



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**Estudio para el Proyecto de un Almacén para
el Secado y Conservación de Granos y Semillas
Actuado por Energía Solar.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA DE INGENIERIA MECANICA
P R E S E N T A**

JAIME NEFTALI GONZALEZ BEGNE

ABELARDO GOMEZ TELLEZ

**DIRECTOR DEL SEMINARIO:
ING. ANDRES RUIZ MIJARES**

**ASESOR DEL SEMINARIO:
ING. RAUL ESPINOZA ISLAS**

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

-OBJETIVOS-

Ya que es físicamente imposible el consumo inmediato de la producción total de -- las cosechas de granos alimenticios, el hombre tiene que almacenarlas para consumirlas de acuerdo a sus necesidades nutricionales y económicas.

Los problemas relativos a la conservación de granos y semillas son muy comple-- jos, por la concurrencia de factores físicos, químicos, mecánicos, biológicos, etc., y pode-- mos decir que muchos de los factores citados, son específicos de ciertas regiones ecoló-- gicas del país: sin embargo gran parte de la resolución de ellos se apoya en la investiga-- ción y en el conocimiento de las causas que los originan.

Por lo dicho anteriormente, los objetivos de este trabajo son:

- a) Hacer notar la importancia del almacenamiento de granos en relación con el crecimien-- to demográfico de la población.
 - b) Estudiar y dar a conocer las generalidades sobre la ecología y fisiología de los granos y semillas.
 - c) Detectar los problemas comunes en el manejo, almacenamiento y conservación de los granos y semillas.
 - d) Definir los criterios para el diseño de los almacenes y las prácticas de almacenamien-- to, aprovechando la Energía Solar.
 - e) El o los procesos del secado de los granos y semillas.
 - f) Los principios de sanidad y limpieza en el manejo de granos y semillas.
 - g) Realizar el prototipo de un edificio para almacenamiento de granos y semillas aprove-- chando como medio de trabajo, la Energía Solar.
-

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

- a) Importancia del almacenamiento de granos y sus necesidades.
- b) Importancia en el campo del uso de la energía solar y su aplicación para resolver problemas relacionados con el almacenamiento y secado de granos y semillas.

Cap. 1. - Generalidades sobre la ecología y la fisiología de los granos y semillas.

Cap. 2. - Problemas diversos en el manejo, almacenamiento y conservación de los granos y semillas.

Cap. 3. - Almacenes y Almacenamiento (materiales).

PARTE DOS

Cap. 4. - Secado de los granos y de las semillas.

Cap. 5. - La radiación solar (generalidades).

Cap. 6. - Colectores de radiación solar.

Cap. 7. - Secado industrial y agrícola.

Cap. 8. - Almacenamiento de calor y calefacción de almacenes.

PARTE TRES

Cap. 9. - Alternativas diversas en el diseño de un almacén para el secado de granos y semillas.

Cap. 10. - Diseño de las superficies selectivas a la radiación y selección de los materiales.

Cap. 11. - Integración del proyecto en sus fases de diseño de edificios y diseño -
del sistema de secado (construcción de un prototipo),

Cap. 12. - Proyección y aspectos Socio-económicos del proyecto.

INTRODUCCION. -

LA IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE GRANOS Y SUS NECESIDADES. -

La alimentación es determinante para todo progreso humano y la lucha para obtener la nutrición de los seres vivos cada vez es más caótica, por esto y muchas razones es necesario que el hombre aprenda el aprovechamiento de los productos alimenticios y el suministro de ellos para la conservación de su vida.

La importancia del almacenamiento de estos productos alimenticios como los granos y sus derivados, son fuente indispensable para el hombre y otros organismos, por lo que es de vital importancia.

La conservación de los granos alimenticios así como su almacenamiento, debe de ser desde el momento de su cosecha hasta el momento de su utilización o venta.

El almacenamiento de las semillas requiere de ciertas condiciones, para que no sufran alteraciones que puedan dañarlas, disminuyendo su capacidad germinativa.

El aumento masivo de la población humana, demanda cada vez más de mayores volúmenes de granos y cereales que satisfagan las necesidades alimenticias e industriales de la humanidad. Sin embargo existe un desequilibrio entre la producción y el consumo de granos alimenticios, produciéndose carencias críticas las que repercuten en la nutrición del pueblo.

Por lo general las áreas de grandes producciones de granos se encuentran alejadas de los centros de consumo, por lo que es necesario su almacenamiento y transporte para distribuirlos oportunamente.

Las cosechas de granos básicos alimenticios, han sufrido grandes incrementos debido a las técnicas modernas agrícolas. Estos incrementos son consecuencia del cultivo de nuevas y mejores tierras, mejores técnicas de riego, empleo de semillas mejoradas, del uso de fertilizantes, insecticidas herbicidas y fungicidas y de mayores créditos al campo.

La capacidad del aprovechamiento industrial de los granos y cereales es limitada, por lo que con las instalaciones con que se cuenta no son suficientes cuando existen mayores volúmenes de cosecha o cuando los rendimientos son altos, haciéndose necesario almacenar estos granos, mientras van siendo industrializados, según las necesidades y capacidad de las instalaciones.

Es conveniente tener en existencia granos y semillas por lo que se tienen que almacenar para que cuando exista escases, abastecer y distribuirlos eficazmente para que no exista variación en el precio y así mejorar la economía del país.

El almacenamiento de granos alimenticios, es un proceso costoso que trae consigo problemas complejos, pero es de vital importancia para la nutrición humana. Los granos y cereales destinados a cualquier uso, están sujetos durante el período crítico de su almacenamiento a pérdidas variables, adicionales a las naturales causadas por factores físicos, químicos, mecánicos y biológicos.

LA IMPORTANCIA EN EL CAMPO DEL USO DE LA ENERGIA SOLAR Y SU APLICACION PARA RESOLVER PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL ALMACENAMIENTO Y SECADO DE GRANOS Y SEMILLAS. -

En la actualidad reviste una gran importancia el uso y descubrimiento de nuevas formas de energía. La energía solar en estos momentos por los que atraviesa el mundo económico y financiero, está logrando avances y aplicaciones satisfactorios. Ahora introducimos con éste estudio una nueva aplicación de la energía solar en el campo, para resolver problemas relacionados con el almacenamiento y secado de granos y semillas.

La energía solar será aplicada mediante mecanismos a los silos de almacenamiento con el fin de secar los granos y semillas, para que no existan problemas en la fisiología y poder nutricional de dichos productos.

Es importante subrayar que con la aplicación de la energía solar en el campo, se dará un gran paso en la tecnología que nos permitirá resolver problemas que anteriormente no tenían solución inmediata.

No será necesaria la aplicación de energía eléctrica adicional, que por un lado no es costeable, y por otro es difícil de llevar al campo. La ventilación en el almacén o silo se realizará naturalmente o con ayuda de un mecanismo de ventilación forzada dándole al grano un nivel de temperatura y humedad óptimos, para ser aprovechados en el consumo diario de la población.

Se podrían utilizar almacenes o silos accionados mediante la energía solar en cualquier parte del campo de siembra. La ubicación de almacenes cerca de los campos o sembrados, beneficiaría el traslado de la cosecha agilizándolo.

De esta forma no podrá surgir el problema de un alto porcentaje de pérdidas de granos y semillas, debido a las carencias en cuanto a efectividad de sistemas de almacenamiento que se usan actualmente. En el caso de retrasar el traslado, el producto en cuestión corre el riesgo de ser infectado ya sea por plagas, insectos ó roedores.

CAPITULO 1. -

GENERALIDADES SOBRE LA ECOLOGIA Y LA FISIOLOGIA DE LOS GRANOS Y LAS SEMILLAS.

LAS PROPIEDADES DEL GRANO. -

Los granos y las semillas son partes estructurales de organismos vivientes que respiran y utilizan el oxígeno produciendo bióxido de carbono, y energía que es traducida en calor.

Estas partes constitutivas tienen sus actividades vitales reducidas a un mínimo, es decir, su vida es latente, por lo que en el medio ambiente no denotan vida.

Por razón de ser partes de organismos vivos, presentan resistencia a la descomposición por microorganismos y permiten que se les almacene en grandes volúmenes, por tiempos variables y sin deterioro o descomposición, siempre que las condiciones ambientales sean favorables para su conservación y almacenamiento.

EL GRANO Y EL MEDIO AMBIENTE.

Todos los organismos vivientes están sujetos a la influencia de factores físicos, químicos y biológicos del medio ambiente que los rodea. En el caso de los granos y de las semillas, los factores físicos tienen una influencia vital sobre su conservación. Los factores físicos como la temperatura y la humedad, desde el punto de vista del almacenamiento, manejo y conservación de los granos y semillas, son de una gran importancia por la forma tan directa y trascendental en que ejercen su influencia sobre esos órganos vegetales.

Existen a su vez otras tres propiedades que nos determinan el comportamiento y reacción de los granos y semillas como son:

- a) La baja conductividad térmica.
- b) La capacidad de absorción del agua.
- c) La naturaleza porosa del grano.

A) LA BAJA CONDUCTIVIDAD TERMICA. - Cada grano o semilla tiene, característicamente, una determinada conductividad térmica, es decir, cierta velocidad con la que el calor

pasa de las zonas calientes hacia las más frías en la masa del grano, siendo ésta diferente y específica para los diversos tipos de granos y semillas. En el caso de los conductores sólidos, como los metales, el calor se desplaza del punto de calentamiento a velocidad más o menos uniforme en todas direcciones, indistintamente del tamaño y forma del conductor; pero en el caso de los granos y semillas, la forma, el tamaño y la textura, determinan la velocidad y conductividad térmica. Esta conductividad térmica, en general es muy baja y es comparable a la que posee el suelo y la madera. Por lo que cuando se produce una zona de calor en cualquier parte de la masa del grano, el calor se transmitirá lentamente hacia las áreas frías. Esta es la razón fundamental por la cual la temperatura alta causa graves daños en los volúmenes de granos almacenados. Una concentración de calor genera una alta temperatura, la cual repercute en la integridad física de la materia viviente.

Por lo general los granos son almacenados en grandes volúmenes y por su característica de baja conductividad térmica, una elevación anormal de la temperatura ocasiona serios daños a los granos. En las semillas almacenadas a granel, las áreas calientes por lo general se forman como resultado del alto contenido de humedad del grano que propicia el incremento del metabolismo, la presencia de insectos y poblaciones de hongos y bacterias. La respiración y la producción de calor del grano, combinada con la de los insectos y la de los microorganismos, producen en conjunto la elevación de la temperatura, lo cual afecta al volumen total del grano. Bajo estas condiciones de calor excesivo, la muerte y descomposición del grano o de la semilla se producen con cierta aceleración.

Para el manejo de los granos y semillas, se debe de tomar en cuenta la conductividad térmica específica en la masa de cada tipo de grano para los fines de conservación. Existen diferentes prácticas que indican la forma de inactivar o impedir estos núcleos calientes, exponiendo esas áreas a temperaturas más frías mediante aereación, eliminando así dichos núcleos y evitando el incremento de altas temperaturas. Este mismo hecho indica la necesidad del conocimiento de las variaciones de temperaturas en los granos almacenados. Para usar esta información en los procedimientos a seguir para efectuar acondicionamientos prácticos, efectivos y económicos, con la finalidad de conservar mejor los granos y --

semillas en buenas condiciones durante el almacenamiento.

B) LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGUA POR LOS GRANOS Y LAS SEMILLAS. -

La presencia de agua en la masa del grano implica la combinación de ésta con el material seco, el cuál es variable dentro de determinados límites. El agua se encuentra contenida en los granos y semillas en tres formas diferentes: agua libre, contenida en los espacios intergranulares, en los cuáles se fijó gracias a las moléculas de las sustancias que la soportan; agua absorbida, las moléculas de la cual se interrelacionan con las de las sustancias constituyentes del grano; y el agua combinada, que está unida a las moléculas de los materiales de reserva.

La presencia del agua en éstas tres formas, dificulta la determinación exacta de la proporción en que cada una de ellas se representa en el contenido total de agua.

En el grano el agua retenida se presenta en los diversos tipos descritos. Cuando los átomos se unen para constituir moléculas, se saturan todos los lados de la cadena química; sin embargo, las moléculas influyen unas sobre otras, mediante fuerzas variables llamadas " fuerzas intermoleculares ". El agua combinada está influenciada por las fuerzas intermoleculares del grano, esto se manifiesta por la formación de líquidos y cristales o mediante otros tipos de interacción entre las moléculas.

Para dar una idea de la magnitud de la importancia del contenido de agua en granos y semillas, consideremos el siguiente ejemplo: se almacenan 1,000 toneladas de maíz cuyo contenido de humedad sea de 10%, dicho volúmen de grano tiene contenidas 100 toneladas de agua.

El contenido de humedad se determina en base a su peso de agua y los métodos para expresar el porcentaje de humedad son dos: el porcentaje sobre base húmeda, y el porcentaje sobre base seca.

El contenido de humedad sobre base húmeda, es obtenido dividiendo el peso del agua presente en el material entre el peso total del mismo.

$$\% H_{\text{h}} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del agua} + \text{Peso de materia seca}} \times 100$$

El porcentaje de humedad sobre base seca, se determina dividiendo el peso del agua entre el peso de materia seca.

$$\% H = \left(\frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de materia seca}} \right) \times 100$$

La expresión de base húmeda, se usa generalmente como norma legal, en el comercio internacional de granos.

Los precios de los granos y las semillas varían entre otros factores, en función del contenido de humedad de ellos, calculado sobre base húmeda.

El contenido de humedad sobre base seca, se emplea en trabajos de investigación y en ecuaciones de variaciones de humedad. Este método se utiliza para expresar el contenido de humedad en ecuaciones de secado de granos y semillas.

Lógicamente el contenido de humedad siempre es mayor que el obtenido sobre base húmeda.

Para informar los contenidos de humedad, se deben de especificar las bases sobre las que se hicieron las determinaciones.

Entre más pequeño es el contenido de agua de los granos, éste se encontrará más fuertemente contenido por las fuerzas intermoleculares antes mencionadas. El equilibrio dinámico entre el agua y el grano y el agua del aire, es función de la temperatura y el punto de equilibrio cuando se trata de granos secos, se alcanza en un porcentaje para cada tipo de grano, en condiciones dadas de humedad relativa.

Cuando la humedad relativa del aire es superior al 75% la humedad del grano almacenado se incrementa rápidamente. En climas secos, donde la humedad relativa es inferior, los cambios de ésta no afectan el contenido de humedad del grano.

Cuando el contenido de humedad del grano se incrementa, lo hace también su temperatura, por lo que los insectos, hongos, y las bacterias presentes dentro y fuera de él, se desarrollan rápidamente, razón por la cual se deben tomar medidas necesarias para que se mantenga el bajo contenido de humedad de los granos y asegurar así su conservación en el almacén.

La temperatura y el contenido de humedad en los granos y sus derivados actuando juntos en el almacén, son factores de vital importancia en su conservación. Si existen diferencias de temperatura en la masa del grano, se presentará el fenómeno de transmisión de calor de las áreas más calientes hacia las más frías. Así mismo la humedad se transmite del grano más caliente, hacia el más frío, en donde se condensa y cambia el contenido de humedad en esta área específica. La transmisión del agua es la masa del grano cuando los gradientes de temperatura se establecen, debido a que hay un movimiento del agua de las áreas más calientes hacia las más frías, se acentuará más en los puntos de contacto con las áreas calientes o frías, por ejemplo, cuando el grano caliente está en contacto con superficies frías o con corrientes de aire, como el grano por naturaleza es mal conductor del calor, se pone en contacto con materiales fríos y que sean buenos conductores del calor, estos cambian la temperatura con rapidez pero el grano por su conductividad específica, lo hace lentamente.

Este fenómeno y su evolución, producen áreas específicas con el más alto contenido de humedad, las cuáles son más propensas a los insectos y los microorganismos, lo que a su vez produce calor por el metabolismo, dando por resultado núcleos o zonas peligrosas que se extienden a través de la masa de los granos.

C) LA NATURALEZA POROSA DEL GRANO. - Los granos tienen una estructura porosa y debido a esta característica, existe el fenómeno de la difusión del aire a través de la masa, la cual es muy lenta y no es capaz por sí sola de eliminar excesos de humedad o de temperatura de la masa del grano, cuando esté se encuentra en almacenamiento.

La actividad del grano al igual que la de los animales, se manifiesta por la producción de energía a partir de las sustancias de reserva, mediante los procesos respiratorios. La velocidad de respiración en los granos se relaciona con la disponibilidad de oxígeno y es función de la temperatura, así los granos húmedos se calientan más que los granos secos.

Mientras exista oxígeno disponible, puede llegar este calentamiento hasta la destrucción de los granos por el efecto adverso de las altas temperaturas, y aún hasta la ig-

nición misma. El agua contenida en el grano, actúa como elemento de hidratación de los tejidos; los colóides de las células forman una especie de gelatina elástica, permitiendo que el oxígeno y el bióxido de carbono se difundan con mayor rapidez en la masa individual de la semilla. El fenómeno de difusión de los gases es directamente proporcional a la elasticidad de las sustancias gelatinosas, y como al disminuir el contenido de agua disminuye también dicha elasticidad, automáticamente decrece el intercambio de los gases de la respiración, por lo que la actividad vital del organismo, el grano en este caso, decrece. Finalmente, el aumento de la respiración de los granos, hace que se genere y libere mayor cantidad de energía que se transforma en calor, aumentando así la temperatura del volumen de granos almacenados en las condiciones que se han considerado.

