iniciales de la reacción, las proteínas o aminoácidos presentes se combinan con los azúcares reductores, formando un compuesto soluble, aún incoloro, que posteriormente se transforma en insoluble y de color acaramelado, característico. La combinación de azúcares con aminoácidos es de muy difícil digestión, de tal manera que los granos "quemados" por secamiento, pierden parte de su valor proteínico, la lisina, uno de los aminoácidos esenciales, es generalmente uno de los primeros en deteriorarse.

El color oscuro de los granos puede también ser producido por la acción de hongos o de enzimas que, elevan su temperatura y desencadenan la reacción de "Maillard".



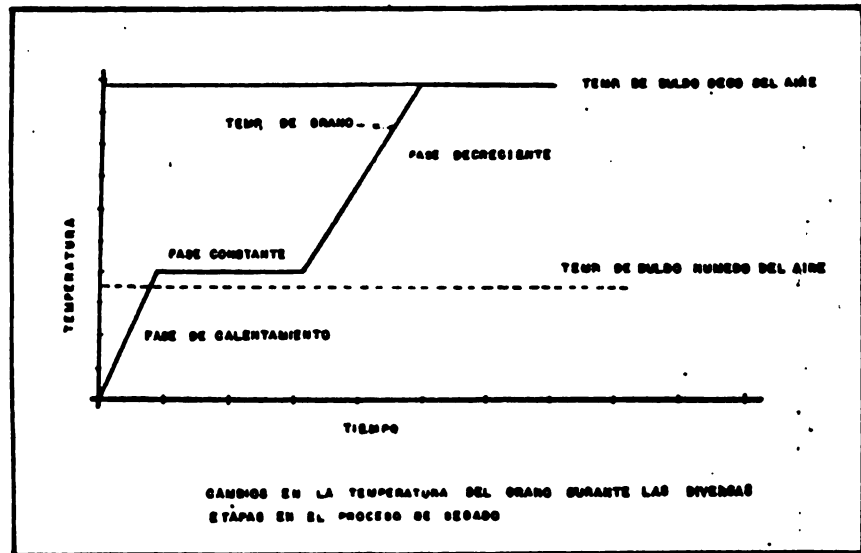


Figura No.73

El cambio de coloración se inicia en el germen donde el alto contenido de grasas favorece el calentamiento, la germinación se afecta al igual que la calidad molinera.

Los hongos que invaden el maíz, además de los daños conocidos de toxinas, etc., pueden secretar enzimas que hidrolizan el aceite del germen, descomponiéndolo en ácidos grasos y glicerol, que deben ser eliminados durante el proceso de refinado, encañiéndolo y disminuyendo su rendimiento. Es posible distinguir, con frecuencia, el maíz dañado por calentamiento propio, del dañado por exagerado calor en la secadora, pues en el primero el partirlo con una cuchilla se aprecia un daño interno total, incluyendo el germen, mientras en el segundo el daño generalmente se limita a la parte externa y no debería ser clasificado como "dañado por calor", excepto en casos muy severos, pero sí como simplemente "dañado". El hongo *Aspergillus*, por ejemplo, invade de preferencia el embrión y lo colorea de café o negro; la decoloración del germen, inicio del deterioro, puede detectarse removiendo el pericarpio que cubre el germen y examinándolo; los gérmenes que están ligeramente decolorados en su superficie o en su punta, probablemente han sido invadidos por hongos y se tornarán posteriormente de color marrón oscuro.

En los estándares de calidad utilizados internacionalmente, desde hace muchos años se incluye el "daño por calor", como puede apreciarse en la Tabla No. 12 que corresponde a la clasificación de los Estados Unidos.

Tabla No. 12 - Clasificación de Maíz - USDA

Peso Mínimo lbs/bushell/kg/m ³	Humedad	Grano Partido y Materia Extraña	Total	Grano Dañado Dañado por Calor
US No. 1 56 722	14%	2	3	0.1
No. 2 54 697	15.5%	3	5	0.2
No. 3 52 671	17.5%	4	7	0.5
No. 4 49 632	20%	5	10	1.0
No. 5 46 593	23%	7	15	3.0

En Colombia, el IDEMA para maíz duro calentano tiene una tolerancia de recibo de hasta 2% de grano dañado por calor; para las compras comerciales y de industrias no tienen establecidos límites muy claros.

En la Tabla No. 13, se reproduce la norma oficial colombiana para sorgo o millo de consumo (ICONTEC 607), norma que, desafortunadamente, no se aplica en la mayoría de las transacciones comerciales.

Tabla No.13 - Norma Colombiana para Sorgo o Millo

GRADO	GRANOS DAÑADOS		GRANOS PARTIDOS
	Por calor % máximo en peso	Total % máximo en peso	% máximo en peso
1	0.2	1	10
2	0.5	3	15
3	1.0	6	20

Los datos de la tabla anterior se aplican para grano con 15% de humedad y 3% de impurezas. Los límites máximos son 20% para humedad y 15% para impurezas. Para los tres grados, el porcentaje máximo de granos con glumas adheridas no deberá exceder de 20.

La norma colombiana, no incluye el peso volumétrico ni la humedad como factores de clasificación, los límites de granos dañados por calor son iguales a los de la norma Norteamericana, mientras los límites del total de granos dañados son bastante menores.

El contenido de impurezas, no se incluye como factor de calidad y los límites del grano partido son mucho más amplios que en la norma norteamericana.

5. Fabricación de alimentos para animales:

Sin sufrir menoscabo nutritivo, el maíz para animales, soporta mayor temperatura y velocidad de extracción un poco más rápida, que el grano para consumo humano y proceso industrial. Debe evitarse el uso de temperaturas demasiado elevadas, que causen la aparición de granos "quemados", pues como se mencionó se disminuye la digestibilidad de las proteínas. Temperatura física hasta de 65°C-70°C no parece afectar el valor nutritivo del maíz.

No debe olvidarse, sin embargo, que normalmente no se consume todo el maíz que se seque en forma inmediata, de tal manera que aunque el secado rápido, y las quebraduras y fragilidad del maíz que este produce, no se consideren importantes desde el punto de vista nutritivo, si pueden afectar el comportamiento del grano que se almacene por varios meses.

6. Recomendaciones para almacenamiento: En climas fríos, similares a los de Bogotá o Quito (15°C), el maíz sano, almacenado en arrumes sobre estibas de madera, en bodegas apropiadas y cuya ventilación pueda controlarse (especialmente en zonas húmedas), se conserva adecuadamente con humedad de 13% a 15%, las cifras más bajas deberían utilizarse para granos secados artificialmente con temperatura elevada y alta extracción de humedad; con humedad superior a 14% debería guardarse, únicamente, maíz sano, secado con máquinas de velocidad baja (3 puntos por hora y temperatura controlada). El maíz sano almacenado en silos, se conserva adecuadamente con humedad de 12% a 14%; al igual que en bodegas la humedad más alta se tolerará sólo en granos de buena calidad convenientemente secado.

En climas cálidos tropicales, el maíz en bodega puede guardarse con humedad de 12% a 15% y en silos de 11 a 13%.

Las humedades anotadas son las máximas que puede tener cualquier parte del grano almacenado, no se trata en ningún caso de humedad promedio, pues existiría la posibilidad de que la parte de mayor humedad se deteriorara afectando con el tiempo la totalidad del grano.

Humedad equilibrio: La humedad de grano que se equilibra con la humedad relativa, varía, con su tipo y variedad, en forma más o menos amplia.

En general, con una humedad relativa determinada, el maíz blanco tiene una humedad de equilibrio superior a la del maíz amarillo. Así, si se almacena en silos maíz blanco y maíz amarillo con una humedad de 14%, después de un cierto tiempo, el aire intersticial en el amarillo tendrá una humedad relativa superior a la del blanco y en consecuencia estará ligeramente más expuesto al desarrollo de hongos.

Los resultados de los experimentos realizados para encontrar la humedad de equilibrio del maíz, con frecuencia no concuerdan entre si. La ASAE por ejemplo, incluye los datos de la Tabla No. 14 en uno de sus cuadros.

Tabla No. 14 - Humedad de Equilibrio del Maíz a diversa Humedad relativa y 25°C

Humedad Relativa %

	45%	60%	75%	90%
Maíz blanco dentado	10.5	12.9	14.8	19.1
Maíz amarillo dentado	10.4	12.9	14.7	18.9

La Tabla se elaboró con datos de Coleman y Colaboradores (1925) y no tiene indicación sobre si corresponde a valores de adsorción o desorción. La ASAE en la misma publicación, pero en forma gráfica, suministra los resultados indicados en la Tabla No. 15 sin indicación de tipo de maíz (blanco amarillo) ni si se trata de procesos de adsorción o de desorción.

Tabla No. 15 - ASAE Humedad de Equilibrio de Maíz

Humedad Relativa Temperatura °C	15°C	32°C
60%	14%	11%
75%	15.5%	14%

B. Sorgo

1. Cosecha y recolección:

La calidad final del grano depende en parte de la forma y cuidado con que se ejecute su cultivo y recolección.

La escogencia de las semillas de acuerdo con el suelo y clima y la adecuada siembra, permiten recolectar granos más limpios y sanos. El uso de semillas producidas por entidades serias, produce granos de altura y tiempos de maduración uniformes que se pueden cosechar fácilmente; la siembra uniforme facilita la ejecución de las labores culturales disminuyendo las malezas, las cuales además de afectar el rendimiento del cultivo, dificultan las labores de cosecha y reducen la calidad del grano, pues el material verde de las malezas además de constituir impurezas que afectan el precio aumenta su humedad promedio.

La selección de las variedades de acuerdo a las condiciones climáticas de la zona es muy importante; los sorgos de Panoja cerrada o semiabierta como el Ica-Nataima y el P-25, no deberían sembrarse en zonas donde la humedad ambiente, durante el periodo final del cultivo fuera demasiado alta, los granos localizados en el interior de la Panoja pueden permanecer húmedos demasiado tiempo y ser invadidos por hongos. Las lluvias antes de la cosecha además, alargan el periodo vegetativo de las plantas de tal manera que se vuelve inevitable la recolección de granos inmaduros y con mayores impurezas. El clima previo a la cosecha, debe ser analizado, por los procesadores y almacenadores de granos, pues afecta toda la microflora, hongos, bacterias, etc. y hace que sea necesario extremar las precauciones con los granos recolectados en época húmeda, como sucede en el sur del Cesar y en los Llanos Orientales colombianos en los meses de Agosto y Septiembre. La recolección en el momento oportuno contribuye a mejorar la calidad comercial del grano; el sorgo no debería recolectarse dentro de lo posible, con humedad superior al 18% ni inferior al 15%; con humedad alta se aumenta el contenido de impurezas, pues disminuye la eficiencia de separación de las combinadas, y se recorta el tiempo de espera admisible entre la cosecha y el secamiento; la trilla de granos muy secos por otro lado, además de producir mayor cantidad de partidos, hace que el agricultor pierda dinero, pues generalmente las industrias tienen como "base de recibo" el 15% de humedad y no bonifican el precio de los granos más secos.

En lotes grandes, es recomendable iniciar la recolección con el 18% de humedad de tal manera que al finalizarla, el grano no tenga una humedad inferior al 15%. El sorgo trillado en estas condiciones se desgrana mejor, se parte manos y permite además, "liberar" el campo varios días antes, ganando tiempo para preparar el terreno para la siguiente cosecha y disminuyendo el costo de vigilancia (los "guachimanes" del Valle del Cauca). Debe tenerse en cuenta además que en algunas zonas, las industrias no cobran el secamiento a granos que tengan una humedad inferior al 17%; para calcular el peso neto simplemente descuentan la merma por humedad e impurezas.

El sorgo listo para ser recolectado cambia su coloración de amarillo brillante a rojo cereza (según la variedad) y su dureza hace difícil henderlo con la uña; al romperlo muestra una textura harinosa contrariamente a la lechosa de los granos verdes. Debe observarse principalmente los granos de la parte inferior de la panoja, los últimos en secarse.

2. Combinadas

Los operarios de las cosechadoras rara vez efectúan la calibración de las mismas con algún cuidado, y de acuerdo al estado en que se encuentre el grano.

Graduación inadecuada del cilindro, cóncavo y zarandas puede aumentar el contenido de impurezas, al descargar junto con el grano trozos de tallo, y producir pérdidas de grano en el terreno. Al recorrer el campo cosechado se encuentran muchas pajas enteras y otras casi llenas.

Para seleccionar la velocidad del cilindro y la distancia del cóncavo, se debe buscar un adecuado balance entre la adecuada trilla del grano y separación de glumas por un lado, y la cantidad de grano partido por el otro. Un bajo contenido de glumas es importante para mejorar las condiciones de almacenamiento.

Kantor y Webster (1967) estudiaron la forma como la velocidad del cilindro afecta la viabilidad del grano con diferentes contenidos de humedad. En este caso la pérdida de viabilidad depende principalmente de los daños físicos causados en los granos por la trilla. La Tabla No. 16 resume sus experiencias.

Tabla No. 16 - Viabilidad del Sorgo Desgranado en diferentes condiciones

	HUMEDAD %					
	30-35	25-30	20-25	15-20	10-15	Promedio
Desgranado a mano	95%	93-98	86-97	97-99	66-91	95%
1040 RPM	84%	90%	89%	94%	95%	90.4%
2950 RPM	-	41%	53%	64%	71%	50.8%

En determinados casos puede ser beneficiosa la aplicación de desecantes foliares, para facilitar la recolección y disminuir las pérdidas. En cultivos invadidos por malezas su aplicación mejora el rendimiento y la calidad del trabajo de las combinadas, disminuye el contenido de impurezas y permite adelantar la cosecha algunos días.

Los compradores de sorgo y de otros granos conocen que algunos agricultores entregan siempre, aún en condiciones climáticas desfavorables, granos limpios, sanos y de humedades apropiadas; otros, por el contrario recolectan sistemáticamente granos de mala calidad. Cuando se contrata la recolección con operadores independientes, se sigue normalmente la práctica de pagar el valor de acuerdo al número de bultos recogidos, sin darle valor a la calidad del trabajo, sistema que contribuye a la disminución de calidad de los granos.

Es práctica común de los industriales, devolver al productos en el mismo camión, el grano que se rechaza por calentamiento o cualquier otra razón: este grano

con frecuencia es zarandeado y secado al sol para posteriormente "diluirlo" con grano sano y volverlo a enviar a la industria. Tal vez sea necesario idear algún mecanismo que permita disminuir esta fuente de contaminación.

3. Humedad:

La humedad elevada puede deberse a recolección de granos fisiológicamente inmaduros o maduros pero sucios y mojados por lluvias. Los inmaduros tienen un contenido elevado de azúcares que con el secamiento artificial pueden combinarse con aminoácidos, en la reacción de "Maillard" que produce cambios de color. El deterioro de sorgo húmedo se produce en pocas horas: con 25% de humedad, tal vez no permita una espera entre recolección y secamiento de más de 12 horas en climas cálidos. Los granos plenamente maduros pero húmedos por lluvias e impurezas, son también susceptibles de deteriorarse rápidamente, su arrume temporal en la finca, antes de embarcarlo a las plantas procesadoras, debería hacerse en arrumes abiertos con adecuada ventilación entre los bultos, o en silos de acopio provistos de sistemas de aireación de alto volumen de aire.

En clima cálido moderado (24°C), sorgo con humedad de 18%-20% no permite una espera de más de 24 horas entre su recolección y secamiento, su temperatura física puede utilizarse como indicador rápido de su estado, si es superior a 30-32°C, casi seguramente ha iniciado un proceso de deterioro irreversible.

Sorgo con humedad entre 16 y 18% debería secarse antes de 48 horas, mientras que grano con humedad inferior puede permitir hasta 72 horas. Sorgo con humedad superior a 20-22% no debería recolectarse si no es posible secarlo en el transcurso del mismo día o añadirle inmediatamente inhibidores de hongos en dosis apropiadas (ácidos orgánicos y sus sales).

Normalmente, después de terminar la cosecha mecánica, se hace necesario recoger inmediatamente las panojas sin desgranar que queden en el terreno para evitar su deterioro y la aparición de rebrotes.

4. Variedades:

En Colombia se siembran más de 14 variedades de sorgo (1976).

Según la forma de su panoja, las más difundidas pueden agruparse así:

- a. Panoja abierta. Variedad E-57 apropiada para zonas secas y calientes, de color casi rojo y granos de tamaño mediano.

BR-64, grano grande aristado y de color café, usualmente se presenta con un contenido alto de glumas. Su mercadeo puede dificultarse por el elevado contenido de taninos que le dé sus características "antipájaro".

- b. Panojas semi-abiertas. Dorado: grano de bajo peso volumétrico, si se seca demasiado en la mata tiende a caerse, las "mermas" que sufre durante su acondicionamiento tienden a ser elevadas, pues los ventiladores de las limpiadoras y secadoras de torre pueden expulsar una cantidad apreciable a la atmósfera.

- c. Panoja cerrada. Ica Nataima (en ocasiones calificado como semi-abierto), grano de peso hectolítrico intermedio (600-650 kg/m³), de tamaño menor que el BR-64 y con menor contenido de lumas después de trillado. Su estructura física hace que su secamiento sea más fácil que el de otros sorgos.

P-25, de mayor tamaño que el Ica Nataima, de color claro, su contenido de glumas normalmente no es muy alto.

Al igual que en el maíz, la susceptibilidad al ataque de insectos se puede correlacionar con la dureza del endospermo, los sorgos vitreos y de tamaño pequeño son más resistentes que los grandes y harinosos. Los granos de glumas cerradas son casi más resistentes que los grandes y harinosos. Los granos de glumas cerradas son casi inmunes a la invasión de insectos en el campo aunque su manejo posterior se dificulta.

5. Humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio del sorgo con diversas humedades relativas, varía con el tipo y variedad, según esté ganando (adsorción) o perdiendo humedad (desorción), de acuerdo con el efecto de Histeresis. La mayor parte de los estudios sobre humedades de equilibrio que son utilizados usualmente, fueron hechos hace varios años, antes del gran desarrollo del proceso de secado artificial, y en consecuencia, no tienen en cuenta los cambios que éste produce en las características higroscópicas de los granos. Así las curvas y tablas recomendadas por la Asociación Americana de Ingenieros Agrícolas ASAE, se basan en estudios realizados en 1925 por Coleman y Colaboradores, 1928 por Coleman y Rothgeb, en 1941 por Fenton, en 1949 por Adams. En 1955 por Hogan y Karon y en 1972 por Adams y Shovel. Estos estudios analizaron granos de variedades prevaletientes en la época y con la excepción del de Adams y Shovel, que se refiere a soya, no tienen indicación de corresponder a procesos de adsorción o desorción, despreciando el efecto de Histeresis.

En 1965 Davey y Elcoate recopilaron los resultados de los principales estudios hechos sobre humedad de equilibrio del sorgo; en la Tabla No. 17 se anotan los promedios de cuatro de ellos cuyos valores concuerdan entre sí, no se incluyó el estudio No. 5 (Whitshead, Gastler, 1946) pues discrepa notoriamente.

Tabla No. 17 - Valor Promedio de Humedad de Equilibrio de Diversas Variedades de Sorgo a aproximadamente 25°C en proceso de Adsorción

Humedad Relativa	Humedad de Equilibrio
50%	11%
55%	11.6%
60%	12.1%
65%	13%
70%	13.7%
75%	14.5%
80%	15.8%
85%	17%
90%	18.7%
95%	20.7%

Los valores de la Tabla No. 17, al igual que los resultados de cualquier otro experimento, deben utilizarse con cuidado y no tomarse nunca como valores exactos, sino como simple guía.

En almacenamiento en zonas tropicales, el problema que se presenta generalmente es el de rehumedecimiento de grano seco almacenado, de tal manera que las isoterms de adsorción son las que revisten mayor importancia.

6. Acondicionamiento

En las condiciones climáticas colombianas y con las fechas actuales de siembra y recolección, alrededor del 50% de la producción de sorgo debe secarse artificialmente. La cantidad ha ido en aumento con la expansión de las zonas de cultivos, la mecanización y con los controles de calidad más estrictos que han establecido las industrias.

En zonas como el Norte del Tolima (Armero, Ambalema, Lérica) en condiciones normales, la mayor parte de sorgo se cosecha seco, sin necesitar demasiado secamiento artificial; por el contrario en el sur del Cesar (Aguachica, Gamarra, San Martín) en la temporada de agosto-setiembre, y dadas las condiciones climáticas, la mayor parte del grano exige secamiento artificial. El sorgo húmedo que secan directamente las industrias productoras de balanceados, normalmente, en Colombia no se somete a pre-limpieza, a lo sumo se utiliza una malla de 3/4" x 3/4" colocada sobre las tolvas de recepción, para impedir la entrada de impurezas demasiado grandes y de parte de las cabuyas de amarre de los sacos.

En las plantas de silos de los almacenes de depósito, por el contrario, el sorgo normalmente se pre-limpia para reducir sus impurezas a niveles cercanos al 3%. En algunas zonas se recolecta sorgo muy sucio, con impurezas superiores al 8% y cuyo almacenamiento se dificulta.

Las recomendaciones dadas para el maíz utilizado en alimentos para animales, son aplicables en general, al sorgo: no conviene, especialmente en granos que se almacenarán por varios meses, remover la humedad a velocidad superior a 3.5 puntos por hora; la máxima temperatura física que el grano soporta no debería ser superior a 60°C. Cuando se deba secar sorgo muy húmedo, con humedad superior al 19 ó 20%, es recomendable especialmente si el grano se almacenara, efectuar el secamiento en dos pasos, separados por un periodo de reposo de por lo menos cuatro horas, que disipe los esfuerzos internos, reduzca la aparición de vendeduras en el grano y permita obtener una mejor eficiencia térmica del equipo.

7. Almacenamiento

El sorgo en general, por su mayor contenido de impurezas y granos quebrados, puede ser un poco más difícil de conservar que el maíz. En el Valle del Cauca, la experiencia de varios años de empresas que efectúan almacenamientos a granel en bodegas-silos (no confinadas) y en arrumes, indica que en estos últimos se presentan con frecuencia mayores infestaciones que en los graneles, tal vez por invasiones previas presentes en los empaques de "segunda" o por la mejor "cama" que el mismo empaque forma para los insectos.

Para almacenar, en cualquier circunstancia y por tiempo más o menos largo, grano que llegue en bultos directamente de las fincas productoras, es indispensable efectuar un control de humedad bulto por bulto, antes de autorizar su almacenamiento; unos pocos bultos húmedos pueden poner en peligro, en un período de algunos meses, la calidad de todo el arrume. En el clima de Bogotá (temperatura media de 12-15°C, 2.600 - mts. s.n.m.) se ha conseguido buenos resultados, con sorgo almacenado en arrumes con 15% de humedad durante varios meses, controlando naturalmente los insectos con nebulizaciones y fumigaciones.

En climas cálidos (24°C.), no demasiado húmedos, no es conveniente almacenar el grano con humedad superior a 14%. En zonas húmedas es preferible secar todo el grano a menos de 13% y tener cuidado, ya sea que se guarde en silos o bodegas, de reducir la entrada de aire ambiente que pueda humedecerlo. El olor del grano dentro de la bodega, en los callejones entre arrumes, es un buen indicativo de su estado. Debe tenerse especial cuidado en inspeccionar la parte superior y central de los arrumes y el punto de contacto del mismo con las estibas.

En la Sabana de Bogotá (12°- 15°C) y el Valle del Cauca, de temperatura mayor (25°C) pero de humedad relativa baja (65%-70%) se ha almacenado sorgo a granel en bodegas-silo desde hace tiempo. Estas bodegas-silo tienen paredes diseñadas para soportar los empujes laterales del grano y pueden subdividirse interiormente con "trinchos" construidos con los mismos sacos llenos de grano.

C. Arroz

1. Secado con aire frío:

Es un sistema recomendable para granjas pequeñas y cuya aplicación se limita por condiciones ambientales de temperatura y humedad. Se utiliza un ventilador para soplar aire por debajo de la mesa de granos. El recipiente puede construirse en ladrillo, con un fondo falso perforado, de malla fina o lámina perforada.

El paso del aire produce un enfriamiento en el aire por capas, que va "ascendiendo" lentamente por toda la masa. Este "frente" de enfriamiento es seguido varios días, o semanas, después por un "frente" de secamiento. Sin importar el volumen de aire utilizado el enfriamiento y secamiento siempre avanza por capas.

La tasa de aire normalmente utilizada es de 2.5 a 3 CFM/Bushell de arroz (2 a 2.4 m³/min/m³). En consecuencia una batería de 5 silos para 350 "bultos" cada una, (21 tons.) requiere aproximadamente 15.500 CFM y un motor de 15 HP para mover el ventilador, con espesor de grano de aproximadamente 1.20 mts.

El principal inconveniente del sistema es el tiempo de secamiento necesario, que dependiendo de las condiciones ambientales de la temperatura inicial del arroz y del grosor de la capa de grano, puede variar entre una semana y dos o tres meses, en sitios muy húmedos es posible que no se pueda terminar el secamiento y se desarrollan hongos con su secuela de toxinos y deterioro de calidad.

El aumento del espesor del grano incrementa la resistencia ejercida al paso del aire y exige un aumento, más que proporcional, en el tamaño de los ventiladores

y el consumo de potencia, prolongando además, en algunos casos, el tiempo de secamiento en tal forma que permite también el desarrollo de hongos en las partes aún húmedas del grano.

El valor de la humedad relativa de las isoterms de desorción, puede utilizarse para determinar las condiciones ambientales en las cuales es posible ventilar y efectuar algún secamiento y la humedad final del grano. Se ha discutido sobre el sentido más recomendable para el flujo de aire en estos sistemas: de abajo hacia arriba o al contrario, soplado o succionado?. Desde el punto de vista práctico parece preferible "soplar" aire de abajo hacia arriba, por facilidad y economía de construcción en primer lugar: paredes de ladrillo con un piso perforado y descarga libre debajo de una cubierta, y aunque el aire húmedo al desplazarse de las capas inferiores hacia las superiores las humedece y puede condensarse, su vigilancia y control de daños serán más fáciles de realizar que en un sistema de succión inferior, donde no se produce condensación, pero la parte más húmeda del grano queda en el fondo de la masa en un sitio difícil de muestrear.

El cargue de los silos puede mecanizarse completamente; el descargue en los - construidos en ladrillo y de sección rectangular requiere de todas maneras el empleo de personal, para "palear" el grano que no fluye por gravedad hasta el transportador lateral; labor engorrosa que debe efectuarse en condiciones de trabajo difíciles, en un ambiente cerrado y cargado de polvos. En silos metálicos de sección circular, el descargue puede mecanizarse con ayuda de sinfines barredores.

2. Secado en silos con aire caliente:

Se utilizan estructuras similares a las descritas anteriormente.

En el medio colombiano este sistema se ha usado con buenos resultados en instalaciones de tamaño pequeño y mediano, para tratar hasta 300.000 ó 400.000 "bultos" por año (18.000 a 20.000 toneladas). Si desea tratar cantidades mayores, el área requerida, el costo de los sistemas para mecanizar el cargue y el descargue y la demasia da mano de obra necesaria lo van haciendo antieconómico.

La instalación típica colombiana de este sistema utiliza ventiladores con motores de 50 a 60 HP que fuerzan un volumen de aire de 4.8 a $6 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^3$ (6 a 7.5 CFM/Bushell) en baterías de cuatro o cinco silos con una capacidad total de 90 a 120 tons., (1.500 a 2.000 bultos). Un pequeño quemador para dos a cuatro galones por hora de combustible Diesel, provisto de un sistema intercambiador de calor permite incrementar la temperatura del aire ambiente en 4°C ó 5°C . Según las condiciones externas el tiempo de secamiento oscila entre 60 y 100 horas.

Con transportadores de cargue y descargue, se puede llenar una batería de cinco silos en 5 ó 6 horas y descargarla en un tiempo un poco mayor. La capacidad promedio de los sistemas descritos mecanizados es de 1.3 tons./hora.

El uso del aire precalentado permite que en casi todas las condiciones climáticas se pueda efectuar secamientos sin peligro de rehumedecimiento. Aire a 25°C con humedad relativa de 90%, no apropiado para secamiento, si se calienta a 29°C tendrá una humedad relativa del 72% que permite secar el grano hasta un nivel satisfactorio para casi cualquier condición. La profundidad de la capa de arroz que se utiliza en Colombia es de 1.10 a 1.50 mts.

El gradiente de humedad aumenta con el espesor de grano; cuando éste es de 1.10 mts., la diferencia de humedad puede ser de 0.8% a 1.5%, mientras que con espesor de 1.50 mts., la diferencia puede llegar a ser de 2.5%. Si se prolonga por tiempo suficiente el secamiento, todo el grano adquirirá la misma humedad, la de equilibrio con la humedad relativa del aire y la cual será demasiado reducida para los propósitos prácticos del almacenamiento, de tal manera que se hace necesario suspender el proceso en una etapa intermedia, en la cual la humedad promedio sea la deseada. En las Figuras Nos. 74 y 75 se analiza el comportamiento promedio de la humedad y temperatura de las capas superior e inferior de grano, en un silo con capa de grano de 1.20 mts. de grano y 7.5 CFM/Bushell, en un sitio de humedad relativa promedio de 50% y con un quemador de 6 galones de combustible Diesel por hora, provisto de termostato para control de temperatura, instalación que puede considerarse típica en Colombia.

En la Figura No.74 se aprecia que la temperatura física del grano de la parte inferior del silo, tiende a seguir las variaciones de la temperatura ambiente, pues aunque el quemador utilizado tenía un control termostático graduado en $38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, su capacidad resultaba insuficiente para contrarrestar totalmente las variaciones ambientales y mantener una temperatura constante.