El proceso de la respiración se efectúa en todas las células vivas, para proporcionar la energía química requerida por el protoplasma para llevar a cabo funciones metabólicas vitales en los organismos. Mediante la respiración se libera energía, debida a la oxidación bioquímica de los carbohidratos y de otros materiales nutrientes.

En los organismos aerobios, el oxígeno es absorbido y algunos compuestos orgánicos, tales como los carbohidratos y las grasas, se oxidan, formándose entonces bióxido de carbono y agua, como productos metabólicos de desecho.

Los organismos anaerobios oxidan estas sustancias sin el empleo del oxígeno molecular; en este tipo de respiración, están comprendidos los casos de fermentaciones, y es realizada por muchos organismos, para producir, finalmente, bióxido de carbono, alcohol etílico, ácido acético, ácido fórmico y otros compuestos. En la respiración anaerobia, los productos finales son el bióxido de carbono y diversos compuestos orgánicos simples: los constituyentes celulares sufren una oxidación y reducción internas y la cantidad de energía liberada por unidad de sustrato consumido, es mucho menor que en el caso de la respiración o proceso aerobio.

Tanto la respiración aerobia como la anaerobia, siguen un patrón común, el cual involucra la presencia de enzimas, de metabólicos intermedios y de otros complejos, entre el sustrato primero y los productos finales.

En la respiración normal de las plantas y de los animales, la descomposición inicial del sustrato se completa sin intervención del oxígeno, pero los resultados finales de esta fase anaerobia, son oxidados aereobicamente a bióxido de carbono y agua principalmente. La mayoría de los organismos requieren oxígeno libre para una función normal y bajo condiciones anaerobias solo viven cortos períodos de tiempo. Se cree que esto es debido al establecimiento de un equilibrio, a través de la acumulación de los productos finales y al efecto de estos productos sobre el protoplasma.

El oxígeno y el bióxido de carbono influyen sobre la condición de los granos y semillas almacenados. Esta influencia esta relacionada con la porosidad individual y volumen mismo de los granos, así como también con su respiración y aereación. La influencia que los factores bióticos, como los insectos y los microorganismos, tienen sobre los volúmenes de granos almacenados, es de mucha importancia. La presencia de poblaciones de dichos organismos, causa perjuicios considerables a los granos y a sus productos almacenados, originando su demérito y hasta la pérdida total, desde el punto de vista agrícola, económico, industrial y nutritivo.

EL CALENTAMIENTO ESPONTANEO. -

El llamado calentamiento espontáneo de los granos almacenados, se debe al proceso respiratorio realizado por organismos vivientes. El bajo calor específico de los granos impide que los calentamientos que se originan en las zonas más húmedas de la masa, se disipen fácilmente a través del volumen de grano y por esto, la temperatura de los granos se incrementa. Este aumento de temperatura acelera más aún la velocidad de respiración de los granos en esas regiones y es así como continua ascendiendo la temperatura, por otra parte la respiración de los insectos y los microorganismos, contribuye a incrementar dicha temperatura del volumen de grano considerado, originando el fenómeno que se denomina "calentamiento espontáneo" por la rapidez con que éste se desarrolla. Cuando se almacenan granos o semillas secos o de baja humedad, la respiración de dichos insectos y microorganismos es relativamente baja, de tal forma que dicho fenómeno no tiene lugar bajo estas condiciones de almacenamiento.

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS GRANOS. -

En la determinación de la humedad de granos y semillas se debe de tomar en cuenta la "muestra" que se analiza. Es necesario que las muestras sean las más representativas de un lote, para determinar la humedad satisfactoriamente. Las muestras de granos o semillas de 1,000 gramos, generalmente deben ser colocadas en latas herméticas o en bolsas de plástico y no se deben de abrir hasta cuando se determine la humedad de ellas.

Se recomienda utilizar el muestreador "Boerner" para obtener las submuestras y así usar el método más conveniente para determinar el contenido de humedad.

Existen varios métodos para determinar la humedad de los granos y semillas siendo los siguientes los más usados:

1. - DESTILACION. - La remoción de la humedad del grano se hace calentando el grano en aceite, y el volúmen o peso del agua del grano, se condensa del vapor desprendido de la muestra.

A) Método de Brown y Duvel. Este método es preciso y el equipo que contiene muchas unidades de operación, permite determinar de 15 a 20 muestras de grano o semilla por hora. En un matraz se coloca una muestra de 100 gramos de grano completo, se le agregan 150 ml. de aceite y se calienta la muestra hasta una temperatura dada para cada tipo de grano (trigo a 180°C), posteriormente se inclina el matraz y se deja enfriar la mezcla hasta los 160°C , la cantidad de agua que se junta en la probeta que la recibe después de atravesar el refrigerante, se lee en milímetros y se reporta como porcentaje de humedad de la muestra de grano considerada.

B) Destilación con Tuoleno o Benceno. - La muestra de 20 a 30 gramos de grano se muele y se coloca en un matraz al que se le agregan 75 ml. de tolueno o benceno. Se destila y el agua se capta en un tubo especial en donde se mide.

2. - METODO DE HORNO O DE ESTUFA. - Se determina la humedad secando la muestra, tomando su peso antes y después del secado. El contenido de humedad se expresa en base a la pérdida de agua. Los hornos empleados son calentados con aire caliente o con agua -

caliente circulando entre sus paredes.

Las muestras se introducen y una vez secadas se reciben en un desecador mientras se enfrían, para pesarse y determinar así su pérdida de agua.

Existen dos formas de proceder. El grano de 2 a 3 gramos se seca en un tiempo de 1 a 2 horas a una temperatura de 130 C; o la muestra de 25 a 30 gramos de grano entero, se coloca en el horno por 72 a 96 horas a 100 C.

En ambos casos se reciben las muestras de la estufa en un desecador y se pesan para determinar la diferencia de peso que indica el porcentaje de humedad.

3. -MATERIALES DESECANTES. -La muestra de grano molido junto con un activo material desecante, se colocan de tal forma que la humedad del grano molido pase al desecante, hasta que se obtenga peso constante de la muestra. El ácido sulfúrico anhidro es una materia empleada como desecante de granos.

4. -METODOS ELECTRICOS. -Son basados en dos principios físicos que son aprovechados en la construcción de aparatos medidores de la humedad de los granos y las semillas. Los principios físicos son los siguientes:

1 La resistencia eléctrica o conductividad de un material, depende de su contenido de humedad.

2 Las propiedades dieléctricas de un material dependen de su contenido de humedad.

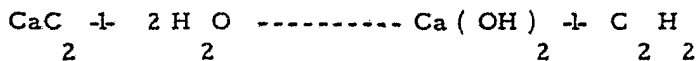
Los aparatos más usuales para determinar la humedad de los granos y semillas son basados en el primer principio físico y son: el tipo "Universal"; el tipo "Marconi" y el tipo "Tag-Heppenstall" y existe el "Steinlite" basado en el segundo principio.

5. -METODOS QUIMICOS. -Consisten en agregar un material químico a la muestra cuya humedad se desea determinar. Esta materia química se descompone con el agua contenida en la muestra, la reacción química produce un gas que disminuye el peso original de la muestra. Se necesita hacer una calibración adecuada, de cuyas curvas se determina el contenido de humedad.

Se usan muestras de 30 gramos de grano o semilla a los que se mezcla el compues

to químico y se agita dicha mezcla para que la reacción química se efectuó.

El carburo de calcio es el compuesto químico que se utiliza y al reaccionar con el agua de la muestra produce hidróxido de calcio y acetileno, según la reacción siguiente:



BIBLIOGRAFIA. -

- Anderson, J. E. 1936. Some facts concerning vacuum-oven moisture determination. Cereal Chem 13.
- Cook, W. H., J. W. Hopkins, and W. F. Geddes. 1934. Rapid determination of moisture is grain comparison of 130 C air oven and Brown - Duvel methods with vacuum oven method. - Can. Jor. Research, 11.
- Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. Agricultural Engineering Willey and Sons, New York.
- Oxley, T. A. 1945. -The spontaneous heating of stored cereals. Journ, Royal Coll, Sci, 15.
- Zeleny, Lawrence. 1954. Methods of grain moisture measurement. Agr. Engr. 35. Abril.

CAPITULO 2. -

PROBLEMAS DIVERSOS EN EL MANEJO, ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE LOS GRANOS Y SEMILLAS.

La maniobrabilidad y la conservación adecuada de los granos y las semillas almacenados, depende en gran parte de la ecología de la región considerada; del tipo de almacén disponible; del tipo de cereal a almacenar y de la duración del almacenamiento.

Si los granos no son manipulados adecuadamente pronto serán invadidos por insectos, plagas, y roedores; también una de las principales causas del deterioro y pérdida de granos y semillas en el almacenamiento, son la humedad y la temperatura. En términos generales se han hecho estimaciones de las pérdidas que pueden ocasionar los insectos y microorganismos de almacén y se puede señalar que van del 5 al 10% en aquellos sitios en que el manejo y conservación del grano es realizado satisfactoriamente, llegando a niveles del 30 al 40% en el medio rural, donde las condiciones de almacenamiento son muy precarias o no existen del todo.

Las pérdidas que ocasionan los insectos pueden ocurrir en dos formas, aquellas en las cuales el daño es directo, es decir, el consumo de los granos en sí, lo que determina una pérdida en peso de los granos, en la reducción de la germinación y/o vigor de las semillas y su depreciación en el mercado. En forma indirecta los insectos ocasionan un aumento de la temperatura y de la humedad durante el almacenamiento, lo cual ayuda a la aparición y desarrollo de hongos y otros microorganismos que pueden producir enfermedades en el hombre y en los animales (aflatoxinas, salmonelas, etc.).

La conservación de los granos y las semillas en las regiones tropicales húmedas, donde privan condiciones de alta temperatura y humedad relativa, constituye un problema de bastante seriedad. La alta humedad relativa que prevalece en estas regiones, ocasiona que el contenido de humedad en los granos y en las semillas se equilibre en porcentajes de humedad muy peligrosos para su conservación, aún tratándose de cortos períodos de almacenamiento. Por ejemplo, con 25 grados centígrados de temperatura y un 75% de hú-

medad relativa en el medio ambiente, el grano de maíz alcanza, con facilidad, un equilibrio dinámico de casi 15% de contenido de humedad. Esta condición lo predispone al ataque de insectos y hongos, y a calentamientos peligrosos debido a la aceleración del metabolismo del grano y a las plagas. La condición descrita contribuye y acelera el deterioro del grano y es causa de una conservación muy incierta de éste.

La conservación de los granos o de las semillas es un problema muy complicado y difícil de resolver. El principio de un buen almacenamiento y conservación de granos y semillas es el empleo de bodegas secas, limpias y libres de plagas, donde se almacenen granos secos y enteros, sanos y sin impurezas.

En el aspecto agrícola todos los esfuerzos realizados por el hombre para incrementar la producción de granos alimenticios, pierden virtualmente su valor, si no se dispone de sistemas apropiados para conservar esos productos, durante la época crítica de almacenamiento.

Los granos básicos para la alimentación del pueblo mexicano son: el maíz, el frijol, el trigo y el arroz. Su cultivo e industrialización está adquiriendo cada vez mayor importancia en México.

El incremento en la producción de los cultivos básicos alimenticios es notorio en México, especialmente en los últimos 15 años. Estos incrementos en la producción y, sobre todo, el de la población, nos plantean un problema bastante serio. Por un lado, los volúmenes de semillas y granos que deben almacenarse y conservarse, van en aumento cada día; por otro lado, estos productos demandan un manejo adecuado para conservar la calidad y el valor económico, agrícola e industrial.

El problema de la conservación de granos y semillas en México, reviste una mayor importancia, cuando se analiza desde el punto de vista mecánico, debido a la carencia de buenos almacenes.

En casi todas las regiones del país, las condiciones ecológicas favorecen considerablemente la reproducción de las plagas de insectos, hongos, roedores y pájaros, los cuales causan daños a los granos y a las semillas tanto en el almacén como en el campo.

En la actualidad la necesidad de almacenar grandes volúmenes de granos y semillas por la implementación del Sistema Alimentario Mexicano (SAM), originó la instalación de bodegas o almacenes temporales, desmontables, los cuales, a pesar de su temporalidad, cuentan con equipo para realizar aquellas prácticas de conservación necesarias, como si fuerán definitivas.

CAUSAS DE LAS PERDIDAS EN EL ALMACENAMIENTO DE GRANOS.

Las principales causas de las pérdidas cuantitativas y cualitativas de los granos almacenados en orden de importancia, son las siguientes:

- 1) La carencia de almacenes adecuados para el manejo y facilidades de almacenamiento.
- 2) El alto contenido de humedad e impurezas del grano al almacenarlo.
- 3) La presencia de plagas (insectos, hongos y roedores).
- 4) El manejo deficiente de granos y semillas.
- 5) El desconocimiento de los principios de conseevación de granos.

Analizaremos a continuación éstas causas desfavorables para la conservación de los granos y sus productos durante su almacenamiento.

LA CARENCIA DE ALMACENES ADECUADOS. -

El almacén, bodega o silo, es el lugar que determina, en gran parte, con qué seguridad se conservarán los granos y productos allí depositados. Esté tipo de construcción su localización y funcionamiento, deben ser planeados específicamente para éste servicio, atendiendo a las necesidades regionales o nacionales con respecto a volúmen e importancia de acuerdo con las condiciones climáticas del área en que se construyan.

El almacén debe proteger a los granos y a las semillas de los factores físicos del medio ambiente, como la excesiva humedad o las temperaturas extremas que los perjudican, así como de factores bióticos, como las plagas de insectos, hongos, bacterias, ratas, ratones y aves. Para ello, cuándo así se requiera, debe contarse con el equipo indispensable para el movimiento del grano, su limpieza, la clasificación y el secado, además con el equipo adecuado para el combate de plagas.

Los granos y sus productos tienen un valor monetario variable. Generalmente se

almacenán en grandes volúmenes que significan cantidades muy respetables de dinero, lo deseable es que al almacenarlos ese valor económico inicial, se convierta en una cantidad mayor ó se conserve igual, esto se logra conservando la calidad.

La conservación y el manejo de los granos y de sus productos, depende, en gran parte, del tipo de bodega en que se almacenen. La disponibilidad de buenos almacenes y el manejo de los grandes es un factor muy deseable, sin duda disminuye las pérdidas mundiales de granos y sus productos, y nos permite disponer de mayores volúmenes alimenticios para las necesidades de la población.

EL ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD Y DE IMPUREZAS DEL GRANO, EN EL MOMENTO DE ALMACENARLO. -

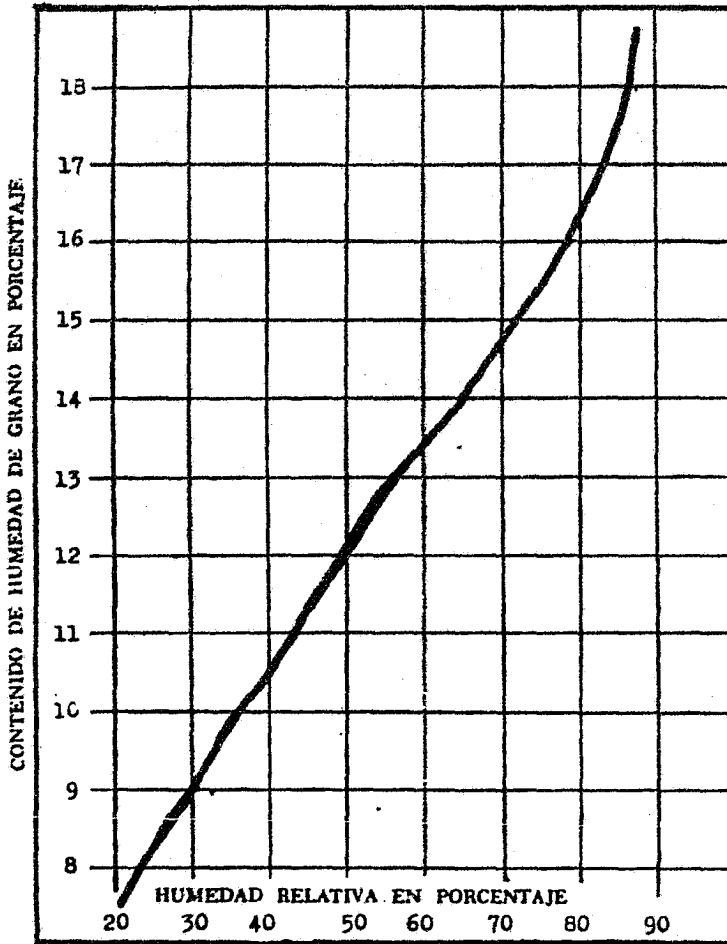
El origen de la humedad de los granos y semillas es muy variado por lo que respecta a su alto contenido de humedad en el momento de almacenarlas. Las plagas que atacan a los granos almacenados son menos atraídas por los granos secos. Además, cuando el grano es almacenado con exceso de humedad, automáticamente se predispone a un calentamiento excesivo o espontáneo, debido a su alto rango respiratorio y simultáneamente a la descomposición y pérdida del grano por ataque de hongos, bacterias e insectos.

Las condiciones ecológicas prevalentes en el área de almacenamiento, tienen también una influencia decisiva sobre los granos que allí se van a guardar, porque éste grano forzosamente tiene que alcanzar un equilibrio de humedad con la humedad relativa del aire. El contenido de humedad máximo con que un grano debe ser almacenado, con seguridad depende de tres factores: el tipo de condición del grano, el área ecológica y la duración del período de almacenamiento necesario.

Mientras que en algunas regiones específicas (áridas y secas) de México, se pueden almacenar granos y semillas con un determinado porcentaje de humedad inicial por un tiempo más o menos largo y con una seguridad de conservación relativa, ese mismo contenido de humedad inicial en otras áreas ecológicas (tropicales y húmedas) puede ser completamente perjudicial para la conservación de los granos, aún por períodos cortos de al .

macenamiento.

Está probado que con contenidos de humedad menores del 9%, es muy difícil que los insectos puedan prosperar en su desarrollo en masas de granos en esas condiciones. Pero desgraciadamente este 9% de humedad no es común que se obtenga en la práctica.



Esta gráfica muestra el equilibrio alcanzado en la práctica por algunos granos a una temperatura dada y bajo diferentes condiciones de humedad relativa del aire

Los granos rotos y las impurezas que se encuentren presentes en aquellos volúmenes de granos que se van a almacenar, representan en realidad, aparte de la contaminación en sí, una amenaza para la buena conservación de estos productos, ya que los volú-

menes de grano en estas condiciones, son muy favorables para el desarrollo de insectos y microorganismos que perjudican y demeritan la calidad de los granos o de las semillas. - Cuándo es necesario combatir las plagas o ejecutar el acondicionamiento del grano, es mucho más difícil trabajar con granos rotos o con granos que tengan impurezas. Está plenamente comprobado que el grano roto y dañado, respira mucho más rápidamente que los granos completos o enteros bajo las mismas condiciones ambientales. Los granos dañados tienen mayores superficies de acceso para los hongos y bacterias y son una fuente de nutrientes mucho más accesible para los insectos.

Para considerarlo grano en muy buenas condiciones de almacenamiento, se admiten un máximo permisible del 5% de impurezas.

HUMEDADES DE EQUILIBRIO DE ALGUNOS GRANOS (BASE HUNEDA), A DIFERENTES PORCENTAJES DE HUMEDAD RELATIVA Y A 25°C DE TEMPERATURA

(Datos tomados de Hall W.C. Drying Farm Corps)

GRANO	PORCENTAJES DE HUMEDAD RELATIVA									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Maíz amarillo duro	5.1	7.0	8.4	9.9	11.2	12.8	14.0	15.6	16.9	23.9
Maíz blanco duro	5.1	7.2	8.5	9.8	11.2	12.9	13.9	15.5	16.9	24.6
Maíz pelomeno	5.6	7.4	8.5	9.8	11.0	12.2	13.1	14.2	15.4	23.0
Soja	4.4	7.3	8.6	9.8	11.0	12.0	13.8	15.9	18.8	21.9
Frijol soya	-	8.5	8.5	7.1	8.0	9.3	11.5	14.8	18.9	-
Trigo blanco de invierno	4.3	7.2	8.6	9.7	10.9	11.9	13.6	15.7	19.7	25.4
Trigo duro de invierno	4.4	7.2	8.5	9.7	10.9	12.5	13.9	15.8	19.7	25.0
Trigo rojo de primavera	4.4	7.2	8.5	9.8	11.1	12.5	13.9	15.9	19.7	25.0
Trigo blanco	5.2	7.5	8.6	9.4	10.5	11.8	13.7	16.0	19.7	26.3
Trigo Durum	5.1	7.4	8.5	9.4	10.5	11.5	13.1	15.4	19.3	26.7
Cebada	4.4	7.0	8.5	9.7	10.8	12.1	13.5	15.9	19.3	26.8
Semilla de algodón	-	-	-	6.9	7.8	9.1	10.1	12.9	19.6	-
Frijol rojo mexicano	6.0	7.5	8.6	9.8	11.0	12.9	15.2	19.6	-	-
Frijol rojo riñón	6.1	7.5	8.7	9.9	11.1	12.9	15.1	18.5	-	-
Frijol oscuro riñón	5.4	7.3	8.4	9.6	10.7	12.5	15.0	18.6	-	-
Frijol claro plano	6.0	7.1	8.3	9.6	11.0	12.6	15.0	18.1	-	-
Frijol pinto	6.1	7.4	8.5	9.8	11.0	12.6	15.1	18.2	-	-
Avena	4.1	6.6	8.1	9.1	10.3	11.8	13.9	14.9	18.5	24.1
Arroz completo	5.9	8.0	9.5	10.9	12.2	13.3	14.1	15.2	19.1	-
Arroz molido	5.1	7.6	9.0	10.3	11.5	12.6	13.8	15.4	18.1	23.6
Centeno	5.2	7.6	8.7	9.9	10.9	12.1	13.5	15.7	20.6	26.7
Linaza	3.3	4.9	5.6	6.1	6.8	7.9	9.3	11.4	15.2	21.4
Harina	2.0	3.6	5.2	5.7	7.5	9.6	11.2	13.7	16.0	-

LA PRESENCIA DE PLAGAS (INSECTOS, HONGOS Y ROEDORES).

Son cuatro los tipos de plagas que individualmente o en conjunto causan pérdidas, considerables de granos tanto en el campo como en el almacén. Estas plagas son los insectos, los hongos, los roedores y los pájaros.

Dependiendo de las condiciones de cada caso se determinarán los daños causados por estas plagas.

INSECTOS.

El efecto de los insectos sobre los granos y las semillas almacenadas se manifiesta en varias formas, entre ellas, la destrucción y consumo del grano por los adultos y estados larvarios, con la consiguiente contaminación del grano por sus excrementos y cuerpos, lo que demerita su calidad como alimento, su valor económico y el poder germinativo de las semillas. Además son portadores de bacterias patogénicas al hombre. El daño causado por los insectos también demerita la calidad del grano destinado a la industria. Las actividades de los insectos crean condiciones favorables para el desarrollo de los hongos, al aumentar el contenido de la humedad de los granos.

Los insectos que causan mayor daño, son de la familia de los coleópteros y lepidópteros.

HONGOS.

Durante su almacenamiento los granos y semillas son invadidos por ciertos hongos, principalmente especies de *aspergillus* y *penicillium*, causando los siguientes daños: muerte del embrión, ennegrecimiento del embrión o de la semilla entera, cambios bioquímicos, calentamiento del grano, impartición de olor desagradable, total destrucción del grano y producción de toxinas, entre ellas la producida por *aspergillus flavus*, aflatoxina la cual es considerada como el carcinógeno más potente que se conoce.

Los granos durante su formación en el campo, están expuestos a ser invadidos por hongos, bacterias, nemátodos y virus, los que en algunos casos constituyen serios problemas para la producción agrícola. A los hongos que invaden la cosecha en el campo se les llama "hongos de campo" y los que la invaden después de la cosecha se les llama "hongos de almacén".

HONGOS DE CAMPO Y DE ALMACEN.

Hongos de campo. - Estos son los que invaden las semillas durante su formación en la planta o cuando éstas han madurado y permanecen en el campo, en espera de ser cosechadas. Estos hongos requieren contenidos de humedad en los granos, de 25 a 30% en -

base a peso húmedo, por lo que detienen su desarrollo cuando las semillas alcanzan su ma durez fisiológica, ya que en ese momento éstas pierden humedad, lo que favorece el desarrollo de hongos de campo.

Entre los hongos más comunes en semillas se encuentran los géneros *alternaria*, *fu* *sarium*, *helminthosporium* y *cladosporium*. Ciertas especies de *fusarium* y *helminthosporium*, pueden afectar directamente la viabilidad de las semillas al matar los embriones.

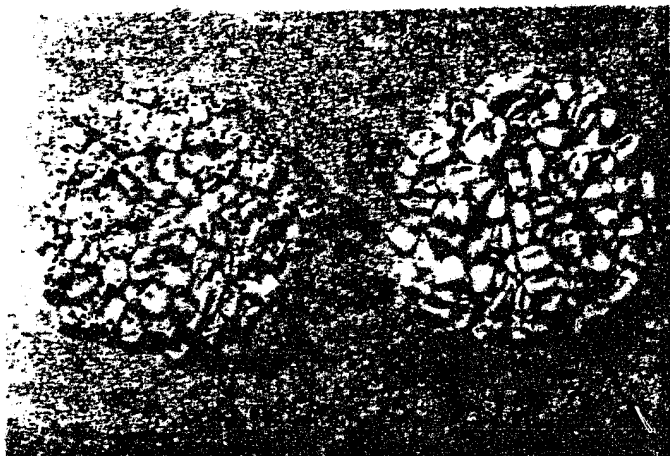
HONGOS DE ALMACEN.

Los hongos de almacén son principalmente especies del género *aspergillus* y algunas de *penicillium*. La fuente de contaminación por estos hongos se encuentra en los graneros y silos, por ser ahí donde hallán las condiciones favorables para su desarrollo y -- donde sus esporas permanecen viables de ciclo a ciclo de almacenamiento y probablemente por períodos de varios años.

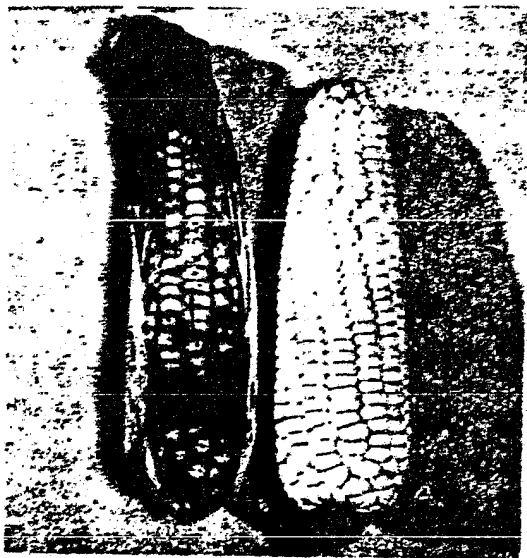
La característica principal de estos hongos es su habilidad para crecer bajo condiciones de poca humedad, ya que son capaces de desarrollarse en granos y semillas que -- tienen bajos contenidos de humedad en equilibrio con húmedades relativas alrededor del 70%

ROEDORES.

Las ratas constituyen un grave problema destruyendo y consumiendo los granos y - contaminándolos con el excremento y orina. Son además portadores y transmisores de graves enfermedades del hombre incluyendo el tifo endémico (a través de las pulgas y los ácaros), la peste bubónica (por la bacteria *pesteurella pestis*), la fiebre de mordida de rata (por las bacterias *spirillum minus* y *estreptobacillus moniliformis*), la ictericia (por la bacteria *leptospira icteronaemoragie*), la tularemia (por la bacteria *tularence*), la triquinosis (por la *trichinella spiralis*), así como la poliometitis, la rabia, etc.



Aspecto que presentan dos lotes de grano almacenados por un año. El de la izquierda, fue atacado severamente por insectos y ha perdido sus cualidades biológicas y alimenticias. El de la derecha fue protegido y almacenado debidamente y se ha conservado apto para diversos usos.



A la izquierda, mazorca de maíz cacahuazintle con ataque de campo, tanto de insectos como de hongos; nótese la destrucción casi total del grano. A la derecha aparece una mazorca sana

MANEJO DEFICIENTE DE GRANOS Y SEMILLAS. -

El manejo deficiente y el desconocimiento de los problemas de la conservación y almacenamiento de granos viene a contribuir a pérdidas generales. Estos granos mal cuidados y manejados deficientemente al ser transferidos al mercado tienen una calidad inferior, que si fuerán manejados con propiedad.

Mediante el establecimiento de normas de calidad de granos se remediaría en gran parte éste problema por lo que es necesario la tecnología y la divulgación sobre los problemas y las soluciones que deben aplicarse al manejo y cuidado de los granos y semillas en almacenamiento. Está información técnica debe de ser bien planeada y entendible para todas las personas conectadas a la agricultura, cosecha, manejo, recepción, almacenamiento y conservación de granos, de semillas y de sus productos. .

La planeación de programas específicos es una solución viable a éste problema.

BIBLIOGRAFIA. -

Brauer, O., y Ramírez Genel, M. 1960. El totomoxtle como protector de la mazorca. Agricultura técnica en México. No. 7. Págs. 14-15.

-Pérez Simmons. 1964. An outline of recent progress in stored-products entomology. Jour. Econom. Vol 57. No. 1. Febrero.

-Ramírez Genel Marcos. -1976. -. Almacenamiento y Conservación de Granos y Semillas. - Compañía Editorial Continental, S. A. Págs. 35-66.

-Tuff. D. W. y Telford, H. S. 1964. Wheat fracturing as affecting infestation by Criptolestes ferrugineus. Jour. Econ. Ent. Vol 57. No. 4. Agosto.

-Tuite John F. y Christensen, Clyde M. 1955. Grain Storage Studies. XVI. Influence of storage conditions upon the fungus flora of barley seed. Cereal Chemistry, Vol XXXII, No. 1. Enero.

CAPITULO 3. -

ALMACENES Y ALMACENAMIENTO (MATERIALES). -

Es un caso comprobado que el manejo y el almacenamiento de los granos, sin emplear procedimientos adecuados para ello, conducen a pérdidas causadas por agentes como la humedad excesiva, las impurezas, la temperatura, las plagas, etc., en tanto que otros factores, se deben reducir para alcanzar un límite económico, conveniente y práctico en la conservación de los granos y las semillas.

Básicamente, la conservación de un producto de esta naturaleza depende: de la disponibilidad de grano o semilla en buena condición, es decir, sano, limpio y seco; de la facilidad de tener una troje, bodega, almacén o silo, que mantenga la condición del grano almacenado y lo proteja de los factores adversos, durante un largo o corto período de almacenamiento; y además de contar con disponibilidades mecánicas para la limpieza, el transporte y el almacenamiento, y para la aplicación de las medidas de combate que se consideren pertinentes en cualquier momento.

Es necesario asentar la importancia que reviste la adecuada preparación de la bodega antes de recibir los granos que allí se almacenarán, ya que esta medida tomada oportuna y apropiadamente evitará problemas y pérdidas, y además garantizará la conservación de los granos y los productos almacenados; en ella es fundamental que el local cuente con paredes secas, techos sin goteras y pisos sin humedad; además que las puertas y ventanas funcionen apropiadamente, se debe evitar la entrada de roedores y pájaros que perjudiquen al grano. Es indispensable la limpieza de la bodega y de sus alrededores, eliminándoles residuos de granos, la costalera vieja y usada y la basura, porque la presencia de granos viejos o desperdicios, sirve de foco de infección de insectos, los cuales se reproducen rápidamente en condiciones favorables, y atacan al grano que se va a almacenar.

Después de limpia y reparada la bodega, ésta debe asperjarse con insecticidas residuales. Las paredes, el techo y el piso se deben de asperjar hasta el escurrimiento, con sustancias como el DDT, metoxicloro o lindano, dos semanas antes de almacenar el gra-

no, empleando dosis de 200 a 250 gramos de material puro, en polvo humectable, por cada 10 litros de agua, (cantidad de mezcla suficiente para cubrir 100 m²).

A continuación de la aspersión, debe abrirse la bodega el tiempo necesario para que el exceso de humedad se evapore. Este tratamiento que puede efectuarse también alrededor del almacén por el exterior, combate los insectos que se encuentren escondidos en ranuras y otros lugares protegidos y evita la migración de insectos del exterior. Deben, así mismo, taparse las madrigueras de ratas y aplicar materiales apropiados para su eliminación, antes de almacenar el grano.

En el manejo y almacenamiento del grano, generalmente se usan dos procedimientos para efectuarlo: ya sea a granel o en bolsas de manta, papel, plástico o costales de fibra.

El almacenamiento a granel requiere de maquinaria y de equipo especial, y se emplea particularmente para maíz, trigo, sorgo, cebada, frijol, soya, garbanzo y otros granos, habiéndose comprobado que, en almacenes adecuados, tiene muchas ventajas en las prácticas de acondicionamiento y manejo, en comparación con el almacenamiento en envases. Con lo respectivo al ataque de insectos y de roedores o a problemas con la humedad del grano, este procedimiento de almacenamiento a granel nos presenta más facilidad, -- ventaja y seguridad que cualquier otro. Además, es mucho más económico en gastos de acondicionamiento, manejo y almacenamiento por unidad de peso o de volumen de grano, -- que los demás tipos de almacenamiento. Cuando el volumen a granel está infestado por -- plagas, con más humedad de la debida o cuando el muestreo revela cambios peligrosos en la temperatura, el traslapeo, se hace más rápido, fácil y barato. Además permite una selección de grano más adecuada para separar el grano por calidades, y, el secado se efectúa con más sencillez.

El almacenamiento en envases o en costales, es el procedimiento más comúnmente usado, sobre todo en las áreas rurales, en el pequeño comercio y en bodegas de volumen reducido; este tipo es el almacenamiento rutinario en ciertos casos, como en el comercio

de semillas, donde tal vez sea más conveniente por causas de manejo. Aunque el grano encostalado representa medio fácil de manejar en casos específicos, tiene la gran desventaja de requerir mucha mano de obra para su movimiento y en lugares donde está escasea y es cara, el costo de movimientos de granos es alto y grava el precio por unidad de peso o de volúmen.