En las primeras horas de secamiento, cuando la temperatura ambiente descendía, el grano de las capas inferiores se enfrió con mayor velocidad, por el efecto de "refrigeración" de la rápida evaporación. Generalmente, cuando la humedad relativa no es demasiado alta, la temperatura de este grano es inferior a la ambiente entre las seis y 20 horas de trabajo. El arroz situado en la parte superior del silo tiene un comportamiento diferente: En condiciones normales y ya sea que la temperatura ambiente está aumentando o disminuyendo, la temperatura del grano tiende a descender durante las primeras ocho o 10 horas a un nivel intermedio entre la temperatura ambiente (bulbo seco) y la del bulbo húmedo, nivel que será más cercano a esta última, al disminuir la humedad relativa. Después de esta etapa inicial, se inicia un ascenso gradual, cuya velocidad depende de la humedad relativa; si ésta es baja (por ejemplo, 30%) la temperatura puede estabilizarse durante 15 ó 20 horas y continuar luego acercándose a la temperatura física inferior y a la del aire de secamiento.

En la Figura No.75 se observa el comportamiento de la humedad del grano en las capas superior e inferior durante el secado.

Humedad inferior. Desciende en forma rápida inicialmente, de tal manera que en sólo 14 horas aproximadamente podría reducirse la mitad de la humedad deseada; la velocidad de evaporación disminuye posteriormente un poco, de tal manera que se podría tener arroz de "punto" (humedad de 13, 13.5%) en 30 a 35 horas; cambios en la humedad relativa del ambiente pueden rehumedecerlo y producir quebraduras ("grifado") por tensiones internas.

Humedad superior. Inicialmente descende con una velocidad un poco menor que la de la humedad inferior, después de 12 a 15 horas se presenta un humedecimiento causado por la humedad que proviene de la rápida evaporación de los granos inferiores y por condensación del aire de salida que se ha calentado. Esta etapa puede durar entre 8 y 16 horas y es seguida por una pérdida de humedad continua hasta llegar al nivel deseado.

En las Figuras la temperatura inicial del grano es relativamente elevada, pues en el ensayo el arroz provenía de una secadora de torre de flujo continuo, en la cual

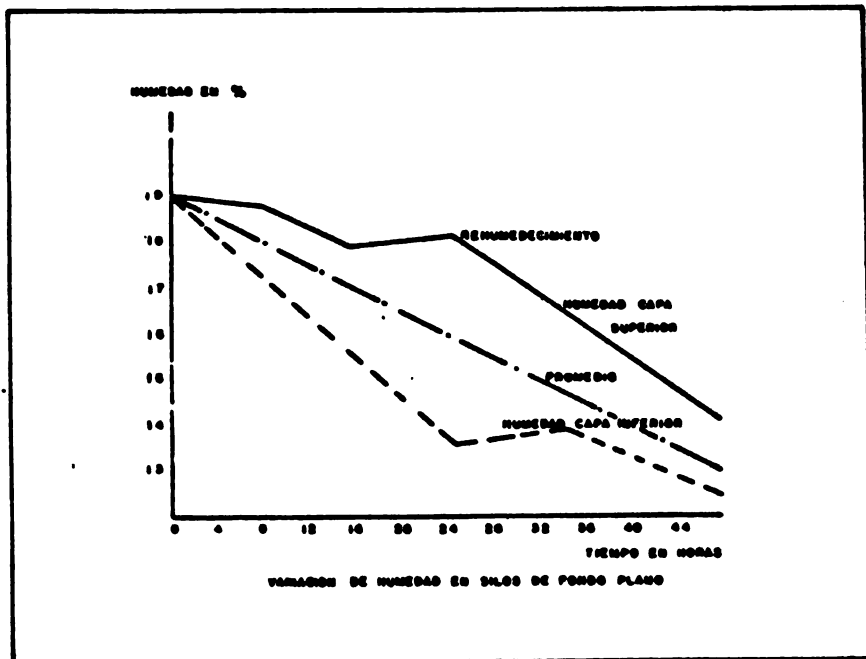


Figura No.74

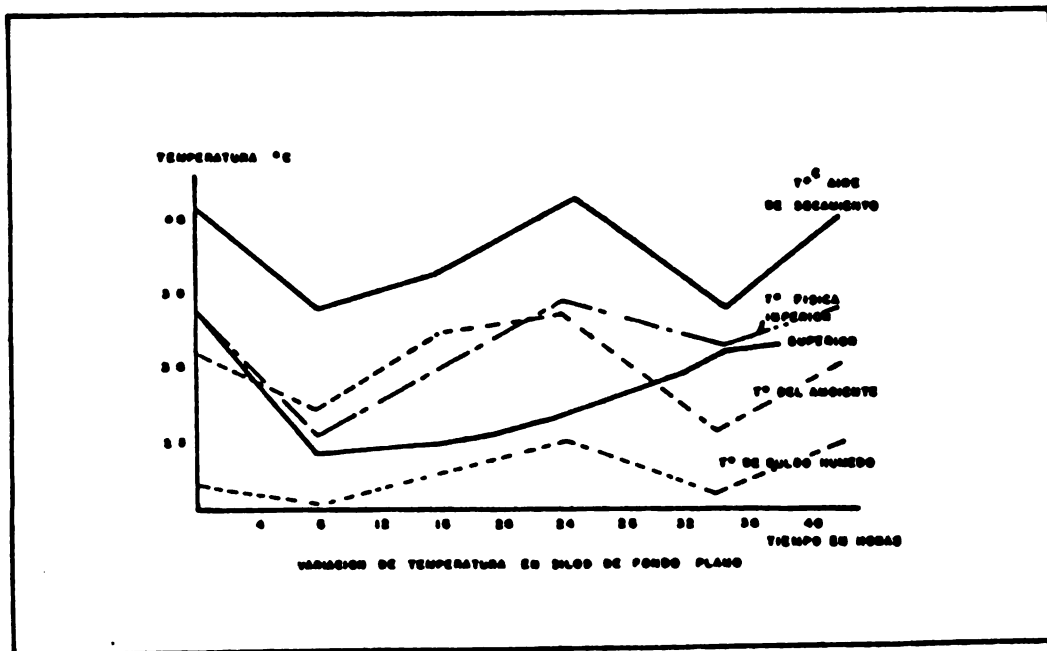
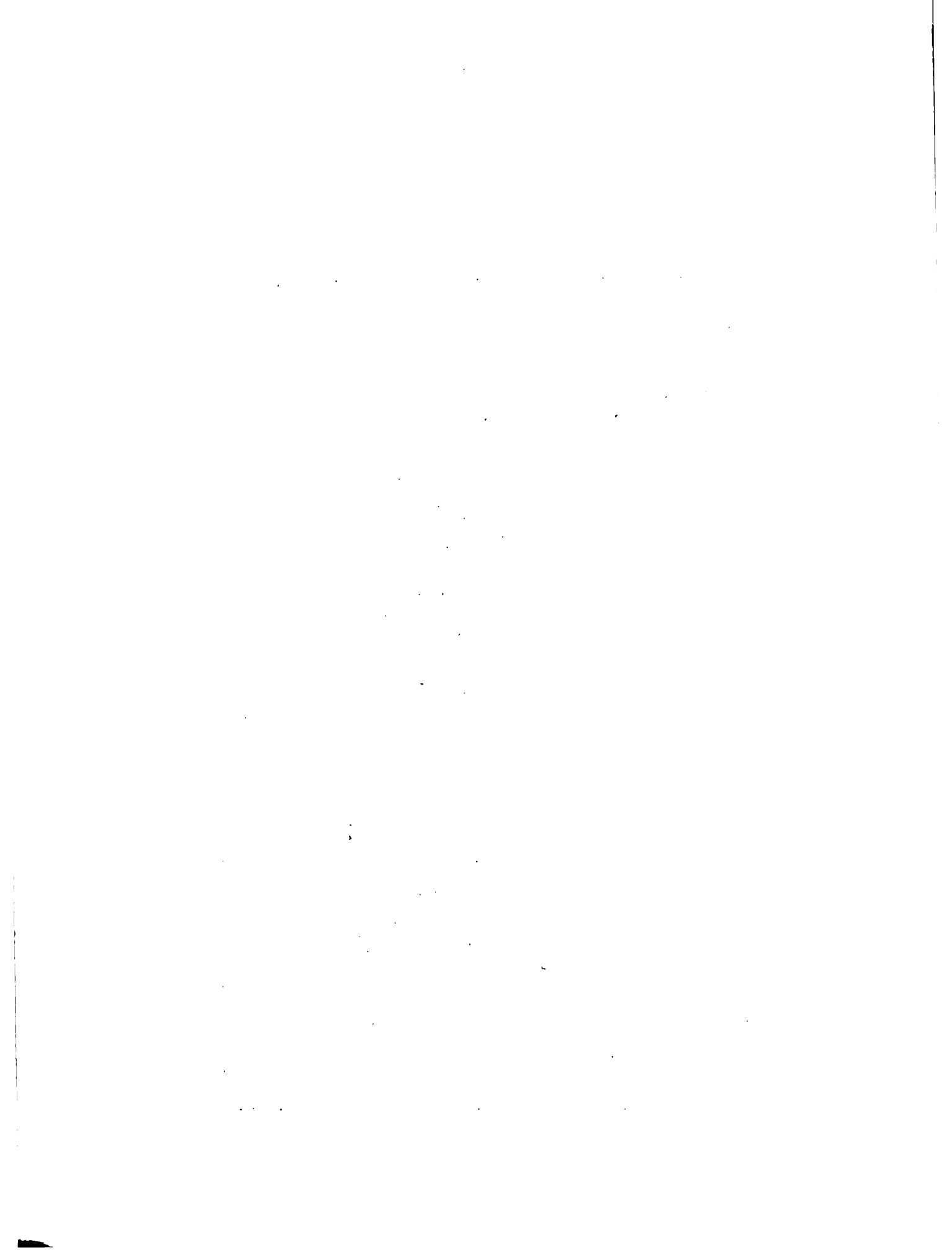


Figura No.75



se había removido la humedad de 24% a 19%; sin embargo el comportamiento general es similar con granos de temperaturas más bajas. Este sistema de secado para tratar cantidades apreciables de arroz, requiere inversiones grandes en equipos para cargue y descargue y ocupa demasiado espacio. Por ejemplo, para secar 60.000 toneladas por año (un millón de bultos) en dos cosechas de 75 días hábiles cada una, y considerando un "golpe de cosecha" de sólo 30%, se necesitarían 18 "baterías" de 5 silos cada una.

Motores para un total de 900 HP, área cubierta de 8.000 M2 y más de un kilómetro de transportadores para el cargue y descargue.

En la mayor parte de las secadoras de "fondo Plano" instaladas en Colombia, es posible aumentar el rendimiento, en 20% ó más, en forma sencilla; verificando que los ventiladores consuman la totalidad de la potencia disponible del motor y que los quemadores tengan capacidad suficiente para mantener la temperatura de aire más o menos constante y carcana a 38°C.

Si el secamiento se hace en silos circulares, como es frecuente en los Estados Unidos, es posible mecanizar totalmente el cargue y el descargue por medio de sin-fines y barredores, el espesor del grano en estos sistemas normalmente varía entre 90 y 120 centímetros; el volumen de aire de 8 a 15 CFM/Bushell (un poco superior al utilizado en Colombia) y la mayor temperatura 120°F (49°C) a 160°F (71°C) permiten secar una "cochada" en aproximadamente 24 horas. El tamaño del equipo de secamiento se escoge de tal manera, que se cuente con área suficiente para depositar en ella el grano húmedo recolectado en el día a una profundidad no superior a 1.20 mts.

Normalmente en los silos circulares después de terminar el secado con aire caliente, se enfría el grano con aire ambiente para facilitar su almacenamiento y para disminuir un poco las diferencias de humedad que se presentan entre las capas superior e inferior del grano, el aire frío añade algo de humedad al grano reseco del fondo.

3. Los principales parámetros que definen este tipo de secamiento son: La profundidad del grano, su humedad, la velocidad del aire y su temperatura; sus variaciones producen diferentes efectos en el secamiento:

- a. Temperatura. Su aumento principalmente produce un resecamiento en la capa inferior del grano, una ligera disminución del grano de humedad media y un aumento de la capa superior húmeda.
- b. Profundidad. Si se disminuye el espesor de la capa de grano, la zona de humedad media ("el frente de secamiento") se aumenta disminuyendo el grano reseco y el de humedad elevada.
- c. Flujo de aire. El aumento de flujo de aire amplía también la zona de humedad media, disminuyen los granos resacos y húmedos y el tiempo de secado.

El principal inconveniente del sistema es la diferencia de humedad final, especialmente cuando se utiliza temperatura elevada. Para disminuir problemas durante el almacenamiento por focos de humedad y DAÑOS EN EL TRANSPORTE de los granos resacos, es conveniente mezclar los granos aún húmedos con los secos durante el descargue de los silos.

Desde hace varios años, para disminuir el gradiente de humedades, característico del sistema, se han venido utilizando dispositivos revolvedores de granos, formados por sinfines verticales colocados dentro del grano, que además de tener movimiento giratorio se desplazan horizontalmente siguiendo trayectorias establecidas dentro del silo. Con ellos se eleva grano del piso hasta las capas superiores permitiendo el descenso de éstas. Los revolvedores reducen las diferencias de humedad, mejoran el flujo de aire hasta en un 10% al disminuir la compactación y aumentan el rendimiento en la misma proporción, los daños mecánicos que pueden causar el grano son reducidos y permiten secar en forma efectiva capas de grano de dos o más metros; sin embargo su acción aumenta las cargas sobre paredes de los silos, efecto que puede causar daños importantes y los "finos" y polvo tienden a acumularse en el fondo, pudiendo afectar el normal flujo de aire.

En climas con amplias variaciones de temperatura, el grano cercano a las paredes del silo, donde no alcanza la acción de los revolvedores, puede permanecer húmedo durante todo el proceso y causar problemas durante el almacenamiento posterior.

- d. Recirculación en silos. Es otro sistema utilizado en los Estados Unidos para disminuir los problemas inherentes al secado en silos. Los sinfines barredores remueven grano del fondo a intervalos determinados, según la extracción de humedad que se desee, este grano es depositado nuevamente sobre la capa superior húmeda; se consigue una mejora en la utilización del calor pues constantemente se está secando grano cuya velocidad de evaporación es apreciable. Al igual que en los sistemas provistos de revolvedores se incrementa la carga en las paredes y se acumulan impurezas en el piso, que hacen necesaria su limpieza periódica.

4. Secamiento en torre

Se remueve la humedad al atravesar con aire caliente una masa de grano colocada dentro de una columna. El secamiento puede ser estacionario o de flujo continuo.

Las secadoras de torre se dividen en dos tipos principales, según los granos se mezclan o no durante su descenso; las no mezcladoras utilizan columnas o cilindros concéntricos de malla perforada donde se deposita el grano. En la Figura No. 76, se aprecia los elementos principales que conforman una secadora de cilindros concéntricos, en la cual el aire de secamiento se precalienta al utilizarse para enfriar el grano de la sección inferior de la torre.

El ancho de la columna del grano determina el gradiente de temperatura y humedad al terminar el proceso. El grano del lado caliente (interno) de la columna se reseca, mientras el del lado frío queda un poco húmedo.

Normalmente el espesor es inferior a 30 centímetros, el gradiente de humedad aumenta apreciablemente cuando se utiliza espesores mayores.

Las secadoras de tipo mezclador utilizan generalmente caballetes internos con forma de V invertida, para mezclar el grano e introducir y remover el aire, caballetes desarrollados en la Universidad de Luisiana (LSU), Figura No. 77. Con relación

al volumen de aire y al tiempo de retención o de exposición a la acción del aire caliente, las secadoras no mezcladoras utilizan un volumen de aire que oscila entre 70 y 100 CFM/Bushell y tiempos de retención cortos, que producen una velocidad de remoción de humedad más alta que las máquinas mezcladoras cuyo volumen de aire no es superior a 50' CFM/Bushell ($40 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^3$).

En los dos tipos, un sistema de descarga, cuya velocidad debe poderse variar dentro de un rango más o menos amplio, permite ajustar el tiempo de retención del grano dentro de la torre y la remoción de humedad.

Las secadoras de flujo continuo se utilizan en instalaciones grandes, con sistemas de mecanización completos, elevadores y transportadores, limpiadoras, etc. Sus operarios deben tener una mayor capacidad técnica que los de instalaciones más simples, su ubicación debe planearse en forma cuidadosa por técnicos experimentados.

Para conseguir un mejor rendimiento de arroz entero, la remoción de humedad debe efectuarse gradualmente, pasando el grano varias veces por la torre permitiendo que después de cada "paso" el grano "repose" por periodos convenientes.

El secamiento por "pasos" busca disminuir el tiempo neto de secado y prevenir la rotura y "grifamiento" de los granos, causado por extracción de humedad muy rápida, más de 3 ó 4 puntos por hora. Durante los periodos de reposo se homogeniza la humedad interna, disipando las tensiones que aumentan las roturas; la eficiencia térmica mejora, pues cada "paso" sucesivo se inicia, después del reposo, con humedad superficial que permite una rápida evaporación inicial.

El número de "pasos" influye apreciablemente en el rendimiento total de una determinada secadora. 10 toneladas por hora de arroz seco con 5 pasos de secado, se pueden reducir a 7 con 3 pasos y a 4 toneladas por hora, o menos, si se pretende secar el grano en un sólo paso.

El tiempo de reposo debe ser suficiente para permitir la difusión interna total de la humedad. La variedad de arroz y la extracción de humedad hecha en cada paso afectan el tiempo necesario de reposo; con ayuda de equipos de laboratorio, que permitan medir la variación de las presiones de vapor dentro del grano, puede determinarse este tiempo en forma precisa.

En plantas de secamiento comerciales, el reposo apropiado para cada tiempo de grano y extracción de humedad, puede encontrarse con suficiente aproximación, mediante lecturas de humedad consecutivas tomadas con un buen medidor eléctrico de tipo resistivo, sobre una muestra de grano caliente tomado de la secadora; estos medidores tienden a medir la humedad de las cubiertas externas del grano y en consecuencia sus lecturas consecutivas en un periodo corto indicarán humedad diferente y cada vez mayor, hasta llegar, generalmente después de 6 u 8 horas, a un nivel de estabilidad que corresponde a la difusión completa de la humedad.

Dachtler en unos ensayos promovidos por el USDA encontró una mejoría en la eficiencia de secado con reposos hasta de 24 horas, sin embargo observó que la mayor parte de los beneficios se consiguen con reposos de sólo 6 horas, y la mejoría adicional con reposos de más de 12 horas es apenas detectable.

Normalmente el "reposo" se efectúa con el arroz a la misma temperatura que tiene al salir de la secadora, temperatura que en silos de concreto o ladrillo, se mantiene constante y que en silos metálicos pueda variar un poco dependiendo de las condiciones del ambiente.

No es conveniente enfriar el grano en la secadora, aunque ésta disponga de sección de enfriamiento fácilmente ajustable, pues el rápido cambio de temperatura tiende a quebrarlo y el tiempo de reposo necesario se hace más largo, la velocidad de difusión de la humedad interna es mayor en granos calientes que en fríos. Arroz de variedad corta, a 40°C se pueden equilibrar adecuadamente en 4-5 horas, mientras que necesita 6-7 horas a 24°C.

En el primer "paso" de secamiento si el grano tiene una humedad alta y uniforme (24-25%) es posible utilizar temperatura elevada (60-65°C), sin que se afecte al rendimiento de grano entero, la fuerte evaporación superficial refrigera el grano y evita la elevación demasiado rápida de su temperatura. Si la humedad no es uniforme se encuentran granos más secos mezclados que se pueden recalentar y quebrar.

El primer "paso" se debe hacer con un tiempo de retención corto, de tal manera que la temperatura del grano no sea superior a 35°C-36°C; los siguientes "pasos" pueden hacerse con aire a 55°C-60°C, ajustando el tiempo de retención para que la temperatura del grano no exceda de 38-40°C.

Si se dispone de suficiente número de silos de trabajo, de equipos de cargue y descargue de buena capacidad, que permitan tiempo de retención en la secadora de 40 minutos o aún menor, y los lotes de grano para secar son de tamaño grande, se puede aumentar en forma apreciable la capacidad de las instalaciones ejecutando un mayor número de pasos por la torre (4-5); la extracción de humedad en cada "paso" será menor, al igual que el tiempo neto total que el grano permanece dentro de la secadora.

En la Figura No. 3 desarrollada por Wasserman y Colaboradores (1963) se indica la relación existente entre los tiempos de secado "netos", el número de pasos por la torre, la temperatura de aire y el efecto de sus variaciones en el rendimiento de grano entero en el molino. Las curvas se dibujaron con datos de laboratorio y por lo tanto las variaciones no corresponden a las que se consiguen en instalaciones industriales pero sí indican las tendencias generales.

El rendimiento de una instalación puede incrementarse también si se airean los granos durante los periodos de reposo. Ensayos realizados en una instalación industrial determinaron que el número de "pasos de secamiento promedio", se pueden reducir de 4.6 a 3.6, sin afectar el rendimiento de arroz entero. La aireación lenta durante el reposo, además de enfriar el grano, puede remover hasta el 30% de la humedad total haciendo uso, como en el sistema de secado -aireación de maíz, del calor almacenado en el grano, con periodos de reposo de 15 a 24 horas y un volumen de aire de aproximadamente 0.3 CFM/Bushell (0.24 m³/min/m³).

Después del último paso de secamiento y antes de enviar el grano para almacenaje, es necesario reducir la temperatura hasta una cercana a la ambiente (no superior en 4-5°C), para evitar movimientos de humedad en la masa almacenada. Este enfriamiento se debe hacer después de un periodo de reposo, pues si se efectúa inmediatamente finalizado el secado y en forma muy rápida, se produce un rehumedecimiento

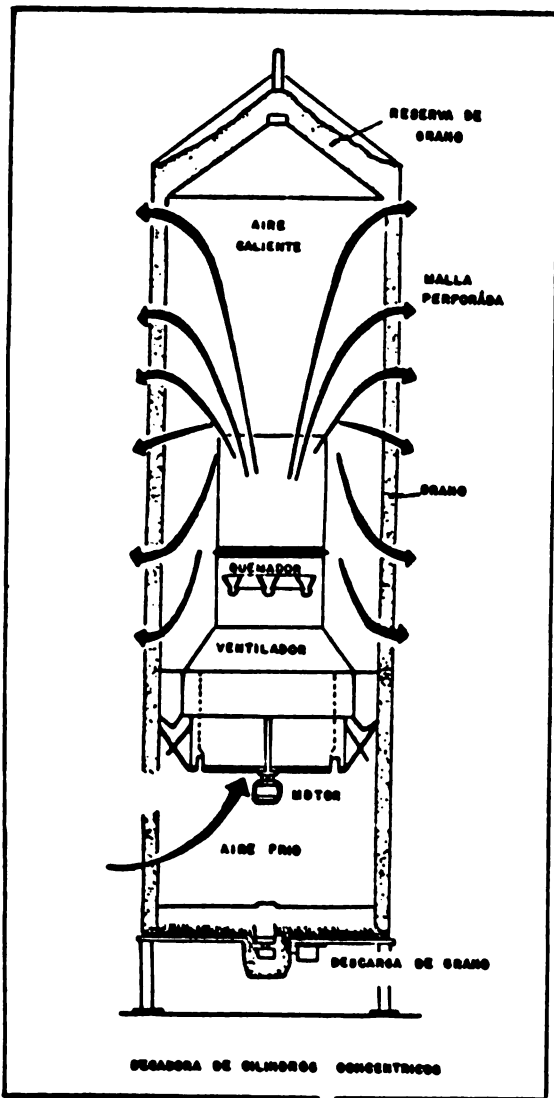


Figura No.76

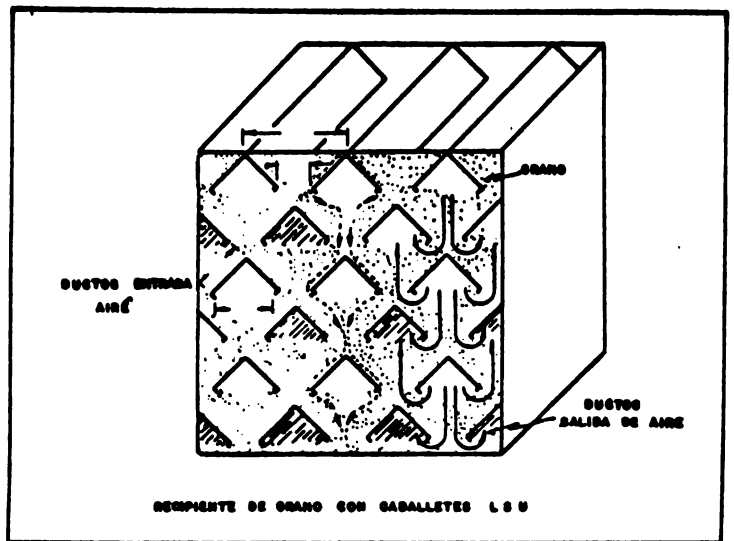


Figura No.77

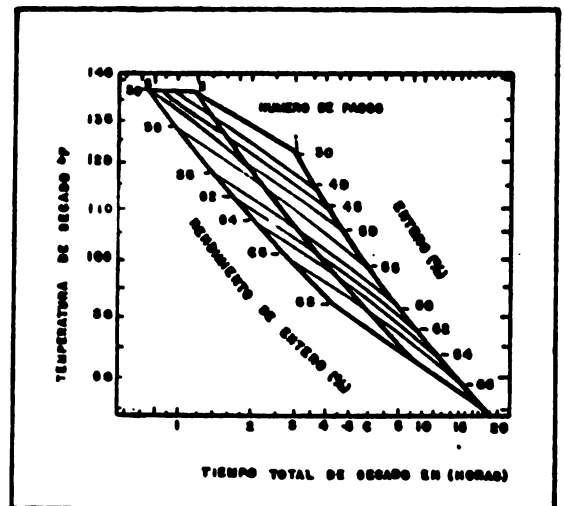


Figura No.78



del grano hasta de 0.5% con la consiguiente aparición de esfuerzos internos y fracturas. Por el contrario si se efectúa después de un periodo de reposo suficiente, el enfriamiento final puede secarlo 0.2%-0.3% sin afectar la calidad de molienda.

5. Comportamiento de secadoras:

En unos ensayos en escala industrial realizados en 1958-1960 por un grupo dirigido por T. Wasserman, de la División de Investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se determinaron los principales parámetros de comportamiento de las secadoras mezcladoras y no mezcladoras, que se resumen a continuación:

- a. Secadoras y mezcladoras con caballetes internos de tipo LSU, ensayo realizado con arroz de 20.5% de humedad inicial cuyo rendimiento de grano entero inicial fue de 60.6% (determinado secando el grano lentamente y con aire a 24°C). En 5 "pasos" con temperatura de aire promedio de 58°C se redujo la humedad hasta 12.9%; para los "pasos" se utilizaron tiempos de retención de 35 a 40 minutos, la temperatura del grano fue de 32°C al final del primer "paso", de 35°C en el segundo y de 38°C en los siguientes.

La velocidad inicial de evaporación fue lenta mientras el grano se calentaba, aumentó en los pasos segundo y tercero y disminuyó en los últimos.

Los periodos de reposo fueron de 6 horas o más, sin aireación. El "paso" de enfriamiento se dió en la misma torre con un tiempo de retención de 27 minutos con grano reposado de 13.4% de humedad inicial, 12.8% de humedad final y temperatura de 18°C (ambiente de 17°C).

El rendimiento de grano entero final fue de 62.2% superior al inicial, resultado corroborado en otros ensayos con este tipo de secadoras, en los cuales tal vez se produce un "cementado" de los granos quebrados por la rápida evaporación que produce la temperatura alta y los "pasos" cortos de secado, efecto similar al que se consigue durante el proceso de preparación de arroz precocido (parboiled). Ensayos complementarios de germinación, demostraron que no se afectó la viabilidad de las semillas durante el proceso.

- b. Secadoras no mezcladoras de columna de malla perforada: Arroz similar al del ensayo anterior se secó en 5 pasos, con tiempo de retención de 15 a 20 minutos; temperaturas de aire de 60°C calentaron el grano a 41°C. El arroz inicialmente tenía un rendimiento de grano entero de 62.2% que se redujo después del secamiento a 58.1%, cifra que corresponde a una diferencia de 8% con las máquinas mezcladoras LSU.

Según se mencionó, las plantas de secamiento de tipo industrial deben planearse en forma cuidadosa, contar con suficiente equipo de transporte para permitir que, por lo menos, las operaciones de recibo, secamiento y entrega de grano seco, se puedan efectuar en forma simultánea y sin interferencias. Es conveniente que todo el arroz se pre limpie antes de secarlo, para facilitar el flujo de grano dentro de las torres, disminuir los riesgos de incendios y evitar el desperdicio de tiempo y combustible que significa secar las impurezas y basuras cuyo contenido de humedad es con frecuencia alto.

Para efectuar la prelimpieza de arroz húmedo, se tropieza con el inconveniente de la disminución de capacidad de prelimpiadoras y limpiadoras, con arroz. Una máquina que limpia 10 tons./hora de maíz difícilmente puede procesar tres tons./hora de arroz húmedo y por eso en ocasiones se efectúa el secado de grano sucio, sin embargo para almacenaje de varios meses, especialmente en silos, es recomendable hacer una limpieza del grano ya seco para disminuir el riesgo de calentamientos e invasión de insectos y facilitar la aireación para conservación.

6. Secamiento "combinado"

Desarrollado en Colombia por la EMC de Bucaramanga, permite a los molinos arroceros de tamaño pequeño y mediano, que cuentan generalmente con varias secadoras de fondo plano y sección rectangular, del tipo ya descrito, aumentar en forma apreciable su capacidad de secamiento.

Los silos de fondo plano con aire ambiente o precalentado, tienen a su favor su simpleza de construcción, inversión relativamente baja y facilidad de operación, cualidades que permitan obtener rendimientos satisfactorios sin necesidad de mayores controles y cuidados; pero que presentan inconvenientes cuando se necesita procesar cantidades grandes de arroz: se multiplica el número de unidades de secamiento, el área cubierta se mide en miles de metros cuadrados y aún en hectáreas, con los consiguientes problemas de cargue y descargue de los silos, disponibilidad de terreno y aumento exagerado de la mano de obra necesaria.