En caso de infestación, es cierto que el almacenamiento en costales permite la fácil segregación de los lotes más infestados para su tratamiento adecuado, pero las infestaciones, en muchos casos, avanzán más rápidamente en los costales, en comparación con el grano almacenado a granel. Los roedores encuentran escondrijos ideales entre los costales, destruyen gran número de éstos y el costo inicial y subsiguiente de almacenamiento encostalado es más caro y, en muchos casos, antieconómico.

El almacenamiento encostalado debe hacerse sólo en buenas bodegas, limpias, adaptadas con el equipo indispensable, y en áreas ecológicas cuyos climas sean favorables a la conservación del grano (seco y frío) y desfavorable a las plagas, siempre y cuando antes del almacenamiento se lleven a cabo las actividades necesarias para acondicionar el grano o semilla y reducir al mínimo la infestación inicial.

En éstas bodegas, las estibas de costales deben descansar sobre plataformas de maderas que dejen de 5 a 10 cm. de espacio entre el piso del almacén y la estiba y entre 70 y 80 cm. entre estibas, para su debido muestreo.

El almacenamiento de maíz encostalado y estibado, con humedad de 14% o superior, es muy peligroso, aún en áreas ecológicas favorables a la conservación del grano, porque las estibas se infestán con facilidad a partir de la presencia de insectos procedentes del campo, del almacén, ó de la costalera vieja e infestada.

El muestreo y la constante vigilancia del grano almacenado por cualquiera de los dos métodos mencionados, deben ser eficientes y sistemáticos para tomar con oportunidad las medidas que se crean convenientes para su conservación.

EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRANOS. -

Se entiende por acondicionamiento de granos, al conjunto de operaciones a que son sometidos éstos, desde su cosecha hasta su almacenamiento, para mejorar su naturaleza física y biológica, de tal manera que se garantice la conservación de su calidad, hasta el momento de su consumo como alimento, uso industrial o empleo como simiente.

La condición en que los granos o semillas se almacenen, determina, en gran parte, su grado de conservación por intervalos cortos o largos de almacenamiento. A mejor condición inicial del grano, mayor será su conservación y menores las pérdidas registradas.

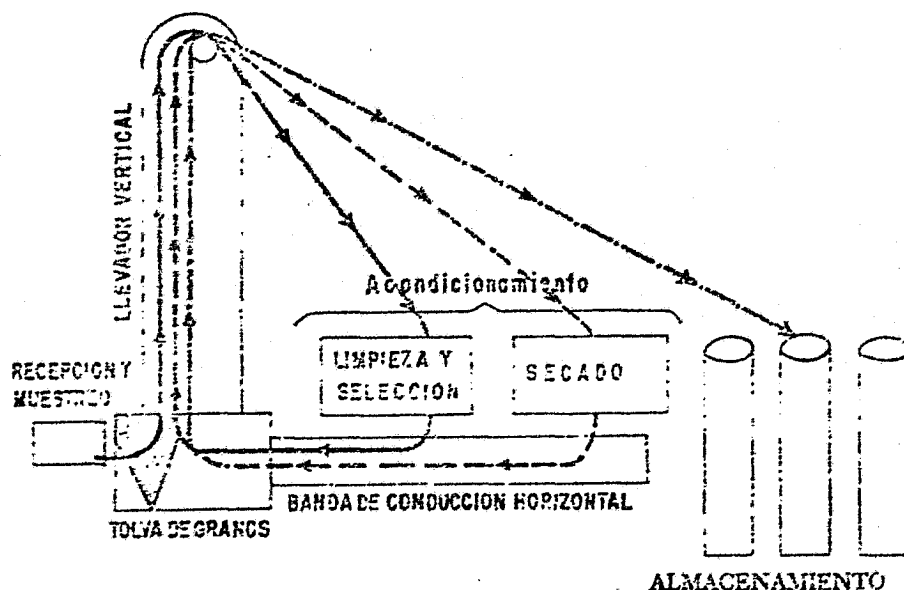
Se reportan datos que permiten calcular una pérdida mundial del 10% de la producción total de granos desde su cosecha hasta su consumo; de éste porcentaje el 5% se considerará corresponde a pérdidas por plagas de insectos, el 2% a causa de hongos, y el 3% a roedores, pájaros y otros factores adversos.

Los granos almacenados por lo que se refiere a su comportamiento, están influidos por factores como el período de almacenamiento, condiciones del medio ambiente y por el tipo de almacén o bodega; además tiene importancia los factores ecológicos en el campo durante su desarrollo y maduración; el grado de madurez en el momento de la cosecha; el tipo y su manejo desde la producción hasta el almacenamiento. Los granos suaves respirarán con más rapidez que los duros, bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura. La presencia de impurezas, el daño mecánico al grano durante la cosecha y manejo, y el ataque de insectos, incrementan los riesgos de deterioro durante su almacenamiento. El grano húmedo roto o dañado, respira con mayor rapidez, bajo las mismas condiciones, que los granos enteros y menos húmedos; los porcentajes de humedad recomendada para el almacenamiento de algunos granos alimenticios, son de 11 a 13% para el maíz; 11 a 14% para el trigo; 11 a 13% para la cebada y avena; de 10 a 11% para el sorgo y soya; y el 14% para el arroz; en algunos casos, el menor contenido de humedad es el que se recomienda para el almacenamiento mayor de un año.

Los procedimientos generales para el acondicionamiento de granos, comprenden el cribado y la selección, el traslapeo o cambio de lugar, la aereación o ventilación, el seca-

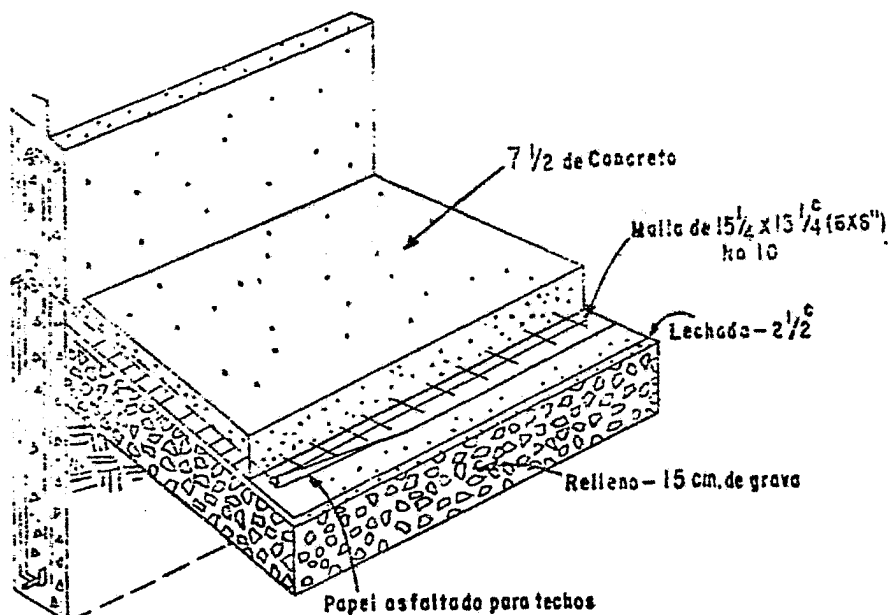
do, y la eliminación de las plagas presentes.

REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL MANEJO ADECUADO DEL GRANO



Desde el punto de vista del servicio y de la protección que debe esperarse del almacén para granos o semillas, se considerará de gran importancia mencionar que los pisos de almacenes, ya sean del tipo construido arriba de la superficie del suelo y sostenido por plataformas, pilotes y construcciones especiales, o bien, los pisos que se colocan directamente sobre o bajo la superficie del suelo, tienen la principal función de soportar los volúmenes de grano encostado o a granel, proteger de la humedad del suelo al grano, prevenir la entrada de roedores y retener los gases que se emplean normalmente en las operaciones para el combate de plagas. Por esta razón, se deben de construir sobre una capa de grava bien cimentada, a la que sigan capas de lechada, mallas de varilla, material aislante y, finalmente, el acabado superficial de concreto nivelado, el cual da las características necesarias para una eficiente operación.

CONSTRUCCION DE UNIONES ENTRE PISO Y PARED



Las paredes de los silos, bodegas y almacenes, deben ser a prueba de humedad, para evitar que ésta alcance a los granos o semillas ahí almacenados, sobre todo las --- construidas en zonas de alta precipitación pluvial; deben ser, así mismo, especialmente calculadas para soportar las fuertes presiones ejercidas por el grano almacenado, principalmente en el almacenamiento a granel. También es necesario tomar en cuenta el aislamiento térmico de las paredes, porque los cambios de temperatura influyen sobre la -- temperatura de la masa o volumen de los granos almacenados.

Los techos que cubren a los almacenes y bodegas, no deben gotearse sobre todo - durante la estación de lluvias, porque el agua daña definitivamente al grano almacenado; además de estar adaptados para reflejar el calor solar, en lugar de retenerlo y causar - problemas por elevación de temperaturas interiores.

Los almacenes modernos, en donde generalmente se depositan grandes volúmenes de granos, deben llenar los requisitos indispensables para garantizar su conservación.

Las actividades en las bodegas y almacenes para almacenaje permanente, es decir, sitios en los cuales los granos son depositados por uno o más años, pueden dividirse en -

tres grupos de operaciones necesarias: la recepción, el acondicionamiento y el almacenamiento del grano. Estas operaciones en proporciones variables y en función del almacén o bodega, son las que determinan, en función del equipo disponible y del procedimiento - seguido, la conservación que pueda esperarse de los productos que en esas bodegas o almacenes se depositen.

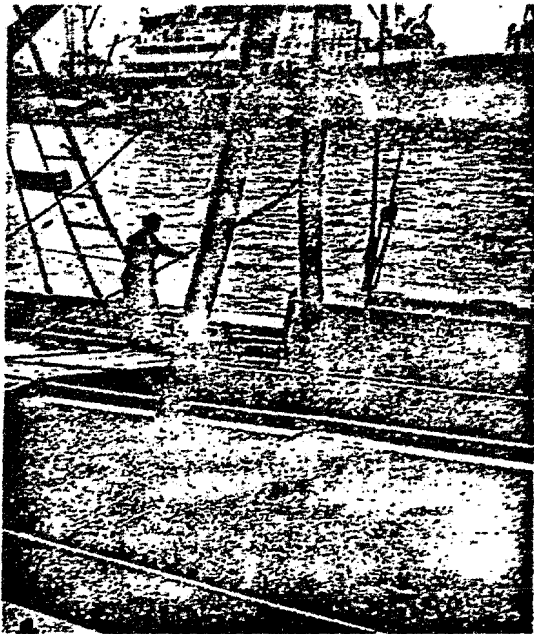
Las secciones de recepción y acondicionamiento del grano son las que contienen - la mayor parte del equipo y de la maquinaria existentes en éste tipo de almacenes, en proporción de su volúmen de recepción y almacenamiento. Parte de la maquinaria como las secadoras, por ejemplo, no es usada en forma continúa y solamente durante la recolección de granos se somete a su máxima utilización, lo que sucede después de las cosechas, cuando el grano empieza a ser llevado al almacén por diferentes medios de transporte, ya --- sean terrestres o acuáticos.



Aspecto exterior de las bodegas planas, sin ninguna mecanización, lo que dificulta mucho el manejo de los granos y semillas, agudizando el problema de la conservación

Los vehículos de transporte del grano son conducidos al lugar de recepción, donde generalmente se pesan mediante básculas especiales y se obtienen muestras de los productos que se reciben, para ser analizados en los laboratorios disponibles en esos almacenes y así determinar su condición de recibo. Cuando el grano llega a granel en carros de ferrocarril, en camiones o en barcos, la descarga se hace mediante volteo directo, fondo - caldizo, por tablas planas movidas por un malacate que hacen las veces de palas, o me--

dante modernos sistemas neumáticos de carga y descarga, empleados comúnmente en los barcos. Estos métodos tienen la ventaja de ahorrar tiempo y ocupar menor número de operarios, sin exponerlos a riesgos innecesarios. Cuando los granos llegan al almacén en costales o envases, el trabajo de acarrear y abrir éstos es muy laborioso y toma mucha mano de obra y tiempo para efectuarse, lo cual es una desventaja económica, particularmente cuando hay gran cantidad o volúmen de grano por descargar y manejar.



Descarga de barcos y barcazas que transportan granos mediante procedimientos mecánicos. Los tubos que se observan, entran a las bodegas y sacan el grano para enviarlo al sistema de acondicionamiento y almacenamiento de la terminal.

El grano descargado en las tolvas de recibo, de tipo rejilla al nivel del piso, es transportado automáticamente por sistemas de bandas sinfín de caucho o metálicas, situadas a nivel inferior de las tolvas de recibo, las cuales transportan horizontalmente el grano de un sitio a otro. Las ventajas de éstos conductores es que efectúan un trabajo rápido y eficiente, sin romper ni dañar el grano y con un mínimo de labor manual. Estas bandas conducen el grano a los elevadores.

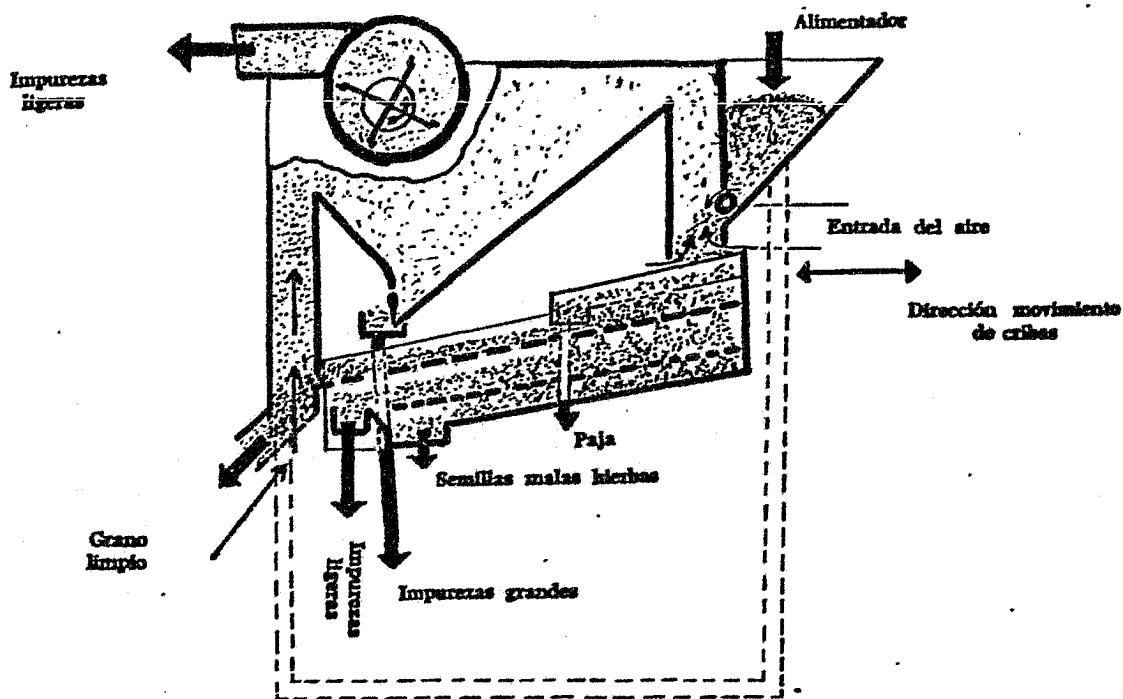
Los elevadores están formados por sistemas neumáticos o por bandas sinfín en --

sentido vertical, que contienen en la cara externa recipientes adheridos (cangilones) que toman el grano depositado por el sistema horizontal y lo elevan a recipientes (tolvas) que lo retienen, para luego ser enviado a las diferentes dependencias de la unidad.

El grano tiene que ser pesado a la entrada y a la salida del almacén. Las básculas de recepción tienen capacidad desde cientos hasta miles de toneladas, lo que depende de la capacidad del almacén; las básculas en el interior de éste son de diferentes capacidades, pero las automáticas, empleadas más comúnmente, son las que dan los mejores resultados.

Las máquinas limpiadoras o seleccionadoras eliminan del grano los materiales extraños y grano roto, lo seleccionan y, en muchas ocasiones, se encuentran cercanas al sistema de lavado de granos como en los molinos de harina. Estas máquinas limpiadoras, en su estructura y funcionamiento, son de muchos tipos, pero los sistemas más comunes son los de cribas, planas o cilíndricas, que se mantienen en movimiento vibratorio o giratorio y son alimentadas por una corriente de grano; las superficies perforadas en tamaños especiales para cada tipo de grano, y el movimiento continuo, hacen que el grano seleccionado quede en la parte superior o interior de la criba y por las perforaciones pase el material extraño o grano quebrado. Existe otro tipo de limpiadoras de criba, el cual cuenta con sistemas adicionales de extracción de impurezas mediante la succión producida -- por ventiladores en los cuales las corrientes de aire actúan sobre el grano y eliminan a los materiales más ligeros, limpiándolo de polvo, basura e impurezas.

La limpieza del grano para su manejo y conservación, es un factor determinante para su seguridad en el almacén, por lo que respecta a las plagas de insectos y hongos, -- siendo además mucho más fácil de manejar y de aplicarle medidas más efectivas de protección y combate de plagas. Por otro lado, aumenta la calidad del grano y su valor comercial, como alimento y como semilla.