El secamiento con máquina de torre, permite procesar en forma muy sencilla y completamente mecanizada cantidades grandes de grano; sin embargo el arroz es muy delicado, la temperatura muy elevada y la extracción rápida de demasiada humedad en cada paso, sin suficiente reposo intermedio que permita la disipación total de las tensiones internas, puede afectar el rendimiento del grano entero y disminuir su valor comercial apreciablemente. El uso correcto de secadoras de torre en consecuencia, exige una inversión relativamente alta en silos de reposo y el empleo de personal técnicamente bien preparado; sin embargo estas máquinas son inigualables cuando se trata de secar cantidades grandes de grano.

El sistema de secamiento "combinado" que utiliza una máquina de torre para remoción de los primeros puntos de humedad en un sólo "paso" (por ejemplo 24% a 18%) y secadoras de fondo plano, con equipos de cargue y descargue existentes en la mayoría de los molinos de arroz, permite obtener las ventajas de los dos sistemas, disminuyendo sus inconvenientes.

En uno de los molinos de arroz de mayor tamaño en Colombia, que utiliza el sistema de secamiento "combinado", ocho secadoras de fondo plano se fueron instalando de acuerdo a las necesidades. En 1974 se instaló una máquina de torre tipo LSU, complementada con elevadores, transportadores y limpiadores.

En una tolva de recepción, con capacidad para 90 toneladas, se recibe el arroz húmedo, el grano se prelimpia y se carga en la secadora de torre. Con un tiempo de retención de poco más de una hora, se reduce la humedad en promedio de 24% a 18%, elevando durante el proceso la temperatura del grano a 38°C; con elevadores y transportadores se cargan los silos de secamiento que se encuentran vacíos, y en los cuales se efectúa en forma lenta la remoción de la humedad restante,

con la ayuda del calor que aún contiene el grano, como en el proceso de secado-aireación en maíz, y con aire a una temperatura promedio de 35°C. El tiempo promedio de secamiento en las condiciones climáticas del sitio del molino (Neiva) cuando las máquinas de fondo plano efectuaban todo el secamiento era de 70 a 80 horas. Después de la instalación del sistema "combinado" el tiempo en los silos se redujo a 35-40 horas, lo cual equivale a duplicar su rendimiento; el espacio ocupado, es comparativamente pequeño (150 m²) con el ocupado por las secadoras planas (2500 m²); se centralizó además el recibo de arroz verde en un solo punto, facilitando el control. La mano de obra necesaria aumentó únicamente en el operario especializado para operación de la torre. La capacidad actual de la planta de secamiento descrita es superior a 10.000 toneladas mensuales. El sistema "combinado" reúne varias prácticas que permiten obtener arroz de buena calidad, según se ha comprobado experimental y comercialmente, con inversión comparativamente baja -no es necesario construir silos de reposo- se utiliza al máximo el equipo ya instalado en los molinos, la secadora de torre remueve los primeros puntos de humedad, en forma rápida y sin daños, pues la rápida evaporación inicial hace más lento el calentamiento, el arroz que se entrega a los silos cede más fácilmente su humedad, las pequeñas tensiones internas que se producen se disipan lentamente a lo largo del período de secado final.

7. Humedad de equilibrio

Como pasa en otros granos, los resultados de diversos experimentos no concuerdan entre sí. Breese (1955) encontró los resultados de la Tabla No. 18 para grano corto cultivado en Trinidad.

Tabla No. 18 - Humedad de Equilibrio a 25°C, según Breese

Humedad

HR	Adsorción %	Desorción
50%	9.2	10.8
60%	10.4	12.2
70%	11.8	13.4
80%	13.6	14.8
90%	16.6	16.7

En la Tabla No. 19, se resumen los datos de otros experimentos realizados por Finn-Kelcey & Hulbert (1957) que presentan discrepancias notorias con el anterior.

Tabla No. 19 - Humedad de Equilibrio a 25°C según Finn-Kelcey

HUMEDAD

HR	Adsorción
54.5%	10.15
63.2%	11.38
64.1	11.57
70.6	12.19
77.8	13.84
	Desorción
50%	11.36
55%	11.80
63.5%	13.13
68	13.73
73	14.43
16.5	15.18

El contenido de humedad de los arroces glutinosos, blandos, se equilibra más rápidamente con los cambios de humedad relativa que con granos de variedades duras.

8. Almacenamiento

El arroz generalmente se almacena con cáscara (paddy) por su mejor comportamiento, Christensen encontró que arroz Blue-Bonnet paddy, almacenado a 22°C y en contacto con aire de 80% de humedad relativa, se equilibra con humedad de 13.8%, mientras que blanqueado adquiere una humedad de 14.8%. La reducida higroscopicidad de la cascarilla actúa como una barrera a la penetración de la humedad.

En climas fríos como Bogotá, el paddy puede conservarse adecuadamente ensacado y estibado, con humedad de 13% a 14.5%; en silos conviene reducir un poco su humedad y almacenarlo con 12.5% a 14%.

En climas cálidos, en bodegas, debería guardarse con 12.5% a 14%, utilizando la humedad menor para almacenajes que se prolonguen por varios meses o en zonas muy húmedas, mientras en silos la humedad no debe ser superior a 13%.

El tiempo en el cual el arroz se equilibra con la humedad ambiente, depende fundamentalmente del grado de exposición al aire, como lo comprueban los resultados de experimentos realizados con arroz paddy de 15.9% de humedad inicial, almacenado en una atmósfera cuya humedad relativa se mantuvo en 50%, 60% y su temperatura en 17°C-19°C. En la Tabla No. 20 se resumen los resultados principales.

Tabla No. 20 - Proceso de Equilibrio de Arroz en diversas condiciones

Humedad		Humedad		Humedad	
2 días	14.7%	1 día	15.5%	13 días	14.6%
8 días	13.0%	10 días	14.4%	50 días	14.4%
9 días	12.6%	38 días	13.40%	70 días	13.9%
13 días	12.06%	80 días	12.6%	112 días	13.6%

A. Grano en capas delgadas B. Grano en sacos de yute con 3 kg.c/u. C. Grano en sacos de yute con 30 kg. c/u.

El tiempo de equilibrio del grano ensacado, se reduce grandemente si dentro de la bodega se permite que circulen corrientes de aire, así sean pequeñas, que faciliten la renovación del aire intersticial.

Las características higroscópicas del paddy se modifican con el tiempo, el grano viejo y muy seco tiene una menor capacidad de absorber humedad en ambiente húmedo, que el grano más joven puesto en las mismas condiciones, probablemente debido a la disminución de su vitalidad y actividad coloidal. El proceso de envejecimiento del grano almacenado produce cambios de alguna importancia en sus características de cocimiento y organolépticas. La calidad culinaria del grano normalmente mejora después de algunas semanas de reposo, disminuye su tendencia a adherirse entre sí y mejora su capacidad de absorber humedad durante la cocción.

D. Soya

1. Secamiento para almacenaje

En condiciones climáticas normales y para el proceso corriente de producción de aceites y tortas de 44% de proteína, rara vez es necesario secar más de 20% ó 25% de la cosecha de soya de una región determinada; en épocas húmedas puede ser necesario secar cantidades mucho mayores, es conveniente que toda planta extractora de aceites pueda disponer de una planta de secado, en un sitio cercano.

Hace 50 años aproximadamente, en la infancia de la industria procesadora de soya en los Estados Unidos, el aceite se extraía con prensas planas o de sinfin, generalmente adaptadas de la industria extractora de aceite de algodón. Para facilitar la recuperación del aceite en estas condiciones se necesitaba una humedad muy baja, cercana a 2%, se utilizaban secadoras rotativas dotadas de tubos internos calentados con vapor. Rara vez se hacía secado para almacenamiento y con frecuencia se presentaron pérdidas económicas de importancia al almacenar granos húmedos. Con el desarrollo de la industria se instalaron plantas de 1500 y más toneladas por día (la planta de mayor capacidad instalada en Colombia puede procesar 7500 toneladas mensuales), que hacían necesario almacenar hasta el 50% de sus necesidades anuales para conseguir un mejor aprovechamiento. El secamiento artificial, previo al almacenamiento, se convirtió en una necesidad.

2. Temperatura de secado:

Se ha encontrado que no se presentan daños en el aceite y en las proteínas del grano, mientras su temperatura física no sea superior a aproximadamente 75°C, temperatura que se alcanza en las secadoras comerciales corrientes con aire a aproximadamente 100°C, sin embargo si el grano se va a almacenar es conveniente utilizar temperaturas inferiores, pues el rápido y excesivo calentamiento "aflojan" la cutícula del grano y se presenta su desprendimiento fácil. En condiciones normales conviene limitar la temperatura de secado en máquinas de torre a 75° u 80°C.

Experimentos realizados en Kentucky corroboraron que los microorganismos se desarrollan más rápidamente en aquellos granos secados con temperatura más elevada, probablemente por las fisuras que se producen en la cubierta y los cotiledones.

Para conseguir una mejor eficiencia en el proceso de preparación de las hojuelas (flakes), previo a la extracción de aceite por el sistema moderno de solventes, es conveniente permitir el reposo del grano recién secado por varios días, para que se homogenice la humedad y se reduzca la temperatura.

Si por circunstancias climáticas anormales se debiere secar soya con humedad superior a 18%, es conveniente reducir un máximo de 4 "puntos" por "paso" para evitar daños físicos en la cubierta del grano.

Seguramente por la combinación de la forma de la soya, su tamaño, contenido de aceite y estructura, su secamiento es un poco más difícil que el del maíz. La capacidad de una secadora de maíz se reduce en un 15% ó 20% al tratar soya.

3. Secamiento para proceso:

Alrededor del año 1960, algunos productores de alimentos para animales de los Estados Unidos, solicitaron la producción de torta de soya con un contenido de proteína de 50%, en lugar del contenido usual de 43%-44%. En la torta de 44% el contenido de fibra es de alrededor de 8%, de tal manera que debería reducirse a menos de 3% para producir torta de 50%.

Para facilitar la separación de la fibra, el sistema más utilizado actualmente, consiste en resecar el grano hasta 9.1/2% ó 10% de humedad, su calentamiento rápido (con aire a 80°C) produce el efecto de expandir la almendra en forma oblonga estirando y aún reventando la cáscara. Después del secado el grano se deja reposar por un periodo de más de 4 días, en ocasiones con la ayuda de una pequeña corriente de aire, para enjutar la almendra y aflojar la cutícula, la cual se puede separar en forma sencilla y efectiva con una máquina aventadora después de su quebrado.

4. Almacenamiento:

En el almacenamiento de soya a largo plazo es razonable esperar algunos daños en el aceite comercial, no sólo por la acción de plagas, sino por factores inherentes al mismo proceso de formación de las grasas. Las enzimas, catalizadores orgánicos, que contribuyen a la síntesis de los aceites durante el periodo de crecimiento, pueden contribuir también a la degradación de los mismos después de la cosecha. Sin embargo con adecuado control de la humedad del grano y de sus condiciones físicas, grano partido, impurezas, etc., se puede reducir el deterioro al mínimo.

La estructura de la soya hace relativamente resistente al ataque de los insectos, la infestación más frecuente es de "palomilla" (*S. Cerealella*) que normalmente se combate con nebulizaciones de algún producto no tóxico. Para control de gorgojos no debe utilizarse Bromuro de Metilo, pues en los aceites tienden a acumularse residuos tóxicos.

Como se menciona en otra parte, el grano entero y con su cubierta en buenas condiciones, conserva mejor su calidad durante el almacenamiento, que el grano partido o descascarado.

La cubierta de la soya es bastante abrasiva, de tal manera que las tuberías y elementos de conducción deben construirse con materiales resistentes e inspeccionarse con frecuencia.

5. Humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio del grano con una determinada humedad relativa del aire es menor en los granos oleaginosos que en los cereales; el elevado contenido de aceite altera los resultados.

Los datos de la Tabla No. 21 tomados de Pixton y Warburton (1971), indican los valores de equilibrio para soya en proceso de adsorción y desorción. Infortunadamente, los autores no dan indicaciones sobre el tipo y variedad de soya estudiado.

Tabla No. 21 - Humedad de Equilibrio de Soya

Humedad Relativa	Temperatura Ambiente		
	15°C	20°C	25°C
	<u>Adsorción</u>		
60%	9.7%	9.5	9.4
70%	12	12	12.1
80%	15.5	15.5	15.5
	<u>Desorción</u>		
60%	9.8%	9.6	9.5
70%	12.1%	12	13.9
80%	16 %	16	16

Si se considera que el contenido de aceite promedio de la soya es de 20% y se efectúa el cómputo de la humedad sobre el peso total libre de aceite, se tiene que con humedad relativa de 60% y 15°C, la humedad de equilibrio es de 12.1%, valor similar al de los cereales.

E. Frijol

1. Secamiento:

Generalmente para secar frijol se utilizan los mismos equipados usados en otros granos: máquinas de fondo plano, secado en túnel con bultos, secadoras de torre, etc. Deben evitarse, en el diseño o adaptación del equipo, las "caídas" fuertes y no amortiguadas que pueden abrir los dos cotiledones.

Cuando se trate de grano para exportación deberá buscarse el secamiento más uniforme posible, no debería permitirse una variación de más de 1/2 punto de humedad por encima o debajo del nivel deseado. Las modificaciones de tiempo de cocción de los granos muy secos pueden afectar su valor comercial. Las secadoras de torre, del tipo comúnmente usado o para maíz, sorgo y otros granos, se utilizan en Colombia, con buenos resultados en el tratamiento de frijoles. Normalmente la temperatura de aire es de 45 a 55°C y además se ajusta la compuerta de descarga de la tolva recolectora, (de tal manera que se forme un remanente de grano, que actúe como "colchón" amortiguador para los granos secos. El manejo posterior del grano debe, naturalmente, hacerse con los mayores cuidados).

2. Almacenamiento:

La cubierta del frijol tiene un revestimiento protector contra la entrada de mohos y el deterioro de los granos, de tal manera que es posible almacenar frijol, aún con humedad elevada (17%), durante varios meses sin demasiadas precauciones; después de algunos meses la resistencia de la cutícula disminuye rápidamente y se hace susceptible al desarrollo de mohos y bacterias.

Para almacenamiento por varios meses se recomienda un contenido de humedad cercano a 15%; en climas fríos podrían hacerse almacenamientos en bodegas hasta con 16%.

Aunque el IDEMA no recomienda el almacenamiento a granel de frijol, en diversas partes se ha realizado en condiciones satisfactorias, teniendo cuidado de nivelar la superficie para disminuir el riesgo de movimientos de humedad; controlando con termocuplas la temperatura del grano y realizando en caso necesario trasiego o aireación.

Al igual que sucede con todos los granos, el frijol sano, de buena calidad se conserva mejor que el dañado o sucio.

IX. COSTOS DE ACONDICIONAMIENTO

A. Comparación de Alternativas

1. Secamiento

- a. Alternativa: Las alternativas más utilizadas en Colombia para el secado de granos son: secamiento en "Albercas" y secamiento en torre.

Las albercas pueden construirse para capacidad pequeña, en forma relativamente simple y económica. Su operación no exige mayores conocimientos y su cargue y descargue, aunque se encuentren "mecanizados" utilizan bastante mano de obra.

Su consumo de energía eléctrica por tonelada de grano secado es más alto que en las máquinas de torre, aunque su consumo de combustible es un poco menor.