Limpiadora con tres cribas y aspiradores delanteros y traseros

Las secadoras de grano son esenciales en el acondicionamiento de éstos. Estas máquinas que pueden ser operadas en forma horizontal o vertical, funcionan recibiendo tirantes de grano de 5 a 15 cm y exponiéndolos a una corriente continua de aire caliente, cuya humedad relativa es muy baja. La elección del tipo y tamaño de la secadora está en función del tipo de grano por secar y del volumen de éste por manejar en el almacén. El costo del secado está en proporción con la humedad del grano por tratar y su empleo en la práctica del acondicionamiento de granos en el almacén, debe ser cuidadosamente estudiado para determinar su máxima ventaja en la conservación de granos.

Para la determinación de la humedad del grano, es necesario contar con aparatos eléctricos de los que existen muchos modelos y variedades en el mercado y nos dan rápidamente el contenido de humedad de éste. Las muestras múltiples nos indican con cierta precisión, el contenido de humedad del lugar.

La determinación de la temperatura de los granos en los almacenes, se realiza con termómetros comunes del tipo torpedo, con sonda, o con pares termoeléctricos. Los termómetros de sonda se colocan en tubos especiales, que al agregarles conexiones permiten alcanzar los niveles deseados. En los almacenes grandes, donde se tienen silos al

tos y, grandes volúmenes de grano, se disponen de sistemas de pares termoeléctricos cu ya guía penda del centro de los silos y estén alojados en un alambre, que vaya del tope al fondo del silo; los cuáles transmiten con rapidez a un tablero registrador, la temperatura del grano a diferentes niveles.

Los sistemas de recirculación de aire del tipo rígido o portátil, son parte importante del equipo en las bodegas y silos, por sus múltiples y ventajosos empleos en el acon dicionamiento de granos. Esté equipo, disponible en diversidad de modelos y tipos, es in dispensable para lograr un buen manejo de los granos, que garantice su conservación.

El equipo de tractores-transportadores para costales de granos, en el interior de bodegas y almacenes, es indispensable para el acarreo y acomodo de las estibas y para la carga y descarga de los granos almacenados en envases.

El equipo de fumigación y de combate de las plagas en los almacenes, se conside rá de extrema importancia para las actividades de conservación de los granos en los alma cenes modernos. La disponibilidad y buen uso de éste equipo, garantiza la eficiencia en el desarrollo de los programas rutinarios de combate de plagas y para la mejor conserva ción de la calidad del grano almacenado.

En la evaluación, que debe hacerse de una bodega o almacén, los puntos a conside rar más importantes, son los siguientes:

- 1) El tipo de construcción del edificio y estado de éste; aquí es necesario tomar en cuenta la descripción de los siguientes aspectos:
 - A) PISOS: de tierra; de loseta de barro con junta de cemento; de piedra; de concreto -- simple; de concreto armado; si son permeables o impermeables; a nivel o elevados.
 - B) MUROS: permeables o impermeables; de adobe o tepetate; de mampostería o piedra; mixtos; de concreto; para absorber empujes; sólo para soportar techos; aplanado interior y exterior.
 - C) TECHOS: de teja sobre polines de madera; de bóveda catalana; de terrado; de enca-

mado de madera con lámina de aluminio; de lámina de asbesto o galvanizada sobre estructura de madera; de estructura metálica y lámina asbesto-cemento o aluminio; de concreto en losas parabólicas o planas; con o sin impermeabilizante superior.

D) PUERTAS: hojas de madera; hojas de madera con lámina; hojas recubiertas de lámina con bisagras; hojas corredizas recubiertas de lámina; de madera corredizas; cortina metálica.

E) VENTANAS: si garantizan o no la ventilación del almacén; fijas; móviles no herméticas; móviles y herméticas; cubiertas o no de malla de alambre; con mecanismos de operación, de hierro o de aluminio; con capacidad de ventilación.

F) CAPACIDAD TOTAL: de almacenamiento en metros cúbicos o en tonelaje a granel y en costalado -a mayor capacidad mayor rigidez en clasificación de la bodega-.

2) La ubicación o área ecológica donde se encuentra enclavada, es conveniente conocer: - Clima de la zona; precipitación pluvial; producción agrícola de granos en el área de influencia; comunicaciones y facilidades de transporte; electrificación; cercanía de centros de población; disponibilidad de costos y mano de obra.

3) El equipo de que se dispone para las operaciones de recepción, transporte, acondicionamiento, manejo y almacenamiento de granos; es deseable tener conocimiento de: Equipo de recepción de granos; de transporte; de limpieza y selección de grano; de ventilación y aereación de granos; de movimiento interior del grano; de secado, de almacenamiento y determinación de temperaturas y húmedades; de muestreo y tratamientos para el combate de plagas; de equipo de seguridad para el grano y el personal.

4) El tipo de operación o procedimiento de manejo, vigilancia y administración de la bodega o almacén. Son importantes los datos de: Personal técnico o laboratorista; operarios e inspectores; tipo de administración y sistema empleado; mano de obra y organiza

ción general del negocio si es oficial; semi-oficial o particular.

Estós datos deben interpretarse lógicamente y en forma razonable. Se puede establecer una escala de clasificación dando valores a cada uno de éstos factores, y de acuerdo con su importancia se tiene:

Construcción	60	puntos	máximos
Equipo	20	"	"
Ubicación	10	"	"
Operación	10	"	"

Debidamente estudiados y analizados los datos obtenidos, se pueden clasificar como buenas aquellas bodegas o almacenes que sumen 90 o más puntos por las cuatro consideraciones fundamentales que las caracterizan. Son bodegas regulares aquellas que sumen 80 puntos o más y se considerarán inadecuadas, con riesgos para la conservación de granos, todas aquellas que sumen 70 o menos puntos. Está clasificación es solo aplicable a bodegas, almacenes o silos de mediana o gran escala de almacenamiento.

LAS TROJES Y LAS BODEGAS RUSTICAS. -

El almacenamiento de granos y semillas en las zonas rurales, reviste características transitorias y las bodegas o trojes rústicas, que los rancheros o agricultores utilizan para guardar los granos, por lo general no están construídas o adaptadas para conservar dicho material por períodos de tiempo prolongados y comúnmente lo hacen por períodos menores de un año; usualmente de una estación a otra. El grano se utiliza para la venta casi inmediata y sólo queda en la bodega el que se emplea para la alimentación humana y de los animales domésticos y también, frecuentemente, un lote que es seleccionado como simiente del cultivo que se efectuará en la siguiente estación del año.

Está situación en las zonas rurales, es la causa de la gran diversidad que existe en los tipos de bodegas o trojes rústicas, algunas de las cuales dan buenos resultados en la conservación del grano. Los problemas más importantes que se presentan en el almacenamiento rústico, son de la presencia de plagas de insectos y roedores, y la alta humedad

en el grano que se almacena. En lo respectivo a las plagas, el agricultor debe utilizar uno o varios métodos de combate, consultar en otras fuentes o pedir auxilio al extensionista regional.

El origen de la humedad del grano en el almacenamiento rústico es, por un lado, la cosecha de cultivos con alta humedad y por otro, un deficiente acondicionamiento (seca do principalmente). Con frecuencia se cosecha el maíz con un 30% de humedad en el grano; el trigo hasta con el 25%; la avena con el 30%, así como el arroz, frijol, sorgo y soya, con porcentajes que varían del 16 al 24% de contenido de humedad en el grano. Los granos que se cosechan en el verano acusan, en general, mayor contenido de humedad comparados con los de Otoño, pero en las áreas tropicales, de alta precipitación pluvial, o donde la cosecha se ejecuta cuando las lluvias torrenciales se presentan, la humedad de los granos puede ser tan alta o más que la de los granos cosechados en Verano. Está es común en países donde se obtienen dos cultivos durante el año con facilidad. Los granos así cosechados deben ser sometidos a secado natural o artificial, o concentrados a la ma yor brevedad a unidades de acondicionamiento y almacenamiento de granos.

En condiciones de clima seco, las cosechas de grano muestran contenidos más bajos de humedad. En las áreas tropicales o semitropicales, la temperatura y la húmedad, relativamente altas, favorecen el desarrollo de las plagas de insectos y hongos que perjudican al grano, además de que la alta humedad relativa, equilibra a los granos a porcentajes de humedad peligrosos para su conservación. La infestación del grano en el campo por plagas de insectos en estas regiones, es generalmente alta y el grano lo cosecha el agricultor con una infestación latente.

Cuándo se carecen de trojes rústicas y para dejar secar más el grano, en muchas regiones los agricultores, en el caso del maíz, doblan hacia abajo la mazorca con el toto moxtle (espatas) y la dejan adherida a la caña en el campo por períodos de 2 a 6 meses. Está práctica se conoce como "dobla" y tiene sus desventajas principales en las pérdidas directas del grano, por daño de pájaros, roedores, insectos y microorganismos, los --

cuales atacan a la mazorca durante el tiempo que se encuentra en el campo. La infestación del grano, causada por insectos a la mazorca doblada es muchas veces superior al 15%. Este grano infestado, si no es debidamente manejado durante su almacenamiento, acusará una condición muy pobre, que lo depreciará económicamente en el mercado. Otra desventaja de la práctica de "dobla", es que el maíz en pie ocupa el terreno por un período en el cual podría cultivarse otro producto, reduciendo la oportunidad del agricultor, -- desde el punto de vista económico.

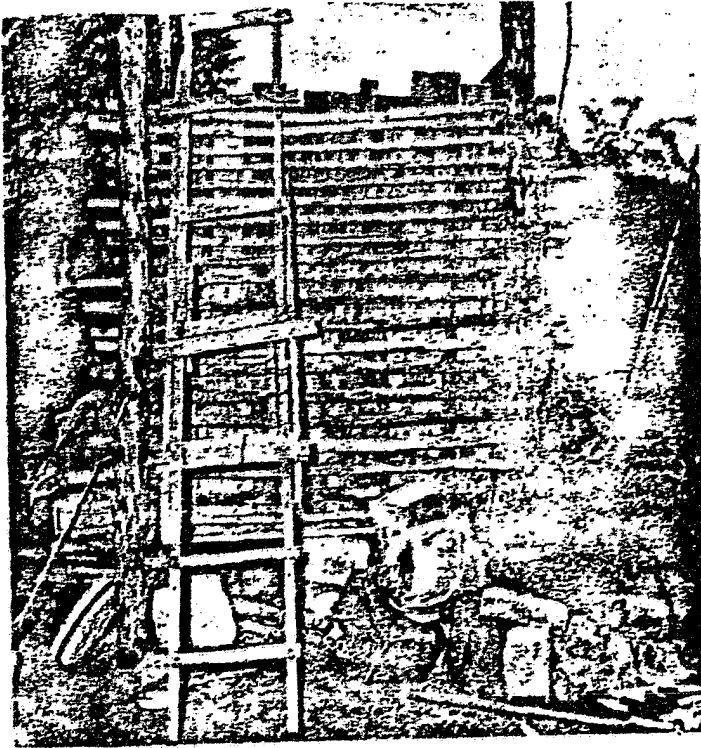
En lo respectivo a la reducción de la humedad del grano, puede afirmarse que no hay datos que nos indiquen que el maíz en mazorca doblada en el campo, se seque con -- más ventaja o mejor que el almacenado; los experimentos que se han hecho al respecto, han demostrado la desventaja que existe, desde el punto de vista económico y de conservación del grano en ello.

La forma y estructura de las trojes o almacenes rústicos reviste una gran variedad, tanto en volúmen de almacenamiento como en los materiales que se emplean para -- construirlos. Los hay de madera, de carrizo, de zacate, de carrizo y enjarre de lodo, de paja, de varas y lodo, de bambú, de barro, de tipo criba hechos de madera y alambre; -- metálicos, de adobe y ladrillo con tejavanes y aún en muchos casos, se adapta una esquina de la habitación para depositar granos.

En cada región de una zona rural, es posible encontrar uno o varios tipos de trojes rústicas, que los agricultores emplean para guardar sus granos, sobre todo los destinados a usos alimenticios.

En cualquier caso, debe tomarse en cuenta que la protección que se dé al grano -- sea la máxima posible, contra las plagas y la humedad excesiva, y que, a la vez sea económica y al alcance del agricultor, y permita que, en lo posible, se utilicen los materiales de construcción existentes en la región o localidad y, además, que sean de fácil construcción y funcionales. Deben estar localizadas en lugares de fácil acceso y buena comunicación, pero, sobre todo, estar separadas de la casa-habitación, para poder realizar

con facilidad el manejo del grano y, de ser necesario, poder aplicarse con libertad las -
medidas de combate químico de plagas, que se crean convenientes, sin crear peligros, -
para la habitación familiar.



Troje rústica, a la intemperie, para almacenar maíz en ma-
zorca. Este tipo de troje no presta ninguna protección al grano almacenado

En el almacenamiento rústico, debe ser siempre complementado con las prácticas
adecuadas de manejo de granos tales como: grano limpio y seco, combate sistemático de
plagas de insectos, hongos y roedores, y la constante vigilancia y limpieza de la bodega.
Las siguientes recomendaciones deben tomarse en cuenta para evitar problemas en el al-
macén:

- a) Vigile sus granos con frecuencia, para estar continuamente enterado de la condición
del grano.
- b) Mantenga barrida y limpia su bodega o troje.

- c) No guarde allí costalera o desechos de grano.
- d) No almacene en lugares húmedos.
- e) Mantenga separadas sus estibas de la pared.
- f) Deje un espacio de 70 a 80 cm entre la pared y las estibas.
- g) Coloque sus estibas sobre plataformas de madera o tablas.
- h) Antes de almacenar, use insecticidas residuales, para aplicarlos sobre las paredes y los techos de la troje o de la bodega.
- i) No utilice los insecticidas directamente sobre el grano que será empleado para alimento humano o de los animales domésticos.
- j) Cuando emplee fumigantes, no almacene el grano sin estar seguro de que esté limpio y sano.
- k) Tape las goteras si las hay y cerciorosé de que no esté húmedad la troje o bodega.
- l) Vigile, tome muestras y examine su grano, en busca de insectos cuando menos cada 2 o 3 semanas.
- m) Combata las ratas y los ratones.
- n) Consulte sus problemas con el extensionista agrícola o con la estación experimental -- más próxima a su localidad.

BIBLIOGRAFIA. -

- Brauer, Oscar H. y Ramírez Genel M. 1960. El totomoxtle como protector de la mazorca. Agricultura Técnica en México.
- Genel Ramírez M. 1976. Almacenamiento y Conservación de Granos y Semillas. CECSA.
- J. E. E. 1957. Insect problems in the marketing of agricultural products. Reimp. Agosto.
- Ortega, Alejandro y Rodolfo Quintana. 1960. Como proteger su cosecha contra las plagas. S. A. G. , O. E. E. Circ. El horno No. 3.
- Oxley, T. A. 1958. The scientific principles of grain storage. Northern Pub. Co. Liverpool.
- Watters, F. L. 1963. The cooling of heating grain by transfer during cold weather. Jour. Econ. Ent. Vol. 56, No. 2. Abril

CAPITULO 4. -

SECADO DE LOS GRANOS Y SEMILLAS. - GENERALIDADES. -

En la conservación de los granos y productos alimenticios almacenados, las operaciones de secado ocupan la atención de las personas que tienen a su cargo estas actividades, porque constituye un medio práctico para facilitar la conservación de la calidad de un lote dado con un mínimo de peligro de deterioro. Si los granos contienen porcentajes de humedad elevados, se requiere quitar o eliminar cierto porcentaje de humedad para dejarles sólo la humedad límite conveniente para cada tipo de grano, que garantice su conservación en las mejores condiciones por períodos cortos o largos de tiempo.

La remoción excedente se efectúa en formas muy variadas, desde asoleo del material sobre el piso, hasta complicados sistemas de aire caliente y seco aplicados al grano. Es decir, se distinguen dos casos; secado natural y secado artificial.

Un lote de grano almacenado, está sujeto a la influencia variable de la humedad relativa del medio en que se encuentra; a la propiedad de absorción de los granos, que les permite, cuando la humedad relativa del aire es alta, aumentar su contenido de humedad en razón directa de la misma; y el contenido de humedad inicial con el cual se les almacena. A menor temperatura en un medio dado, es mayor la humedad relativa del aire que rodea al grano y viceversa. Por esta razón hay gran variación de humedad relativa durante el día o la noche bajo cualquier condición ecológica y punto geográfico que se considere. Las variaciones e influencias de la humedad relativa sobre el grano, se hacen más notorias en regiones de climas cálidos y húmedos. En México, casi toda la costa del Golfo y gran parte del Pacífico caen bajo estas condiciones que son desventajosas para conservar debidamente la calidad de los granos almacenados.

La operación del secado demanda la remoción de humedad hasta el punto en que

el contenido de humedad del grano llegue a un equilibrio con la humedad relativa del aire del medio ambiente que lo rodea y que en base húmeda, generalmente se considera entre el 12 y el 14%. La humedad de seguridad de los granos es aquella obtenida a través de investigación práctica, que permite su almacenamiento adecuado por tiempos variables sin deterioro por esta causa. El secado por sí solo no evita su deterioro; la condición del grano, los insectos y microorganismos, tienen una influencia decisiva en la destrucción del grano almacenado. La mayoría de los granos pueden almacenarse y conservarse en buenas condiciones, en almacenes adecuados hasta por cinco años, cuando su contenido de humedad se conserva abajo del 12%. Los cambios sufridos en este tiempo, como el incremento en ácidos grasos, no perjudican notablemente su calidad y poder germinativo.