Las secadoras de torre exigen mayor inversión en activos fijos y mayor capacitación del personal utilizado; sus ventajas operativas y económicas se hacen evidentes cuando la cantidad total de grano procesado es relativamente grande.

Cuando la cantidad de grano que se desea secar es pequeña (inferior a 40 o 50 toneladas), en instalaciones localizadas en las fincas productoras o pequeñas industrias, es más económico realizar el secado con albercas; con volúmenes intermedios, 50 a 70 u 80 toneladas/día, puede decirse que las dos alternativas tienen costos unitarios similares y la decisión dependerá de la disponibilidad de mano de obra, deseo de simplificar la operación, área disponible, fuerza eléctrica utilizable, etc.

A continuación se comparan los parámetros principales de rendimiento, consumo, mano de obra etc. en instalaciones típicas, del diseño utilizado normalmente en Colombia, de alberca y torre.

La "Alberca" considerada está formada por un "Módulo" completo de "silos" de 6 mts. por 5 mts., con capacidad para 20 toneladas cada uno (320 bultos), el ventilador de secamiento utiliza un motor de 60 HP y un quemador de dos galones por hora de diesel (ACPM), la temperatura de secado utilizada es de 35°C a 38°C. Se han previsto transportadores de cargue y descargue, una prelimpiadora y su elevador.

El equipo de secamiento en torre incluye una secadora de "alto tiempo de retención", con capacidad de retención de 30 toneladas de arroz, tres elevadores para cargue de la prelimpiadora y trabajo de la torre en flujo continuo, 5 "silos" de mampostería que permiten secar el arroz "por pasos". La inversión total se ha comparado de acuerdo con precios y costos de 1980.

Para la determinación de la mano de obra necesaria se ha considerado que el secado incluye las operaciones que deben realizarse después del recibo de arroz húmedo en la tolva, hasta su entrega en un silo, o tolva, ya sea para empaque posterior o almacenaje a granel. Las condiciones climáticas se han asumido de HR = 75% - temperatura 25°C.

	<u>Alberca</u>	<u>Torre</u>
- Capacidad (tons/día - reducción de 10 "puntos")	36	180
- Inversión (%)	100%	190%
- Area (mts. cuadrados)	320	300
- Productividad de mano de obra (tons. X hombre)	15-20	40-45
- Energía Eléctrica (Kw/hora/"punto"/tonelada)	4	1.1
- Combustible líquido (Diesel) (galones/"punto"/tonelada)	0.25	0.30
- Energía total utilizada (BTU/"punto"/tonelada) (Eléctrica + combustible)	48.000	44.000
	(100%)	(92%)
- Inversión total en Albercas para secar 180/tons./día	500%	
- Area total (180/ton/día)m ²	1.600	

X. ESTRUCTURA DE COSTOS DE SECAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE GRANOS

Introducción

En la mayoría de los programas de entrenamiento para técnicos y administradores de instalaciones de almacenamiento de granos y trilla de arroz, el tema de los costos de proceso se trata en forma superficial.

Igualmente, son contados los técnicos y administradores que tienen una visión clara de la magnitud de sus costos y de la naturaleza de los componentes que los conforman.

Este trabajo se presenta como documento de discusión, con el deseo de estimular el interés y la investigación en el tema y el propósito de preparar en el futuro un documento más completo, que pueda ser utilizado como guía y referencia.

En el apéndice No. 2 se presenta un listado de variables y constantes técnicas, que ha sido preparado para utilización con una calculadora programable modelo T-I-59, provista de impresor y de unidad de lectura de tarjeta magnética.

A. Control de Costos

El control de costos puede realizarse de dos maneras principales: (1) Control operacional, ejecutado generalmente por el mismo dueño, en forma relativamente esporádica y con frecuencia intuitiva. (2) Control estable, que requiere la organización de un sistema completo de registro contable de los costos, y de una metodología para el análisis de los mismos. Debe proporcionar en forma oportuna y confiable datos y estadísticas que permitan analizar la marcha del negocio, y la toma racional de decisiones.

B. Clasificación de los Costos

Para establecer un control operacional confiable, o un sistema más elaborado de contabilidad de costos, es indispensable, en primer lugar, determinar los diferentes tipos de gastos y costos que inciden en la producción y clasificarlos según sus características. En una empresa manufacturera, o de prestación de servicios, (almacenamiento y secamiento), todos los costos pueden clasificarse como: (a) Costos directos: Aquellos que pueden imputarse directamente a un producto determinado, como por ejemplo, los materiales y mano de obra directa utilizados, para secar una tonelada de grano (combustible, fuerza eléctrica, etc.). (b) Costos indirectos: No se puede, o no es práctico imputarlos directamente a la realización de tareas o producción de unidades específicas: Sueldos de personal de administración, servicio de celaduría, etc.

C. Precio (Tarifa) de Venta

El precio de venta o, en nuestro caso, la "tarifa" de secamiento o almacenamiento; está formado por: Costos Directos que pueden imputarse directamente al

producto o servicio, Costos Indirectos que pueden distribuirse entre los varios productos, siguiendo algún criterio adecuado y una utilidad que proporcione el necesario incentivo económico.

D. Punto de Equilibrio

Se utiliza esta expresión para referirse al volumen de producción, medido en cualquier unidad adecuada, para el cual son iguales los ingresos y los costos totales de una empresa: se generan ingresos necesarios para absorber la totalidad de los costos sin que quede ningún remanente.

E. Costos Fijos y Variables

Para determinar el punto de equilibrio con facilidad, conviene clasificar los costos en dos grupos: fijos y variables, de acuerdo a sus características. (a) Costos Fijos: son aquellos que tienden a permanecer constantes, dentro de ciertos límites, aunque el volumen de producción varíe (la cantidad de grano tratado en nuestro caso). (b) Costos Variables: dependen directamente del volumen de producción, por ejemplo, en una planta de secamiento el combustible, que depende directamente de la cantidad de grano tratado.

Con la determinación de los costos fijos y variables, el punto de equilibrio puede hallarse en forma gráfica (Figura No. 79), en el punto de intersección de las líneas que representan los costos totales (fijos más variables) y el ingreso total.

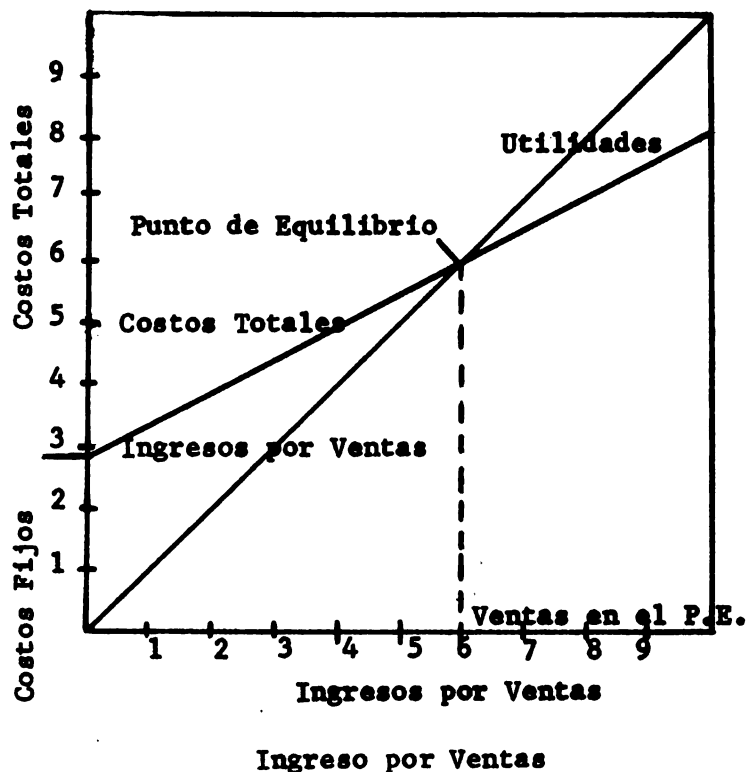
Naturalmente el caso ilustrado ha sido simplificado para su más fácil comprensión, la línea de ventas probablemente será una curva que refleje los efectos, que, en el precio de venta, producirá un incremento en la oferta, y la línea de costos probablemente presentará ascensos bruscos cuando el mayor volumen de producción sobrepase la capacidad instalada y haga necesario realizar mayores inversiones en equipos.

Para determinar el punto de equilibrio, sin necesidad de gráficas, puede procederse en la siguiente forma:

$$\text{Volumen de Venta (P.E.)} = \frac{\text{Costos Fijos}}{1 \frac{\text{costo variable unitario}}{\text{precio de venta unitario}}}$$

Ejemplo: Si un molino de arroz tiene costos fijos anuales de US\$70.000 el precio de venta del kilo de arroz es US\$0.50 y el costo variable de producción de este mismo kilo es US\$0.40, el volumen de ventas para alcanzar el punto de equilibrio debe ser:

$$\text{Ventas} = \frac{70.000}{1 - (0.40/0.50)} = 350.000$$

Figura No.79 - Determinación gráfica del punto de equilibrio

Costos de secamiento: En una planta de secamiento de granos, de tipo industrial, los costos principales pueden dividirse en los siguientes grupos:

-Costos Fijos:

- Depreciación
- Costo de oportunidad
- Seguros
- Mantenimiento
- Administración
- Gastos generales
- Personal Técnico

-Costos Variables:

- Combustible
- Fuerza eléctrica
- "Manipuleos" del grano
- Impuestos

Algunos de los costos anteriores participan de condiciones fijas y variables, sin embargo para simplificar el análisis se ha optado por clasificarlos en un solo grupo, sin entrar a separar sus componentes fijos y variables.

1. Costos fijos

- a. Depreciación: Los equipos, maquinaria y construcciones, que una empresa utiliza en sus labores productivas, sufren deterioro durante su explotación; la depreciación pretende cuantificar la pérdida de valor correspondiente y al mismo tiempo formar una reserva, no gravable, por impuestos, que permitan la reposición de los activos cuando finalice su vida útil; conservando así el capital y evitando su distribución en forma de utilidades ficticias.

La primera dificultad que se presenta para determinar el valor de la depreciación es la medición de la pérdida de valor, en cada período de tiempo, con relación al costo original. Además una economía sometida a presiones inflacionarias, como la mayoría de las latino-americanas, la cantidad que anualmente se reserva por depreciación, tiene cada año un menor poder adquisitivo y su valor acumulado al final de la vida útil del equipo, no cubrirá su costo de reposición.

- b. Métodos tradicionales: Generalmente para estimar el costo de depreciación se utiliza alguno de los siguientes métodos: (a) línea recta: se distribuye el costo en cantidad igual para cada uno de los años de vida útil. Con frecuencia se descuenta el valor que el equipo conservaría después de finalizada su vida útil (valor de salvamento). (b) Unidades de producción: el costo de adquisición (descontado el valor de salvamento), se distribuye en cada período de acuerdo al estimativo de unidades producidas con relación al número de unidades totales que podría producir el equipo considerado en su vida útil. (c) Suma de dígitos: para aplicar este método de depreciación, que en muchos casos presenta ventajas desde el punto de vista fiscal, se suman los dígitos de los años de vida útil y se utiliza este total como un denominador común, para aplicar a cada año una fracción del costo, igual al número dígito correspondiente, en orden inverso, dividido por el denominador común. Si la vida útil estimada es de 5 años, el denominador común será: $(1+2+3+4+5) = 15$ y el valor de la fracción para cada año será:

1er año $5/15$: 33%
 2do año $4/15$: 27%
 3er año $3/15$: 20%
 4to año $2/15$: 13%
 5to año $1/15$: 7%

El sistema de los números dígitos puede representar la pérdida de valor de la instalación en mejor forma que el de la línea recta, pues, en general, la mayor pérdida se presenta en los primeros años de utilización. Este sistema además tiende a equilibrar los costos de mantenimiento, que son mayores en los últimos años cuando las instalaciones se encuentran más deterioradas.

- c. Efectos de la inflación: La utilización de métodos de depreciación que no tengan en cuenta los efectos de la inflación, conduce a la formación de reservas inadecuadas para reemplazar los activos gastados y a la repartición, inadvertida, del capital de la compañía a los socios, por medio de utilidades parcialmente falsas, y al gobierno por mayores impuestos. Debe considerarse que un negocio no produce utilidades mientras no forme las provisiones para mantener su capacidad productiva; las provisiones para reemplazo del capital consumido en las labores productivas son tan importantes como los gastos hechos para cubrir los costos corrientes.

En el ápendice 1 de este trabajo se analiza, con algún detalle, las diferencias entre los costos de depreciación cuando se incluyen, o no los efectos de la inflación.

- d. Costo de depreciación: En una planta de secamiento, cualquiera sea el método utilizado para determinar la depreciación, ésta se debe computar sobre una cifra que incluya las siguientes partidas: (1) El costo total de las obras civiles: cimentaciones, fosos, tolvas de recibo, áreas cubiertas para recibo, área de patios utilizada, área de bodega utilizada para empaque de grano y valor de oficinas, y demás obras, en una proporción determinada para estas últimas de acuerdo al reestimativo de participación del secamiento en los gastos administrativos y generales. (2) Costo total de los equipos mecánicos y de su montaje correspondiente: secadora, elevadores, reprelimpiadora, reportadores, tuberías y accesorios de interconexión, etc. (3) Costo retotal de las instalaciones eléctricas de uso directo como: motores, reacometidas de baja tensión y tableros, y el valor de la subestación y de la acometida de alta tensión, en la proporción indicada por la reparticipación de la potencia utilizada, con relación a la potencia total de las instalaciones. La vida útil de los equipos se estima que varía entre 10 y 20 años, según su calidad y mantenimiento.
- e. Costo de oportunidad: Representa el rendimiento que el capital invertido podría percibir si estuviera dedicado a alguna otra actividad segura; el costo de oportunidad varía según el tipo de inversionista y las actividades que se encuentran a su alcance.

El valor del dinero en el tiempo (T), está constituido principalmente por el rendimiento que pueda tener en usos alternativos (A), que corresponde al valor puro del dinero, más una partida para compensar el riesgo (R) o incertidumbre que el inversionista considere está recorriendo y una suma para compensar la inflación (I), ($T = A+R+I$).

En Colombia, en el momento, el máximo rendimiento que un inversionista corriente puede obtener en forma segura, es aproximadamente 33% anual, obtenido, por ejemplo, mediante un préstamo hecho a una compañía sólida, respaldada con una carta de crédito.

Por otro lado, en una economía en desarrollo y expansión, y sometida a presiones inflacionarias continuas como la colombiana, los equipos, construcciones, etc., se benefician continuamente de un aumento en su

valor, que puede explicarse simplemente como efecto de la inflación, o por causas externas que efectivamente aumenten su valor real (desarrollo de las ciudades, nuevas carreteras, obras de irrigación, etc.). Una empresa que utilice maquinaria, construcciones, etc., puede en consecuencia, producir un rendimiento aparentemente inferior al que podría conseguirse dando dinero a interés, pero que, en términos reales, puede ser equivalente, o superior si se le adiciona el valor de la inflación y posible valorización real (la inspección de la fórmula $T = A+R+I$. permite apreciar claramente el análisis anterior).

La tasa de inflación, aplicable a los bienes de capital utilizados en la industria procesadora de granos, ha sido en los últimos años de aproximadamente 18% anual (ver apéndice 1). Si se acepta esta cifra y se considera que el riesgo de perder la inversión, es igualmente reducido cuando se presta dinero con el respaldo de una carta de crédito o se hace una construcción, se tiene que el costo de oportunidad actual en Colombia, para este tipo de inversiones es aproximadamente 15% anual.

- f. Seguros: El costo de las Pólizas de Seguros, para proteger los activos fijos contra siniestros, es un costo fijo que se realiza independientemente del volumen de producción. Su valor normalmente se estima como un porcentaje del valor de las obras civiles e instalaciones mecánicas. El diseño adecuado y cumplimiento de las normas de seguridad exigidas por las Aseguradoras, permite la aplicación de tarifas reducidas.

En la sección de constantes técnicas de este trabajo, se indican las tarifas vigentes en Colombia, aplicables a las instalaciones de tratamiento de granos.

- g. Mantenimiento: Aunque en rigor, el costo de mantenimiento depende, en alguna forma, del grado de utilización de los equipos, para efectos de estimación y proyección de costos de secamiento, se considera preferible determinarlos como una fracción del costo de las obras civiles e instalaciones mecánicas.

Como se indica en la sección de constantes técnicas, el costo de mantenimiento anual puede estimarse, en una primera aproximación, como el 3% del valor total del equipo mecánico y eléctrico y el 1.5% del valor total de las obras civiles.

- h. Costos de administración: Los costos anuales de administración, en la actividad de tratamiento de granos son generalmente fijos, aunque en largo plazo es probable que se trate de reducirlos si el negocio atraviesa dificultades, y que se aumenten, inadvertidamente, si la operación es muy próspera. Para el cálculo de su valor total debe incluirse todos los salarios directos del personal administrativo (gerente, administrador, contadores, secretarías, etc.), más los salarios indirectos, que en algunos países como Colombia representan sumas de magnitud similar al salario directo. El programa de cálculo del TI-59,

necesita como dato (No. 10) el nivel de prestaciones sociales, que corresponde al valor de los salarios indirectos (vacaciones, primas, seguros, cesantías, etc.) con relación a los directos.

Participación en los costos de administración: Dado que en una planta de tratamiento de granos, se cumplen normalmente varios tipos de actividades que pueden realizarse independientemente, es necesario estimar la participación de cada una de ellas en los costos y gastos generales de administración.

La participación se estima de acuerdo con el tiempo que el personal administrativo dedique a cada actividad y con el grado de responsabilidad que exija cada una.

- i. **Gastos Generales:** En esta partida se incluyen todos los costos de funcionamiento comunes a todas las actividades: servicio telefónico, portes y correo, celaduría, aseo, etc.
- j. **Personal técnico:** El personal técnico de una planta de secamiento de granos tiene, generalmente, carácter permanente y fijo, a pesar de la estacionalidad de las temporadas de trabajo, pues se requiere que tenga preparación técnica y experiencia. En este rubro se debe incluir los operarios de secadoras, limpiadoras y ayudantes, al igual que personal de mecánicos y electricistas de que se disponga.

2. Costos variables

- a. **Combustible:** Para el secamiento comercial de granos el combustible más utilizado en América Latina, es el Diesel (No.2) y en ocasiones el fuel-oil (No. 5). El continuo aumento de precio del petróleo y sus derivados, está presionando el desarrollo de combustibles alternativos; la cascarilla de arroz, el carbón y la energía solar, parecen ser los más promisorios; sin embargo su aplicación es aún bastante limitada.

El consumo de combustible en una planta de secamiento, varía, principalmente, de acuerdo al tipo de grano, contenido de humedad, temperatura, velocidad de secado y tipo de maquinaria secadora.

Como una primera aproximación pueden utilizarse los siguientes datos, para secado con máquinas de torre de flujo continuo. Para reducción de humedad de 2 ó 3 puntos, en grano relativamente seco, el consumo puede estimarse de 0.4 galones de combustible (Diesel, Fuel-oil) por "punto" de humedad removido y por tonelada de grano si la reducción de humedad es elevada (10-12 puntos) y se realiza en "pasos" graduales, con períodos de reposo intermedios, el consumo puede estimarse de 0.3 galones/punto/tonelada . Para reducciones de humedad intermedias, puede utilizarse valores intermedios.

- b. **Fuerza eléctrica:** La energía eléctrica se utiliza normalmente para mover los ventiladores de las secadoras, los elevadores, transportadores,

etc. En plantas bien diseñadas, sin demasiado equipo superfluo, puede estimarse el consumo de energía de 1.1 kilowatio-hora por punto de humedad removido y por tonelada.

En algunas ocasiones se utiliza energía eléctrica para calentar el aire de secamiento, sin embargo, normalmente, el costo por "punto" de humedad removido, es mayor que cuando se utiliza combustible líquido, si se tiene en cuenta que un galón de combustible, quemado en forma eficiente, produce alrededor de 135.000 BTU, y que un kilowatio-hora puede producir 3400 BTU, de tal manera que son necesarios 40 KW-hora para generar el mismo calor que un galón de combustible.

- c. Manipuleo: En los países industrializados Agrícolas, como Estados Unidos, Francia y Argentina, la mayor parte del transporte y manejo de los granos se realiza a granel; el enorme volumen manejado y los altos costos de la mano de obra, hacen imposible su manejo en sacos. En nuestros países, donde las cantidades de granos son relativamente reducidas, los costos de mano de obra no son muy elevados y una proporción importante de la fuerza de trabajo se encuentra desempleada, no son tan obvias las ventajas económicas del manejo a granel.

Cuando la mano de obra es relativamente barata, es posible reemplazar algunos equipos, por manejo manual de los granos empacados en sacos.

En Colombia, la práctica normal es la de pagar el valor del manejo manual de los sacos, por tarea realizada. Es decir su costo es completamente variable, pues depende íntegramente de la cantidad total de grano que se mueva.

Normalmente en cada instalación donde se maneja grano, se localiza, en épocas de cosecha, una cuadrilla de braceros, cuyo jefe contrata el movimiento de los granos a destajo.

Las operaciones principales que pueden realizarse manualmente son: (1) descarga del camión y entrega a la tolva de recepción o al piso (2) arrastre de grano en el piso, o en un arrume, hasta la tolva (3) empaque y cosido de grano seco (4) armada de arrume (5) desarrume y cargue a camión. Cada una de las operaciones anteriores se considera un "movimiento" completo en sí, y por su ejecución se cobra la tarifa completa. En el momento la tarifa por cada "movimiento", oscila entre US\$0.80 y US\$1.00 por tonelada, en las diferentes regiones del país.

En ciertos casos el número de movimientos puede ser fraccionario, como cuando se descarga un silo de fondo plano, en el cual es necesario empujar el grano final, que no fluye por gravedad, hasta la descarga central del silo. Si este remanente es 20% del total, el número de movimientos correspondiente será 0.2.

Impuestos: No puede olvidarse en la determinación del costo total de secamiento, el valor de los impuestos. Su magnitud depende de las utilidades realizadas en el ejercicio fiscal.

3. Costos de almacenamiento

Los costos de almacenamiento están formados principalmente por costos financieros y administrativos; por esta razón su concepción y visión de conjunto es aún más difícil para los técnicos y administradores.

Como se mencionó anteriormente, en las condiciones latinoamericanas, no es tan clara la ventaja económica de transportar y almacenar los granos a granel. Los bajos volúmenes manejados disminuyen la "rotación" del inventario en las plantas, y el bajo costo de la mano de obra permite realizar, en forma económica, el movimiento de granos ensacados.

Con ayuda de un modelo, procesado con el equipo portátil TI-59, se analiza más adelante la diferencia en los costos de almacenamiento en sacos y a granel.

Como se hizo para secamiento, es conveniente dividir los costos principales de almacenamiento en fijos y variables:

-Costos Fijos:

- Depreciación
- Costo de oportunidad
- Seguros
- Mantenimiento
- Administración
- Gastos generales
- Personal técnico
- Tratamientos preventivos

-Costos Variables:

- Manipuleos
- Empaque costos financieros
- costos de reposición
- Fumigación curativa
- Energía eléctrica
- Costo de "mermas" de manejo y almacenamiento
- Costos financieros del grano almacenado

Los costos fijos son de la misma naturaleza en general, de los descritos para secamiento. Una partida diferente es la de fumigación preventiva, que incluye las limpiezas y tratamiento de paredes de bodegas y de silos y que deben realizarse independientemente de la cantidad de grano almacenado: en bodegas este tratamiento debe hacerse cada uno o dos meses, según las necesidades y el programa de tratamientos que se fije; en silos debe hacerse cada vez que un silo se vacía totalmente.

El manejo de los granos (costo variable), puede hacerse totalmente a mano o en forma mecanizada si se dispone de silos de fondo cónico, adecuado número de transportadores y elevadores y sistemas de entrega a granel, la inversión requerida, en este último caso será mayor, con el consiguiente aumento en los costos financieros que puede compensar, o no, las economías en el costo de manipuleos.

4. Empaque

Los enpaques utilizados para guardar el grano, generan dos tipos de costos: costos financieros, de oportunidad, del capital invertido en ellos y costos de reposición, pues una proporción, en ocasiones elevada, sufre daños durante su uso, cosida, descosida, etc. que impiden su nueva utilización. Para determinar los costos de reposición puede utilizarse el concepto de número de usos. Por ejemplo si un empaque puede utilizarse 5 veces, será necesario reponer en cada cosecha 20% del empaque total (1/5).

Fumigación curativa: se aplican para controlar el desarrollo de insectos, su costo, por tonelada puede ser diferente en bodegas o en silos.

Energía eléctrica: el consumo de energía depende, naturalmente, del grado de mecanización de la instalación; puede limitarse al necesario para la iluminación en bodegas simples o representar más de un kilowatio-hora por tonelada y por trasiego.

Como primera aproximación, puede utilizarse un consumo de 0.8 kilowatio-hora por tonelada, para cargue y descargue del arrume, en bodegas provistas de es-tivadores mecánicos (bandas); 1 Kw-hora por tonelada para cargue y descargue de si-los y 0.75 kw-hora por cada trasiego de grano que se realice (trasvase de un silo a otro).

5. Mermas:

El deterioro que el grano sufre en su calidad, peso y valor comercial debe reconocerse como un costo de almacenamiento.

Las mermas principales, normales, son causadas por derrame de grano en los pisos durante su manejo en sacos, espolvoreo en los transportadores y elevadores, aumento de grano partido causada por las caídas en tuberías y silos y una pérdida inevitable de peso por respiración fisiológica.

Si el grano se almacena en forma inadecuada, o sufre movimientos internos de humedad durante el almacenamiento, las mermas y pérdida de valor comercial pueden ser muy grandes, al igual que si sufre ataques de insectos que no se controlen a tiempo. Estas mermas anormales, no pueden ser consideradas como costos de almacenamiento.

6. Costos financieros del grano almacenado:

El costo financiero del capital invertido en el grano almacenado, es, con frecuencia, inferior al valor del interés comercial normal, pues, para favorecer la formación de reservas alimenticias, los gobiernos autorizan la aplicación de intereses bajos.

En Colombia una parte del valor comercial del grano, dispone de financiación con interés de 18%, valor muy inferior al que se aplica en las operaciones comerciales normales y con el cual debe financiarse la cantidad faltante de grano.

En los últimos años se ha hecho aparente una tendencia de disminución de la proporción de grano que puede financiarse por sistema especial, consecuencia de las políticas anti-inflacionistas, de la Junta Monetaria Colombiana, guiadas aparentemente, por un criterio demasiado monetarista.

Se ha recomendado, en diversos foros, la renovación del actual sistema de financiación, mediante el traslado de estas líneas de crédito a otra de las ya existentes en el país, o creando un fondo especial de crédito que disponga de recursos de fuentes diferentes a la emisión primaria.

APENDICE

Depreciación-Inflación: Se proponen dos métodos para incluir los efectos de la inflación en la depreciación (a) Poder adquisitivo constante del dinero: anualmente los activos fijos de una compañía se afectarían con un índice general, que reflejaría los efectos globales de la inflación en toda la economía.

El valor de la depreciación se incrementaría, según las variaciones de este índice. Este sistema tiene la ventaja de su relativa sencillez y facilidad de control y auditaje de contabilidad, pero puede producir graves distorsiones en casos determinados, pues su misma aplicación general y su origen, de promedio, en el fondo, hacen que no sea aplicable en todos los casos: además no refleja la realidad en situaciones tales como la de la industria de computadoras, donde el avance tecnológico hace que el costo de la capacidad efectiva de cómputo se reduzca continuamente (b) Costo de Reposición: cada uno de los activos de la compañía, se depreciaría de acuerdo con el costo de reemplazo por equipos de similar capacidad productiva. Este método reflejaría mejor la realidad, pero su aplicación sería muy difícil e incluiría aspectos de análisis subjetivo y no verificables (por auditores) fácilmente.

Para apreciar la magnitud de las distorsiones que introduce la inflación en los costos de depreciación, se presenta un ejemplo, con cifras que corresponde a la situación colombiana de la última década: Tasa de inflación. Para determinar la tasa histórica anual de inflación de equipos de procesamiento de granos, se utiliza la variación de precio de una secadora de torre, fabricada en Colombia por EMC, Modelo 201-CO (capacidad de retención en maíz 50 toneladas), como guía: los demás equipos, costos de bodegas, etc., puede considerarse que han tenido un comportamiento similar (todas las cifras se dan en pesos colombianos).

Precio de la secadora 201-CO en 1968 \$ 480.000
 Precio de la secadora 201-CO en 1979 \$ 2.900.000
 n = 11 años
 Relación de precios: $\frac{480.000}{2.900.000} = 0.1655$

Si se considera como valor presente, en 1968, la suma de \$480.000, se tiene que $0.1655 = (1+i)^{-ny}$, en consecuencia $i=18\%$ aproximadamente (tablas de interés compuesto).

Depreciación A) Sin considerar efectos de inflación. Si se supone que la vida útil de la secadora mencionada es de 10 años, y su valor de salvamento, al final del período, es 20%, el costo por depreciación es de \$232.000.

El "valor presente" de \$232.000 anuales, durante 10 años, más el valor de salvamento (\$580.000), descontado con un interés de 18% (tasa de inflación) es de: $VP = (232.000) (4.941) + 580.000 = 1.622.631$, cantidad insuficiente para reponer el valor de la máquina, pues se tiene un faltante de \$1.277.369. B) Con efectos de la inflación: la cantidad anual destinada para depreciación debe adicionarse en una cifra que, descontada a 18% anual durante 10 años, tenga un valor presente igual a la suma faltante (\$ 1.277.369).

$$\frac{1.277.369}{4.4941} = \$ 284.232$$

De tal manera que el valor de la depreciación anual total debe ser:
\$ 232.000 + 284.232 = 516.232.

La veracidad de este resultado puede comprobarse determinando su valor presente, descontando a 18% anual, durante 10 años, más el valor de salvamento.

$$VP = (516232) (4.4941) + 580.000 = \$2.900.000$$

NOTA: El valor de salvamento, de 20% del valor inicial de la inversión, corresponde a un valor final, 10 años después, descontado a 18% anual de:

$$VF = \$580.000 \times 4.4941 = 2.606.578$$

cifra cercana al valor inicial de la inversión. En forma intuitiva muchos inversionistas colombianos consideran que el valor nominal de la maquinaria usada se mantiene, o incrementa ligeramente con el tiempo.