El trigo en buena condición, almacenado a 14% de humedad sólo se conserva bien por año y medio o dos años, ya que su calidad de panificación decrece mucho después de este lapso, y conforme se aumenta el grado de humedad del mismo.

La bondad de las operaciones de secado de granos ha sido ampliamente comprobada y se ha demostrado que los granos recién cosechados que se someten al secado, se conservan y manejan mejor y más fácilmente por un tiempo más largo. Desde hace mucho tiempo, se ha sugerido la relación entre el calor del secado y la esterilización o destrucción de la microflora externa y interna de los granos, interfiriendo el desarrollo de estos microorganismos y contribuyendo a la mejor conservación de los granos en ausencia o interferencia de los microorganismos.

Las ventajas del secado de granos permiten un manejo más flexible y eficiente de ellos; el grano seco se conserva mejor y mantiene sin menoscabar la calidad del producto y su habilidad de germinación al emplearse como simiente; además de que pueden planearse mejor los calendarios de cosechas de acuerdo con las fluctuaciones de la oferta y la demanda de productos agrícolas, para obtener la mayor ventaja económica.

En cualquier sistema de secado de grano, la pérdida de humedad sólo se efectúa cuando la presión del vapor de agua de la atmósfera que rodea al grano, es menor que la ejercida por el grano mismo. Cuando el aire y el grano tienen la misma temperatura, el grano perderá agua, cualquiera que sea la humedad relativa de la atmósfera que rodee al grano. Un grano relativamente seco, pierde humedad cuando el aire está muy húmedo, solamente si el grano está caliente y el aire frío. Por el contrario, cuando el grano está húmedo, éste absorberá agua del aire caliente en tanto que las diferencias de temperatura persistan.

El secado de granos al sol en eras o sobre el suelo parejo, limpio y seco, sólo se emplea con éxito cuando se trata de volúmenes reducidos de granos. Su empleo es común en las áreas rurales, o bien, en ciertos casos en los cuales las condiciones de tiempo nos permiten disponer de días soleados, climas secos y bajo volumen de grano por secar. Esta operación requiere la exposición del grano en las mañanas cuando el sol empieza a calentar, esto es, entre las 9:30 a 10:30 de la mañana y que ese grano se recoja antes de la puesta del sol para evitar que al oscurecer y durante la noche, absorba nuevamente humedad del medio ambiente y se incremente su humedad. También requiere mucha mano de obra y tiempo para alcanzar una reducción en humedad del grano que sea conveniente a su almacenamiento y conservación.

En el secado artificial de granos, se emplean corrientes de aire caliente, que se hacen pasar a través de lechos o estratos de grano, cuyo espesor varía de 8 a 15 centímetros. El aire caliente tiene que elevar la temperatura del grano hasta un límite dado para cada tipo, para poder eliminar la humedad de éste. Las temperaturas que se emplean en el secado, están relacionadas con el tipo y condición del grano así como con la velocidad del aire, ya que éste aumenta el coeficiente de transmisión del calor en una proporción dada. Generalmente, el aire caliente debe entrar a unos 6 grados centígrados arriba de la temperatura ambiente, y las temperaturas del aire deberán oscilar entre los 40 y 65 grados centígrados para grano destinado a siembra; y de 43 -

grados centígrados para granos cualquiera que sea su futuro destino. En el secado de oleaginosas la temperatura nunca deberá ser superior a los 46 grados centígrados, en tanto que en el secado de grano empleado en molinería, oscilará entre los 65 y 72 grados centígrados con una máxima admisible de 82 grados para velocidades normales de aire. La velocidad del aire generalmente oscila entre 0.30 y 0.50 metros por segundo y la cantidad de humedad por suprimir del grano es normalmente hasta de un 6%.

Es importante darnos cuenta de los resultados del secado en proceso, por lo que se colocan termómetros, uno a la entrada de la corriente de aire caliente que atraviesa el tirante de grano, y otro situado a la salida, cercano a la superficie de grano donde éste fluye; todo ello para evitar que vuelva a rehumedecerse el grano ya seco, si se sobrepasan los límites de temperatura a los cuales el grano pierde su humedad.

Las variaciones ligeras de velocidad del aire no repercuten apreciablemente en la temperatura del aire de salida, pero la variación en el espesor de lecho de grano es muy notoria. La temperatura del aire que entra, se regula automáticamente o modificando a su mezcla con el grano, en tanto que la temperatura del aire que sale de la secadora, debe regularse con la salida del grano; al descender la temperatura del aire gradualmente deben cerrarse las puertas de salida y al ascenso de temperatura, éstas deberán abrirse también gradualmente.

Los costos del secado determinan, la costeabilidad en los trabajos rutinarios de manejo y conservación de granos; pero éste quedará justificado económicamente por el resultado favorable en la calidad del grano y la facilidad de su conservación. Las mermas que se tienen debidas a pérdidas de humedad en las operaciones del secado de granos, pueden calcularse haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de merma en peso} = \frac{100 \left(\frac{H_1}{100} - \frac{H_2}{100} \right)}{100 - \frac{H_2}{100}}$$

H_1 = humedad original del grano

H_2 = humedad del grano secado

El problema de la conservación de granos por lo que respecta a su almacenamiento, está en razón directa de su volúmen y de su humedad, entre más pequeña sea la unidad de almacenamiento, menor probabilidad existirá de que el grano incrementé su humedad por la influencia de la humedad relativa del medio ambiente, y que de ese incremento en humedad se deriven otros problemas, como la infestación de hongos e insectos y el calentamiento y deterioro de los granos.

El sistema más común de secado es aquel en que se emplea el aire. El proceso de secado rápido con aire caliente es la técnica más usual, porque en breve puede disponerse de grano seco y listo para el almacenamiento; sin embargo, presenta peligros serios por el daño que el calor puede causar al grano, peligro que se incrementará cuando se manejan granos arriba del 30% de humedad y que se destinan a simiente, maltas o harinas, razón por la cual debe emplearse con discreción y para casos en los cuales pueda controlarse con precisión la temperatura del aire.

En el proceso de secado lento con aire caliente, este aire contiene baja humedad relativa al pasar a través de los lechos de grano, calentando a éste lentamente y empezando su desecación. Las temperaturas empleadas no son altas y pueden variar progresivamente de 6 a 10 grados centígrados arriba de la temperatura del medio ambiente, empleando una o dos semanas en obtener el porcentaje de humedad del grano seguro para su conservación. El aislamiento del almacén y el paso libre del aire caliente a través del lecho de grano, deben asegurarse para evitar heterogeneidad en el secado del grano. La velocidad del aire debe ser alta y el espacio de su recorrido a través del grano, ser corto para asegurar mayor eficiencia en esta operación. El sistema anterior se emplea en el caso del maíz, ya sea en mazorca o desgranado, con muy aceptables resultados.

El empleo de aire seco y caliente para el secado es un sistema que permite la mayor desecación por unidad de volúmen de aire, acortando el costo y el tiempo del mismo. La combinación de ventiladores y calentadores con sistemas de refrigeración pro

duce, con facilidad, el aire caliente y seco que se hace circular a través del grano.

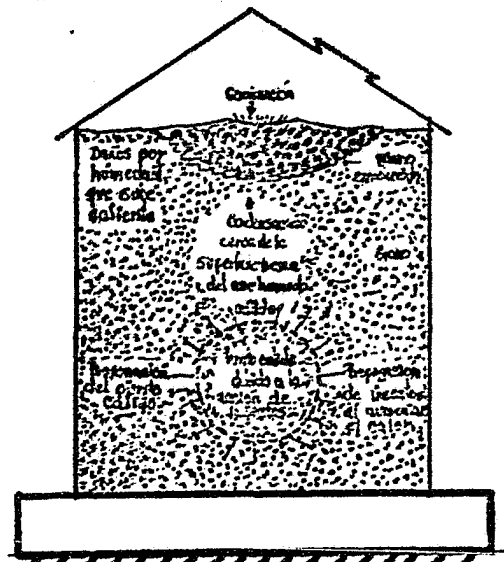
La desecación intermitente presenta ventajas en los procesos de secado con aire caliente; se basa en que el tiempo de secado de la cubierta del grano, es función directa del tiempo que tardará en difundirse el agua contenida en el grano hacia la cubierta de éste; se dan de una a tres horas de reposo y se pasa el aire caliente a través del grano por 3 a 6 minutos. Este sistema, no ha alcanzado aplicación práctica comercial.

En los métodos de ventilación natural o artificial, el grano llega a perder humedad solamente cuando el aire que circula a través de él está más seco que el aire que está en contacto con el mismo. Esta condición no se consigue en los climas cálidos y húmedos, y menos en verano u otoño, pero en climas secos, en ciertos períodos de invierno o -- primavera, puede llegar a conseguirse; por lo que son más bien para acondicionamiento de granos húmedos como medio de prevención. Cuando se aplica en la ventilación de los granos el aire seco, da resultados aceptables en la reducción del contenido de húmedad del grano.

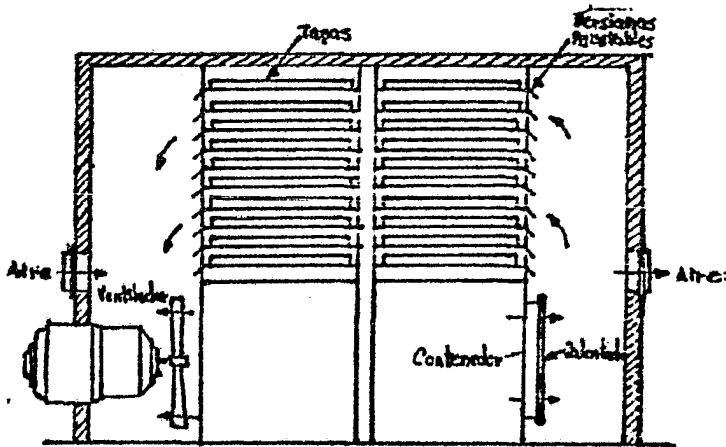
En ocasiones y en ciertas actividades no comerciales, el secado de cortos volúmenes de granos, se consigue empleando desecadores sólidos revueltos con el grano mismo. Estos materiales químicos tienen alto poder absorbente y cuando se aplican distribuidos en la masa del grano, actúan eliminando parte de la humedad de éste; entre ellos podemos mencionar al cloruro de calcio, la sílice-gel, o materiales inertes impregnados con sales desecadoras. Entre sus desventajas están: el costo de los desecadores -- químicos, y la dificultad para obtener una distribución interna homogénea en la masa del grano.

Las máquinas secadoras empleadas en el secado con aire caliente, son de estructura muy variada en los numerosos tipos o modelos disponibles en el mercado. Todas - ellas, básicamente, consisten de un hogar o centro productor de calor con equipo accesorio para su funcionamiento y control, y de un sistema de ventilación y transporte del aire para emplearlo en el secado. El combustible utilizado también es variable y opcio

nal en cada caso, aunque comúnmente se emplea aceite o petróleo como combustible. La energía eléctrica que mueve a estas máquinas está dada por motores eléctricos o de combustión interna a base de gasolina o diesel. En la operación de secado pueden pasarse a través de los lechos de grano los productos totales de combustión, o bien, se eliminan estos productos y solo se utiliza el calor producido para calentar el aire que será empleado en el secado de los granos. Estas máquinas pueden ser estacionarias o móviles, siendo las de mayor tonelaje de secado por unidad de tiempo del primer tipo, y las móviles suelen tener baja o regular capacidad de volumen de secado por unidad de tiempo.



Descomposición del grano debido a gradientes de temperatura, desplazamientos de la humedad y desarrollo localizado de hongos e insectos.



Secador (Proctor and Schwartz, Inc.).

Hoy en día los altos costos del combustible han proveído de recursos para la investigación de varias técnicas eficientes en el secado de granos, usando otros recur sos de e-nergía alternos.

El aire natural y la baja temperatura de secado, han llegado a ser los medios más -comunes de la utilización del calor del aire ambiental para el secado de granos. El calor sensible en el aire ambiental provee ahorros de energía a baja temperatura y con aire na-tural, lo cual no es logrado en el secado a alta temperatura. Las operaciones de calenta--miento y ventilación intermitentes, han sido sugeridas como otra forma para conservar la energía. Sin embargo se ha demostrado que la ventilación intermitente no es una buena prác-tica, ya que causa pérdidas en el material de secado al ser incrementado esté y usarse en sistemas naturales de aire.

El problema de secado a alta temperatura ha sido frecuentemente asociado con el u-so de calor suplementario, de forma intermitente o continua. Esté tipo de secado se da en sistemas de almacenamiento, donde es requerido el uso de combustibles fósiles como la -electricidad o la energía solar. En la adición de calor suplementario es necesario un es--quema de operación y control, para asegurar que el calor solo será usado cuando sea nece-sario economizando así al secado, ya que durante el proceso solo será requerida una mñi-ma atención del operador.

Una alternativa sugerida ha sido la facilidad del uso de la energía solar en el secado de granos. Esté sistema utiliza colectores planos que captan la energía solar requerida por el sistema para ser aplicada sobre largos períodos de secado, que están normalmente aso-ciados con los secadores de alta temperatura. Los largos períodos de secado necesitan de una cuidadosa operación, la cual se complica enormemente cuando la variable del clima es tomada en consideración .

Está operación de secado y control usa dos bulbos húmedos y un contador que opera -a un calentador, el cual funciona solamente cuando las horas acumuladas de ambiente húme-do, exceden las horas de ambiente seco.

El secado comienza con aire natural. Eventualmente cada hora las condiciones de los bulbos húmedos es verificada. Regularmente, uno se encuentra calibrado para actuar cerrando a húmedades relativas arriba del 80%, mientras que el otro estará para actuar cerrando a húmedades relativas abajo del 65%. Conectando una fuente de corriente directa en un circuito con cada bulbo húmedo, la condición del aire ambiental puede ser detectada por una simple lectura de voltaje. Si la señal de voltaje en el bulbo húmedo considerando la húmedad relativa del medio ambiente es mucho mayor que el 80%, se tienen condiciones de " húmedad ". Así mismo, cuando la baja señal de voltaje en el bulbo húmedo es equivalente a la de la fuente de corriente directa, se tendrán condiciones de " secado".

Las horas de húmedad y secado son valoradas igualmente. Una suma registrando las condiciones ambientales de secado es guardada, añadiendo las horas de secado y restando las horas de húmedad, hasta que la suma entre ambos bulbos húmedos calibrados no cambia. El secado continúa después en la forma de aire natural, hasta que esta suma llega a ser negativa. Teóricamente, para éste tiempo, el rehumedecimiento de las capas en el fondo del grano, empieza a exceder la zona del secado del mismo. Consecuentemente es añadido un calor suplementario para reducir la húmedad relativa del aire natural, el cual es usado continuamente hasta que la húmedad relativa del ambiente exceda el punto superior calibrado. Si la húmedad relativa del ambiente cae abajo del punto superior (80%), el modo de aire natural es restablecido, la suma de las horas de secado menos húmedad, es restablecida en cero, y el proceso vuelve a reiniciarse.

Una condición final de prevención es incluida. Cuando la temperatura del bulbo del ambiente seco cae abajo de 1.6 grados centígrados, el ventilador y los calentadores son apagados para prevenir un removimiento adicional del calor sensible en el grano. Durante esta condición de apagado, la suma permanece sin cambio alguno.

Usualmente todo este proceso es usado en combinación con microprocesadores o elementos de control mecánico, dependiendo de los recursos financieros que se tengan

disponibles.

BIBLIOGRAFIA. -

- Davis, Walter K. and J. A. Shute. 1954. Artificial Drying by selected elevators. General Report 4, FCS, U. S. D. A. Washington D. C. Mayo.
 - Hall Carl W. 1949. Heating ventilating air conditioning guide. ASHVE. New York 10, N. Y.
 - Herum, F. L. and K. K. Barnes. 1954. What's the best way to drier grains. Sci. 9. Iowa Agricultural Experiment Station. Julio.
 - Holman, Leo E. 1955. Aereation of Stored Grain. Agricultural Engineering 36. Octubre.
 - Maddex, R. L. and Carl W. Hall. 1954. Drying grain with forced air. Ext. Bull. 316. - Michigan State University. Noviembre.
 - Pflug, I. J., and D. H. Dewey. 1955. Controlled atmosphere storage. Agricultural Engineering 36. Págs. 171-172. Marzo.
 - Robinson, R. N., W. V. Hukill, and G. H. Foster. 1951. Mechanical ventilation of grain. Agricultural Engineering 32. Págs 607-608. Noviembre.
 - Von Loesecke, H. W. 1955. Drying and dehydration of foods. Reinhold Pub. Corporation, New York.
 - Michael F. Broder, George H. Foster, Kevin D. Baker. 1979. Management and control - of solar collector heat storage grain drying systems. American Society of Agricultural - Engineers. Paper No. 79-3529. December 11-14.
 - Ramfrez Grenel Marcos. 1976. Almacenamiento y Conservación de granos y semillas. - C. E. C. S. A.
 - Clifford Harrel Roy. 1980. The development of a microprocesor based control system - for solar-assisted grain driers. A thesis submitted to the graduate faculty of the Univer - sity of Georgia in Partial Fulfillment of the Requeriments for the Degree Master of Scien - ce.
-

CAPITULO 5. -

LA RADIACION SOLAR (GENERALIDADES). -

La radiación solar se acostumbrará medir en langley's por minuto, (una caloría de energía radiante por centímetro cuadrado), equivalente a $221 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot \text{h}}$. Suponiendo una media de 1 langley/min durante 500 minutos al día (ocho horas), un techo de 100 m² recibe, en un día caluroso, 5×10^8 calorías o bien 500,000 Kcal/día. Este calor sería el obtenido al quemar el peso de un hombre en carbón o 53 litros de gasolina, lo cual convertido a energía eléctrica con rendimiento del 10%, nos daría una media de 7Kw o 56 KWH mientras haya sol.

Para recibir calor al ritmo de 1 Kw de la radiación solar es necesario el captar 14,3 Kcal/min. Con una intensidad de 1 langley, necesitaríamos de una superficie con 1,43 m². Deberá anotarse que los cálculos anteriores son tomando como base 8 horas de sol.

La energía solar recibida en distintas superficies y expresada en distintas unidades, se resume en la siguiente tabla.

CANTIDADES DE ENERGIA SOLAR RECIBIDA EN DIFERENTES AREAS CON UNA INTENSIDAD MEDIA DE RADIACION DE $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$

Area	Langley's	Kcal min ⁻¹	kcal día ⁻¹ *	BTU hr ⁻¹	Kw (calor)	hp (calor)
1 cm ²	1,0	0,001	0,500	0,238	$7,00 \times 10^{-5}$	$9,39 \times 10^{-5}$
1 ft ²	929	0,929	464	221	0,065	0,087
1 m ²	10 ⁴	10	$5,0 \times 10^3$	2380	0,700	0,938
100 m ² (tejado)	10 ⁶	10 ³	$5,0 \times 10^5$	$2,38 \times 10^6$	70,0	93,8
1 acre	$4,05 \times 10^7$	$4,05 \times 10^4$	$2,02 \times 10^7$	$9,64 \times 10^6$	$2,83 \times 10^3$	$3,79 \times 10^3$
1 km ²	10 ¹⁰	10 ⁷	5×10^9	$2,38 \times 10^9$	$7,00 \times 10^5$	$9,38 \times 10^5$
1 milla ²	$2,59 \times 10^{10}$	$2,59 \times 10^7$	$1,3 \times 10^{10}$	$6,15 \times 10^9$	$1,81 \times 10^6$	$2,42 \times 10^6$

Factores de conversión: 1 kcal = 1.000 cal; 1 BTU = 0,252 kcal; 1 kw = 14,3 kcal min⁻¹; 1 hp = 0,742 kw; 1 ft² = 929 cm²; 1 acre = 43.560 ft². El Apéndice contiene una lista completa de factores de conversión.

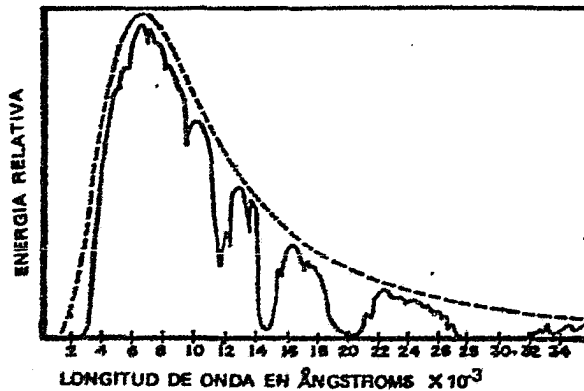
*Suponiendo 500 min día⁻¹ de radiación solar.

VARIACIONES EN LA RADIACION SOLAR.

Radiación solar en la superficie de la tierra. - La constante solar es de 2,0 cal/cm² min en el exterior, fuera de la atmósfera y alrededor de la tierra. La radia-

ción total solar incidente sobre la atmósfera es de $2,4 \times 10^8$ Kcal/min o de $1,7 \times 10^8$ Kw y solo varía en aproximadamente un 3,3%, a medida que la órbita elíptica de la tierra hace que está se aproxime o se aleje del sol. Una gran parte de esta radiación se refleja al espacio exterior por la atmósfera y la superficie exterior de las nubes, otra parte queda absorbida o dispersada por moléculas, pero la mayor parte se dispersa entre las pequeñas gotas de agua de las nubes y las partículas de polvo. A razón de estos fenómenos, las $2 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ incidentes en la atmósfera exterior se reducen de tal manera que cuando alcanzan la superficie de la tierra su valor se encuentra entre $1,5$ y $0 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$. En tiempo nublado la radiación total se reduce mucho y la mayor parte de la luz que atraviesa las nubes es probablemente luz difusa.

La distribución de energía entre las diferentes longitudes de onda es básicamente, la misma de un radiador perfecto, o cuerpo negro calentado a 6000 grados C, como indica la línea punteada de la siguiente figura.



Intensidad relativa de la energía solar a diferentes longitudes de onda.

La línea continua muestra una distribución típica sobre la superficie de la tierra. Los rayos X y la luz ultravioleta de longitud de onda menor de 2000 Å, son absorbidos por el oxígeno y el nitrógeno, y la mayor parte de la radiación de 2000-3000 Å es absorbida por el ozono de la atmósfera exterior. Existen anchas bandas de absorción en el rojo y el infrarrojo por el paso de la luz a través del dióxido de carbono que existe en la atmósfera en cantidad bastante constante (0,03%) y a través de las moléculas de ozono

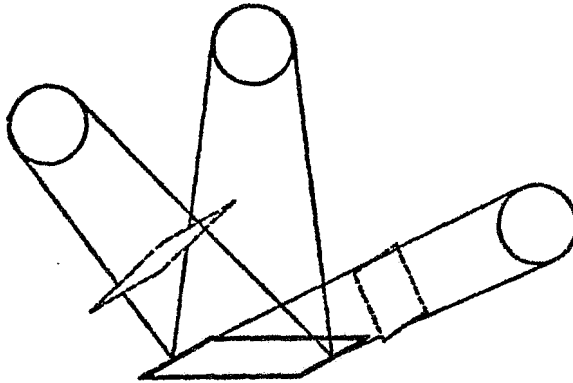
no y agua que varían mucho en concentración. El agua absorbe mediante el vapor y las pequeñas gotas de agua condensada, que no solamente absorben los rayos de mayor longitud de onda sino que dispersan una pequeña parte de la radiación solar de onda corta.

Posición del Sol. - Con cielo despejado, el valor de la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal es máximo en el Ecuador a mediodía, ya que en estas condiciones los rayos solares atraviesan perpendicularmente la atmósfera con un recorrido mínimo a través del aire. En todas las latitudes el sol se mueve de este a oeste y barre un arco de 15° cada hora. Por la mañana temprano y al final de la tarde, los rayos atraviesan oblicuamente la atmósfera siguiendo un camino más largo, de lo que resulta una absorción y dispersión mayor. La intensidad de la radiación depende de la hora del día, el día del año, la latitud del punto de observación y la limpieza de la atmósfera.

En el hemisferio Norte el sol alcanza su punto más alto en el cielo el día 21 de Junio, y su punto más bajo en el 21 de Diciembre. Los puntos medios están en los equinoccios: el 21 de Marzo y el 21 de Septiembre. En el hemisferio Sur el sol alcanza su punto más alto el 21 de Diciembre y el punto más bajo el 21 de Junio, con los puntos medios de nuevo el 21 de Marzo y el 21 de Septiembre.

Inclinación del Receptor. - Como ya se ha mencionado, los datos oficiales de radiación solar vienen referidos a la energía calorífica recibida por una superficie horizontal de un centímetro cuadrado. Está es mucho menor por la mañana temprano y al final de la tarde que al mediodía, y la radiación al norte y al sur del Ecuador es menor que en el Ecuador.

Inclinando el receptor, se puede reducir bastante la pérdida de intensidad causada por el ángulo de incidencia del sol. El máximo de energía radiante por cm^2 se obtiene girando e inclinando el receptor continuamente para colocarlo siempre perpendicular a los rayos del sol, tal como se muestra a continuación.



Energía recibida por centímetro cuadrado en una superficie horizontal y en una superficie normal a los rayos solares.

Las superficies de líneas punteadas, colocadas perpendicularmente a los rayos del sol, interceptan siempre la misma cantidad de radiación. Para recibir la misma cantidad de energía, una superficie horizontal, representada por la línea continua, tiene que ser mucho más grande. La energía radiante por centímetro cuadrado es menor en el plano horizontal porque la sección transversal de 1 cm^2 de radiación solar es menor que cuando el plano está colocado oblicuamente. La relación de la intensidad de radiación sobre una superficie horizontal a la incidente en una superficie perpendicular a la radiación es igual al coseno del ángulo formado por los rayos del sol con la superficie horizontal.

Para calcular rápidamente la intensidad de la radiación solar y el efecto de la posición del sol en el cielo, existe un útil nomograma de ángulos del sol.

Para algunas aplicaciones de la energía solar es necesario tener en cuenta la radiación proveniente de la tierra. Está puede ser de dos tipos: primero, la radiación solar reflejada por el suelo, el agua o la nieve, y segundo, la radiación infraroja de gran longitud de onda emitida por la tierra cálida hacia un cielo de menor temperatura. La luz del sol reflejada se conoce con el nombre de albedo y en algunas partes es un componente importante del calentamiento solar.

La radiación infraroja emitida hacia el cielo más frío, puede llegar a ser, se--

gún el lugar y las condiciones meteorológicas, del orden de $0,1 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$. Aumenta en tiempo despejado y disminuye cuando la superficie de la tierra está cubierta de nubes, ya que éstas tienen una temperatura muy próxima a la de la tierra.

INSTRUMENTOS DE MEDIDA. -

La radiación solar en un momento dado o por un período de tiempo se puede estimar aproximadamente a partir de la constante solar $2,00 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$ en el borde exterior de la atmósfera terrestre, en el supuesto de que se hagan las correcciones necesarias según el ángulo que formen los rayos del sol con la tierra y según la absorción y dispersión atmosféricas que se produzcan durante el recorrido de los rayos solares a través de las masas de aire.

La medición directa es más fiable, y durante muchas décadas, los meteorólogos se han preocupado en conseguir instrumentos perfeccionados y medir la radiación solar. Se han establecido organizaciones internacionales y programas cooperativos, como el Año Geofísico Internacional y la Organización Meteorológica Internacional. Mediante un trabajo muy cuidadoso se pueden obtener medidas de radiación solar con un error del 1%, pero es difícil hacerlas con un error de menos del 3%. Los instrumentos comerciales existentes dan totales diarios con un error del 5% y lecturas instantáneas con un error menor del 10%.

Los instrumentos solares de medida y registro son de varios tipos y muy variados costos. Se pueden clasificar de varias maneras. Algunos dan medidas instantáneas y otros dan medidas integradas por períodos de 1 hora o de 1 día. Algunos miden la radiación total y otros solo la directa. Se hacen medidas en planos horizontales, verticales, normales o inclinados. Los principios involucrados en los distintos tipos de instrumentos incluyen la medida termoeléctrica del incremento de temperatura en una superficie ennegrecida, midiendo el calor con un par termoeléctrico graduado, medidas calorimétricas directas, evaporación de un volumen dado de líquido, medidas fotovoltaicas, medidas fotoquímicas y actinómetros fotoquímicos.

Un instrumento importante es el piroheliómetro 'Eppley', que consiste en un --

par termoelectrico de cobre-constantan situado sobre una superficie receptora horizontal ennegrecida de 3 cms. de diámetro, calentada por el sol. El extremo frío se conecta a un anillo exterior blanco o plateado que refleja la radiación solar y permanece a la temperatura ambiente, ambos están encerrados herméticamente dentro de un hemisferio de vidrio. El par termoelectrico se mide con un potenciómetro.

El piroheliómetro 'Eppley' de incidencia perpendicular está preparado para medir la radiación recibida en una superficie normal a los rayos del sol, en condiciones tales que excluyen la radiación difusa. El receptor es una pila termoelectrica montada en un tubo ennegrecido con una ventanilla; la razón del ancho al largo es de 1:10, de manera que el ángulo de apertura es de $5^{\circ} 43'$. Se ajusta hasta que un pequeño orificio -- practicado en el anillo frontal produce una imagen del sol en un punto marcado en el anillo posterior.

Otro instrumento excelente del tipo pila termoelectrica es el solarímetro Moll - Goczynski.

Para medir únicamente la radiación difusa, los receptores de estos instrumentos deben ser protegidos de la radiación solar directa con un disco que se mueve con el sol para tener siempre el receptor a la sombra o con un anillo colocado de tal manera que los rayos del sol nunca den en el receptor ennegrecido a lo largo del día. La diferencia entre esta lectura y la lectura del receptor desprotegido nos da la medida de la radiación solar directa.

El medidor bimetalico Robitzch funciona por la desigual dilatación térmica de los lados de un brazo que mueve una punta marcadora. El instrumento de destilación - Bellani se usa en algunas estaciones meteorológicas para medir la radiación solar en un período de varias horas o en un día completo. Un recipiente contiene alcohol puro que se vaporiza con la radiación solar y se condensa en forma de líquido, y el volumen de líquido condensado se mide fácilmente en un tubo graduado. Ampliamente usada es la lente esférica Campbell-Stokes para registrar automáticamente las horas del sol en

una cinta de papel. La esfera actúa como una lente a lo largo del día independientemente de la posición del sol y quema el papel cuando el sol brilla.

Un instrumento calorimétrico simple ha sido desarrollado por Heywood² para medir la radiación solar total diaria. El receptor horizontal metálico ennegrecido de 20 cm está soldado a un tubo de cobre de paredes gruesas lleno con 420 cc de agua y colocado en un vaso Dewar. El receptor está cubierto con un hemisferio de vidrio. Un incremento de temperatura de 1 °C en el agua se produce por una radiación de 23 cal/cm². Un termómetro de máxima y mínima da una lectura cada día. Un medidor de radiaciones sencillo y barato ha sido inventado por Suomi³⁻⁵. Se coloca un receptor ennegrecido dentro de una caja muy aislada de espuma plástica con ventanas transparentes de vidrio. La temperatura del receptor sube muy rápidamente y se mide con un termómetro.

Un instrumento como las células fotoeléctricas utilizadas en los fotómetros de fotografía es cómodo y da lecturas precisas, pero responde únicamente a la luz visible y no a la infrarroja, que es más de la mitad del total. Pero puede servir en muchos casos si está bien calibrado. Las células solares de silicio conectadas a un galvanómetro o miliamperímetro funcionan bien y son baratas.

Es suficiente para muchos propósitos saber la radiación total diaria. Los aparatos Bellani y Heywood nos dan este valor integrado. Para medir la radiación total diaria con un piroheliómetro Eppley u otro aparato continuo cualquiera, es necesario efectuar mediciones muy pesadas con un planímetro sobre la curva, y los resultados no son muy exactos cuando ésta se complica a causa de las nubes. Para resolver esto, se han desarrollado integradores eléctricos para hallar la radiación total en un período de tiempo. Schaffer⁶⁻⁸ describe uno de éstos circuitos. Las células de silicio no requieren un circuito amplificador, y el movimiento del papel para la gráfica y el mecanismo integrador es a pilas. Además, a las células de silicio no les afecta demasiado la temperatura.

Existe un instrumento para determinar las sombras proyectadas por edificios y -- por árboles que es útil para los proyectos de Arquitectura⁹. Las sombras se observan -

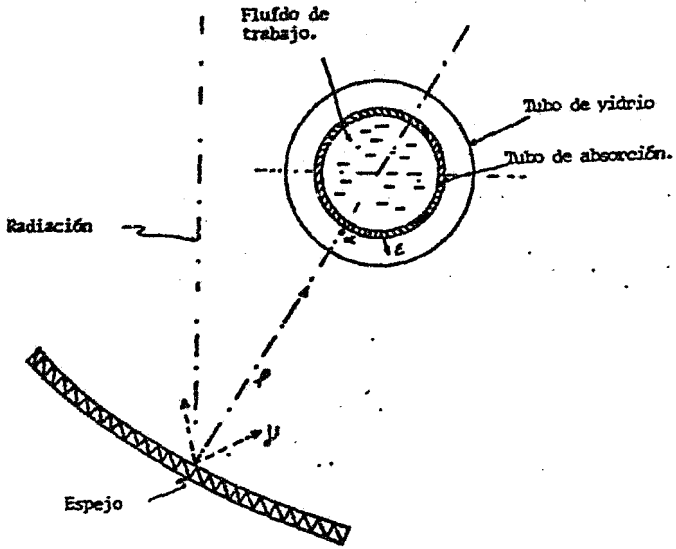
en un espejo cóncavo parabólico semitransparente y sus imágenes se pueden observar so
bre planos colocados por debajo.

Para medir la radiación solar, no se han usado actinómetros fotoquímicos, aunque podrían usarse para medir períodos largos, de varias horas o días, especialmente si se desea saber la cantidad de radiación de longitud de onda corta visible o ultravioleta. El actinómetro de Uranil-Oxalato es ideal para éste propósito; por cada molécula de ácido oxálico descompuesto, se absorben 1,75 fotones de luz por debajo de 4.400 Å. La cantidad de ácido oxálico descompuesto se mide haciéndolo reaccionar con una solución tipo de permanganato potásico. Se deben investigar también otras reacciones fotoquímicas -- que sucedan en otras regiones del espectro.

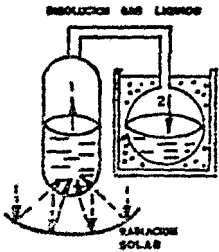
Todavía no se ha resuelto satisfactoriamente el problema de determinar la distribu
ción de energía entre diferentes longitudes de onda en unidades absolutas y bajo diferen--
tes condiciones atmosféricas.