APENDICE No. 2

- Modelo de simulación de costos de secamiento y almacenamiento de granos.
- Equipo utilizado: calculadora electrónica programable TI-59, provista de impresor y de lector de tarjetas magnéticas.

Modelo de secamiento

- El modelo necesita 22 datos para determinar los costos totales de secamiento, el punto de equilibrio y las utilidades (o pérdidas) anuales. (La partición interna de las memorias es: CLR-4-2 nd op - 17 que corresponde a 639.39)

Los datos necesarios, y la "memoria" en la cual se almacenan son:

Memoria	Dato
01	Costo total de obras civiles
02	Valor del terreno utilizado
03	Costo total de instalaciones mecánicas y montaje
04	Costo total de obras eléctricas (aplicables a secamiento)

Memoria	Dato
05	Número de años para depreciación
06	Valor de salvamento - fracción - de unidad, ejemplo 02
07	Costo de oportunidad anual - fracción de unidad
08	Valor mensual de la nómina de administración
09	Valor mensual de la nómina técnica
10	Prestaciones sociales - con relación al valor de la nómina.
11	Gastos generales mensuales
12	Aplicación de gastos de administración a secamiento (fracción de unidad)
13	Toneladas de grano tratadas - 1a. cosecha
14	Toneladas de grano tratadas - 2a. cosecha
15	"puntos" de humedad removida en la primera cosecha.
16	"puntos" de humedad removida en la segunda cosecha
17	Número de "movimientos"
18	Precio del galón de combustible
19	Precio de kilowatio-hora.
20	Costo de "movimiento" de cada tonelada de grano.
21	Impuestos: porcentaje sobre las utilidades (como fracción)
22	Tarifa de secamiento

Resultados del Modelo (Ejemplo)

SEC		Secamiento
304.8179505	C.FN	Costo financiero/ton.
366.7025659	C.FI	Costo Fijo/ton.
105.982967	C.VA	Costo variable/ton.
472.685533	C.T.	Costo total/ton
550	TAR	Tarifa de secado/ton.
10736.37497	P.E.	Punto de equilibrio/ton.
6606.999979	1A	P.E. 1a. cosecha Ton.
10736.37497	P.E.	Punto de equilibrio/ton
6606.999979	1A	P.E. 1a. cosecha/ton..
4129.374987	2A	P.E. 2a. cosecha/ton.
1005088.071	U.B.	Utilidad bruta
804070.4571	U.DI	Utilidad después de impuestos
4617555.714	I.T.	Inversión total

Interpretación de resultados:

- Costo financiero; incluye costo de depreciación y costo de oportunidad del capital total invertido.
- Costo Fijo: Costo financiero, más seguros, mantenimiento y gastos de administración computados según la aplicación que corresponde a secamiento (Dato No. 12).
- Costo variable: combustible, fuerza eléctrica y movimientos.
- Costo total: fijo más variable
- Tarifa de secamiento
- Punto de equilibrio, para las condiciones indicadas de costos fijos y variables, el resultado se expresa en toneladas.
- P E primero cosecha, indica la cantidad de grano que debe tratarse en la primera cosecha para alcanzar el punto de equilibrio, calculada en la misma proporción indicada en los datos 13 y 14.

- Utilidad bruta, corresponde a los ingresos totales menos los costos totales.
- Utilidad después de impuestos, se ha descontado el valor de los impuestos sobre las utilidades.
- Inversión total: Incluye el valor total de las obras civiles, mecánicas y eléctricas más el capital de trabajo necesario, que en este caso corresponde a los gastos administrativos y de personal durante un mes, más el 20% del consumo total de combustible y energía eléctrica en el año.

Constantes Técnicas

El modelo utiliza las siguientes constantes técnicas:

- Combustible: 0.4 galones por punto y por tonelada si la reducción de humedad es de un "punto. ; 0.3 galones por punto y por tonelada si la reducción es de 14 "puntos". Se interpolan consumos intermedios para reducciones de humedad intermedias.
- Fuerza eléctrica: 1.1 kw-hora/punto/ton. Se incluye el consumo de elevadores, limpiadora y secadora, en una instalación típica, de diseño simplificado, con capacidad para 10-15 toneladas por hora. Se ha dejado un margen de 20% para el consumo de energía durante los trasiegos, cargue y descargue.
- Seguros: Se aplica 3.7% anual sobre la inversión total en obras civiles y 4.1% anual sobre el valor total de equipos.
- Mantenimiento: Se calcula con 1.5% anual sobre el valor total de las obras civiles y 3% sobre los equipos.

Modelo de Almacenamiento

El modelo utiliza 38 datos para determinar los costos totales de almacenamiento, el punto de equilibrio y las utilidades anuales.

La participación de la memoria de la calculadora TI-59 es la misma del modelo de secamiento: 639-39, hecha mediante 4-2nd op 17.

El registro No. 28 permite indicarle al modelo si la bodega dispone, o no, de equipo para manejo mecanizado de bultos (estibadores). Al iniciar toda ejecución del programa debe verificarse el contenido de este registro; si su valor es cero, el programa asume que la bodega no tiene ningún equipo auxiliar, cualquier otro valor indica existencia de estibadores y, en consecuencia, un mayor consumo de energía eléctrica.

El contenido del registro No. 17, instruye al modelo sobre el tipo de estructura para el almacenamiento, silos o bodegas; si su valor es cero se asume la existencia de bodegas y en el programa se tiene un "salto" que desecha los cálculos correspondientes a silos. Cualquier valor diferente de cero, implica almacenamiento en silos.

Los datos necesarios, y las memorias correspondientes, son:

Memoria (registro)	Dato
01	Costo total de obras civiles
02	Valor del terreno utilizado

Memoria (registro)	Dato
03	Costo total de instalaciones mecánicas y montaje (para almacenaje)
04	Costo total de obras eléctricas, aplicables a secamiento.
05	Capacidad total de almacenamiento (tons.)
06	Número de años para depreciación
07	Valor de salvamento, fracción de unidad
08	Costo de oportunidad anual, fracción de unidad.
09	Valor mensual de la nómina de administración.
10	Valor mensual de la nómina técnica
11	Prestaciones Sociales. Con relación al valor de la nómina (ejemplo 0.5 si su costo es el 50%).
12	Gastos generales mensuales.
13	Aplicación de gastos de administración a almacenamiento. (fracción de la unidad)
14	Costo de fumigación preventiva y limpieza, por M ² de paredes y pisos de bodega, o M ² de pared interna de silo.
15	Area de la bodega
16	Altura de la bodega, hasta el alero
17	Diámetro del silo (Mt).
18	Altura del silo (Mt)
19	Número de silos
20	Número de "movimientos" que se hace al grano en todo el período de almacenamiento.
21	Costo del "movimiento" de cada tonelada de grano.
22	Toneladas totales almacenadas en el año.
23	Costo de cada empaque (costal-saco).
24	Número de usos del empaque.
25	Costo por tonelada de cada fumigación curativa.
26	Precio de kilowatio-hora.
27	"Trasiegos", promedio en los silos (traslados de un silo a otro, diferentes de las operaciones de cargue y descargue).
28	Mecanización de bodega: cero (0) en este registro indica carencia de mecanización, cualquier otro número indica su existencia.
29	Costo de asegurar el grano almacenado
30	"Mermas" normales de almacenamiento (fracción de unidad).
31	Valor comercial, promedio, de cada tonelada de grano.
32	Intereses comerciales, fracción de unidad (30% = 0.30)
33	Intereses especiales para préstamos sobre granos almacenados (redescuento de bonos).
34	Nivel efectivo de redescuento (préstamos sobre el valor comercial), fracción de unidad.
35	Duración "Promedio" del almacenamiento. (Por ejemplo, si se almacena durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio, la duración "promedio" es de $5/2 = 2.5$ meses).
36	Cantidad máxima de grano que se almacene simultáneamente en bodegas (para el cómputo de empaque necesario).
37	Tarifa mensual de almacenamiento por tonelada.
38	Impuestos: porcentaje sobre las utilidades (como fracción de unidad).

Resultados del Modelo (Ejemplo)

	ALM	Almacenamiento
21.90277778	FNM	Costo Financiero mensual/ton.
45.99096653	Fl.M	Costo Fijo mensual/ton.
22.5	VA.M	Costo variable mensual/ton.
68.49096653	T.M.	Costo Total mensual/ton.
100.	TAR	Tarifa mensual/ton.
2373.727305	P.E.	Punto de equilibrio-tons/año.
.7912424349	ROT	Rotaciones necesarias para P.E.
126036.1339	U.B.	Utilidades brutas anuales.
100828.9071	U.DI	Utilidades después de impuestos.
5270000.	I.T.	Inversión total necesaria
16.66666667	M.E.	Costo mensual de mermas/ton.
205.		Costo mensual de financiación de grano

Interpretación de resultados:

- Costo Financiero: incluye costo de depreciación y costo de oportunidad del capital total invertido.
- Costo Fijo: Costo financiero, más seguros, mantenimiento y gastos de administración, según la aplicación que corresponde a almacenamiento (Dato No. 13), costo de tratamientos preventivos, mantenimiento y seguros (En la misma forma que en el Modelo de Secamiento).
- Costo Variable: Manipuleos de grano, costo financiero de la inversión de empaque, fumigaciones curativas, energía eléctrica (tres posibilidades, constantes técnicas).
- Costo Total: Variable más fijas.
- Tarifa Mensual.
- Punto de equilibrio, para las condiciones indicadas de costos Fijos y variables (resultado en toneladas).
- Rotaciones necesarias para alcanzar el punto de equilibrio. Volumen manejado en el año dividido por la capacidad total.
- Utilidades Brutas anuales, ingresos totales menos costos totales.
- Utilidad después de impuestos.
- Inversión Total: obras civiles, mecánicas y eléctricas, capital de trabajo (un mes de gastos de personal y administrativos).
- Costo Mermas: calculado con el valor comercial del grano.
- Costo mensual de Financiación del Grano: con intereses comerciales y especiales, según su distribución.

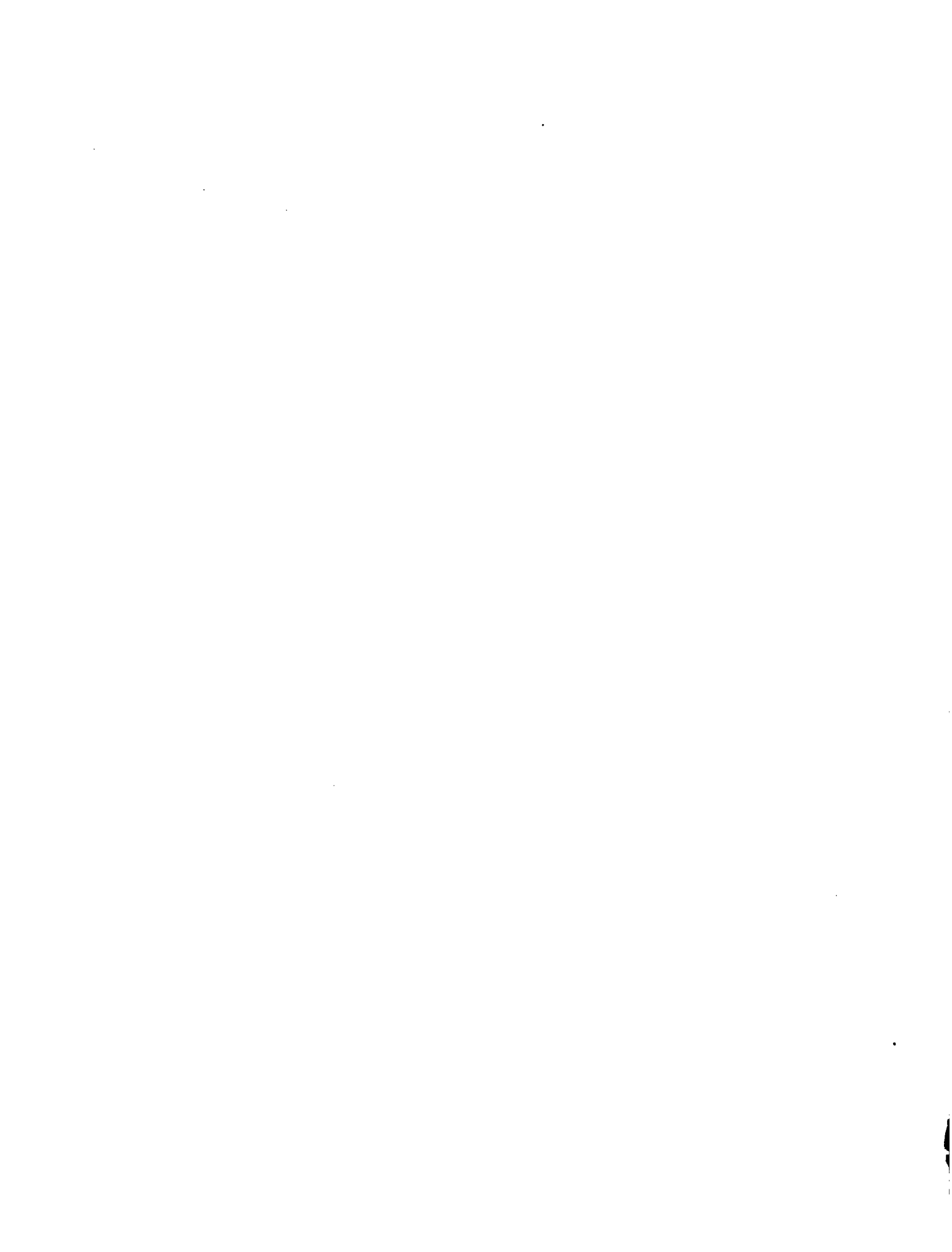
Constantes técnicas

El Modelo utiliza para sus operaciones las siguientes técnicas:

- Para fumigación preventiva:
Se supone que las bodegas son cuadradas y un tratamiento cada dos meses: si el almacenamiento se realiza en silos, se asume un tratamiento por cada rotación.
- Mantenimiento y Seguros:
Se usan las mismas constantes del Modelo de Secamiento
- Empaque:
16 bultos por tonelada.

-Energía Eléctrica:

- (1) Bodegas sin mecanización: consumo de energía cero (valor cero en el Registro No. 28).
- (2) Bodegas Mecanizadas: consumo de 0.8 k-w/hora para cargue y descargue, cifra que corresponde al gasto promedio de los estibadores de banda (cualquier número en el Registro No. 28).
- (3) Silos, consumo promedio, para cargue y descargue de 0.96 kw-hora y de 0.72 kw/hora por cada trasiego.



*Este Documento fue editado
e impreso por la Unidad de
Publicaciones del IICA-Colombia*

IICA
E10
720

Autor

Alvaro Castillo Niño

Título

Acondicionamiento de granos:
secamiento, almacenamiento

Fecha
Devolución

Nombre del solicitante

DOCUMENTO
MICROFILMADO
Fecha: 18 FEB 1983