Para medir la radiación solar intensa proveniente de un colector focal se puede em
plear un método calorimétrico. El calorímetro consiste en un depósito circular de cobre de 550 cc de capacidad con una apertura para un termómetro graduado en décimas de gra
do y un mango aislante y largo. Esté depósito estará aislado salvo en la cara anterior e-
negrecida y en ella se colocan pantallas con perforaciones circulares para medir la ra-
diación incidente en círculos de distintos diámetros. Se añaden 550 cc de agua fría de un
frasco graduado, se inserta el termómetro y el tapón y se hace girar el mango rápidamen
te para remover el agua y asegurar una temperatura uniforme. Después de leída la tem-
peratura, se coloca cuidadosamente el calorímetro en el foco del colector con la ayuda -
de un soporte, durante exactamente 60 segundos u otro período de tiempo determinado --
que proporcionará una subida de 8 a 10 C. El calorímetro se retira y se gira rápidamen
te para asegurar una temperatura uniforme y se lee el termómetro. La cantidad de radia
ción recibida por el calorímetro se calcula multiplicando el incremento de temperatura -
por la capacidad calorífica del agua y del cobre. Sus mediciones se hacen fácil y rápida-

mente, y la misma agua vale para dos o tres medidas antes de que el ritmo de enfriamiento se haga apreciable. Otras medidas más exactas de la radiación, se efectúan con un calorímetro de agua corriente en el que se miden la temperatura de entrada y salida del agua así como el flujo de la misma.



CALORIMETRO HEYWOOD



DESTILADOR BELLANI

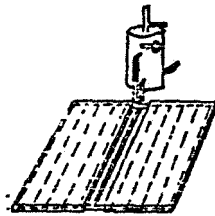
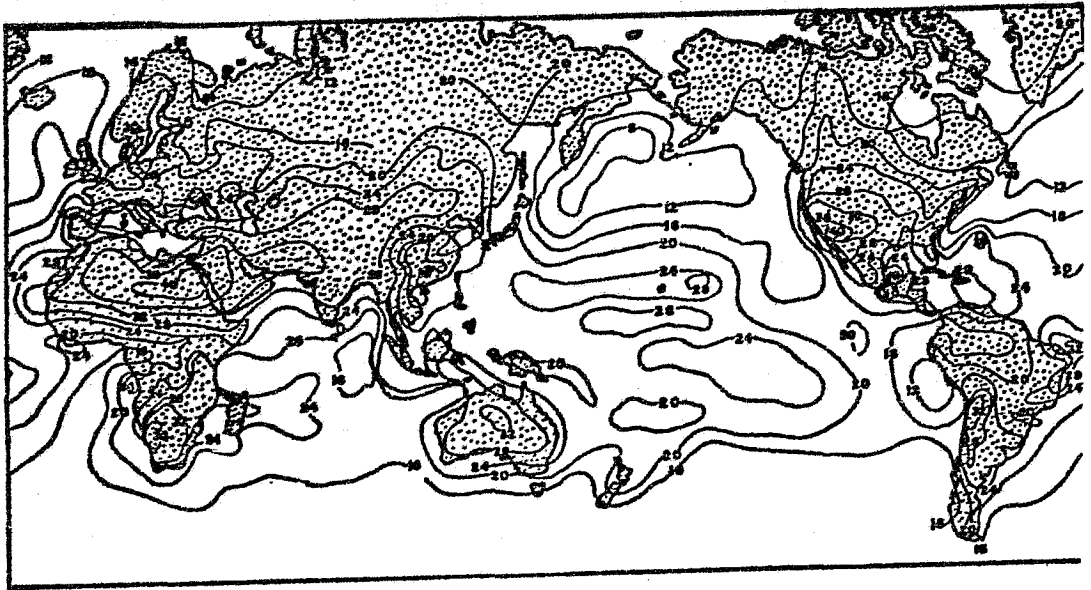


Fig. IV.28 Calentador solar de agua con depósito de almacenamiento.

CALORIMETRO DE AGUA CORRIENTE

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA RADIACION.

La radiación solar varía mucho de acuerdo con la duración del día, con el ángulo formado por la tierra y los rayos del sol, con la longitud y tipo del camino recorrido por los mismos a lo largo de la atmósfera, y particularmente con la cantidad de nubes. Por tanto, la radiación varía con la localización geográfica, la altitud, y el clima. El siguiente mapa nos muestra las líneas de igual número de horas de sol en una superficie horizontal en todo el mundo.



Distribución mundial de la energía solar en cientos de horas al año (Adaptado con permiso de *Solar Energy 1*, N.º 1. 1957)

10

Ward examina las regiones del planeta donde existe una cantidad mayor de energía solar para aplicación directa. En general, las cantidades mayores de energía solar se encuentran entre dos anchas bandas que rodean la tierra entre 15 y 35° de latitud N y S. En las mejores regiones hay una radiación mínima mensual media de 500 langley/día y una variación mensual total menor de 250 langley/día. Estas regiones están situadas en las zonas ecuatoriales de los desiertos áridos de la tierra. La pluviosidad es menor de 25 cm al año. En algunos países, más de dos tercios de su superficie total es tierra árida, con más de 3000 horas de sol al año casi siempre, de las que el 90 por ciento llegan como radiación directa. Estas zonas son muy apropiadas para la explotación de -

la energía solar.

La zona más favorable a continuación, es el cinturón ecuatorial entre 15° N y 15° S. Aquí la humedad es alta, la nubosidad grande y la proporción de radiación difusa alta. Hay alrededor de 2300h de sol al año y variaciones estacionales muy ligeras. La radiación varía de 300 a 500 langleys/día a lo largo del año, y hay pocos días sucesivos de radiación baja.

Entre 35° y 45° en el borde de los desiertos, la radiación varía de 400 y 500 langleys/día, en una superficie horizontal a lo largo del año, pero las estaciones son muy distintas y en el invierno hay poca radiación. Esta variación estacional se puede amortiguar inclinando las superficies receptoras para seguir al sol.

Las regiones al norte de los 45° N y al sur de los 45° S tienen una capacidad limitada en cuanto al uso directo durante todo el año de energía solar.

Se podría pensar que las regiones polares no son en absoluto apropiadas para utilizar la energía solar, pero en el verano está puede ser muy importante.

La radiación solar podría usarse para producir hidrógeno por electrólisis y este hidrógeno podría almacenarse y transportarse por gasoductos o combinarse con anhídrido carbónico para producir metanol u otros combustibles transportables. Estas y otras posibilidades de almacenar y transportar energía solar, merecen investigación para su utilización futura.

La influencia de la radiación solar en el hombre, incluidos los factores que influyen en las quemaduras, son estudiados en todos sus aspectos por Farrington Daniels, Jr. "Man and Radiant Energy".

TIPOS DE REGISTRO DE RADIACION SOLAR.

Al considerar si es práctico el uso de la energía solar en un lugar determinado, se puede tolerar un error de hasta el 5% en los instrumentos de medida de la radiación, ya que no se puede predecir con precisión el funcionamiento de las máquinas solares. Es importante saber (1) qué fiabilidad tienen los datos de un cierto período de años (2), cuántos

años es necesario registrar para una cierta exactitud de predicción (3), las variaciones según hora y estación del año y (4), las secuencias de períodos de baja intensidad solar.

Si se piensa utilizar instrumentos focales, es importante saber cuál es la distribución de la energía solar entre difusa y directa. Pensando en un futuro desarrollo posible, puede ser importante calcular la disposición óptima y separación que deban tener varios colectores situados en un área cualquiera, tanto móviles como fijos y de distintos tamaños. Si los colectores están demasiado juntos se arrojarán sombra mutuamente a lo largo del día, y siempre que el suelo sea barato se pueden colocar bastante separados para evitar estas sombras.

Recientemente se han hecho importantes progresos en la medición de radiación solar fuera de la atmósfera y en el espacio exterior. Gracias a los globos, aviones, cohetes y, actualmente a los satélites, se ha podido determinar exactamente la intensidad de la radiación solar y su distribución entre las diferentes longitudes de onda. No se sabe mucho todavía acerca de los rayos solares cuando atraviesan la atmósfera. Se ha sugerido utilizar globos situados encima de las nubes para convertir la energía solar y mandar el calor o la electricidad hacia la tierra, pero esta propuesta no parece práctica por el momento.

BIBLIOGRAFIA.

1. -Sun Angle Calculator, Toledo, Ohio, Libby, Owens, Ford Glass Co., 1950.
2. -Heywood, H., Simple Instruments for the Assessment of Daily Solar Radiation Intensity, en U. N. Conf., on New Sources of Energy, E 35-59, Roma 1961.
3. -Suomi, V. E., y Kuhn, P. M., An Economical Net Radiometer, Tellus, 10 (1):168. 1958. - También Quarterly Journal, Royal Meteorological Society, 84:134. 1958.
4. -U. S. Weather Bureau, University of Wisconsin Annual Report, 1957. Se puede conseguir detalles del proyecto de la oficina Meteorológica de las Naciones Unidas, Departamento de Meteorología de la Universidad de Wisconsin, Madison, Wis.

5. - Tanner, C. B., Businger, J. A., y Kuhn, P. M., The Economical net radiometer, J. Geophys. Research, 65: 3567. 1960.
6. - Schoffer, P. Kuhn, P., y Sapsfórd, C. M. Instrumentation for Solar Radiation Measurement, en U. N. Conf. on New Sources of Energy, E 35S92, 1961.
7. - Selcuk, K., y Yellott, J. I., Measurements of direct, diffuse and total radiation with silicon photovoltaic cells, Solar Energy, 5 15563, 1962.
8. - Schoffer, P., y Suomi, V. E., A Direct current integrator for Radiation Measurements, Solar Energy, 5(1):29. 1961.
9. - Tonne, F., Optico-Graphic Computation of Insolation Duration and Insolation-Energy, en Trans. Conf. Use of Solar Energy: Scientific Basis, I:104-12.
10. - Ward, T. G., Possibilities for the Utilization of Solar Energy in Underdeveloped Rural Areas, FAO, Naciones Unidas, 1961, pp. 19-21.

CAPITULO 6. -

COLECTORES DE RADLACION SOLAR. -

Cuando un objeto se expone a la radiación solar, su temperatura se eleva hasta -- que las pérdidas de calor igualan a las ganancias. Las pérdidas dependen de la emisión de radiación del material caliente, del movimiento del aire frío que lo rodea y de la conductividad térmica de los objetos en contacto con él. Las ganancias dependen de la intensidad de radiación solar y del poder absorbente de su superficie. La radiación solar se puede captar de dos maneras fundamentales para producir altas temperaturas: cubriendo una superficie receptora con una lámina transparente a la luz del sol, con vidrio o plástico, y enfocando la radiación solar recibida en una gran superficie a un receptor de superficie pequeña.

Los colectores solares se clasifican usualmente en colectores planos que no enfocan y en colectores focales. Los colectores planos suelen ser estáticos, aunque a menudo son movidos cada cierto tiempo para acomodarse a la estación del año; los colectores focales casi siempre son movidos a lo largo del día para seguir al sol. Generalmente los planos son más baratos y aprovechan tanto el calor de la radiación difusa como el de la directa. Pueden funcionar tanto en días nublados como en claros. Los colectores focales utilizan únicamente la radiación directa, pero pueden producir temperaturas mucho más altas.

En ambos casos la superficie colectora debe ser tan negra como sea posible, en orden a absorber más del 95% de la radiación y reflejar solo cantidades despreciables.

COLECTORES PLANOS.

Las grandes superficies receptoras de los colectores planos se suelen hacer de -- chapa metálica, fundamentalmente hierro, cobre o aluminio, para obtener una buena conductividad. Se ennegrecen con pintura mate que a menudo contiene negro de humo, o se cubren con un revestimiento negro producido químicamente. La chapa incrementa su temperatura al absorber la radiación y transmite su calor a un fluido, normalmente agua o aire,

que se mueve en la parte posterior del colector. Al mismo tiempo el colector cede calor por convección al aire exterior circulante, por conducción al aire y a las partes frías de la estructura que lo soporta, y por radiación infraroja.

Entre 100 y 300 °C la emisión máxima de radiación se efectúa entre 8 y 10 μ en el infrarojo, lo cual significa que pueden reducirse mucho las pérdidas caloríficas y elevarse la temperatura de trabajo del colector colocando una o más láminas de vidrio o plástico encima de la superficie receptora, creando un recipiente hermético. La luz del sol de longitud de onda menor de 2,5 μ pasa a través de esta cubierta transparente, pero la radiación infraroja de gran longitud de onda que emite el receptor caliente, no puede volver a salir a través del vidrio o plástico porque se absorbe. Las tapas transparentes enfriadas por el aire exterior y las capas de aire estancadas entre ellas, son malos conductores caloríficos y funcionan a una temperatura más baja que la superficie receptora, reduciendo las pérdidas de calor.

Si la radiación solar continúa incidiendo sobre la superficie receptora oscura, la temperatura sube, y las pérdidas caloríficas crecen hasta que se alcanza un estado de equilibrio donde las pérdidas de calor igualan al calor recibido.

$$C A \gamma \alpha = q_0 A = q_r A + (q_a + q_c) A$$

en donde:

C = flujo total de energía solar recibida por unidad de superficie. Se expresa en cal/cm² min, en BTU/ft² .h, o en Kilowatios. Se puede determinar experimentalmente usando un medidor de radiación calibrado, inclinado al mismo ángulo que el colector plano.

A = área total del receptor.

γ = transmisividad de las láminas de vidrio o plástico que atraviesan los rayos del sol.

α = poder de absorción de la superficie receptora. También depende del ángulo de incidencia si éste es oblicuo.

q_0 = absorción de energía radiante por unidad de tiempo y unidad de área.

$q_r A$ = calor radiante absorbido por unidad de tiempo en la superficie total del receptor.

$q_{\mu t} A$ = calor absorbido por el receptor y convertido en energía útil a través del fluido circulante por unidad de tiempo.

$q_r A$ = pérdida de calor del receptor debida a la radiación por unidad de tiempo.

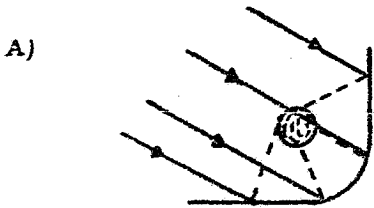
$q_a A$ = pérdida de calor del receptor debida a convección y conducción por unidad de tiempo.

$q_c A$ = pérdida de calor del receptor debida a conducción de las otras partes estructurales del colector.

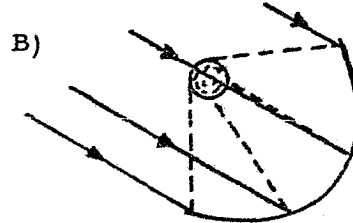
DISEÑO: La focalización se puede efectuar con lentes de vidrio o con espejos curvos de metal, vidrio o plástico. Las lentes de vidrio son demasiado caras y pesadas para el uso práctico de la energía solar, porque se necesita interceptar una cantidad muy grande de luz solar.

Los espejos parabólicos enfocan los rayos paralelos del sol en un área muy pequeña y producen gran intensidad y gran temperatura. La superficie reflectante puede ser vidrio plateado o metal pulido o plástico, que ha sido cubierto con una capa de aluminio en una cámara de vacío o por plateado al vapor.

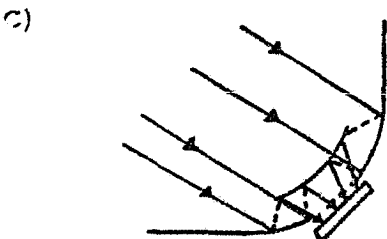
A continuación se muestran distintas secciones de colectores focales circulares.



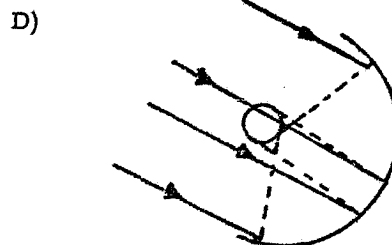
FORMA ANGULAR DISTANCIA FOCAL CORTA



FORMA PARABOLICA DE GRAN LONGITUD FOCAL



VARIANTE DE A MEJORADO



COLECTOR ESFERICO

to especial, consistente en depositar una delgada capa transparente de $1/4$ de longitud de onda de la luz del sol en cada lado del vidrio para producir interferencia, aunque esto elevará los costos.

La transmisividad de los vidrios y plásticos varía mucho. Un vidrio de alta calidad, puede absorber únicamente el 3 o 4% de la radiación solar que lo atraviesa. Sin embargo, si al examinar el borde, éste aparece de color verde, debido casi siempre a la absorción de la luz por los compuestos de hierro en el cristal, la absorción puede ser de hasta un 6%. La absorción depende del espesor del cristal y para conseguir gran transmisividad y bajo precio, el cristal debe ser tan delgado como sea posible compatible con su resistencia mecánica.

La transmisión de las láminas de plástico, depende no solamente de la reflexión en las superficies de contacto con el aire y la absorción de la luz por las materias coloreadas en la masa de plástico, sino también de la dispersión efectuada en la superficie. Si la superficie de plástico tiene imperfecciones, como es el caso del cristal esmerilado, gran parte de la luz se desvía lateralmente, y se reduce seriamente la transmisión.

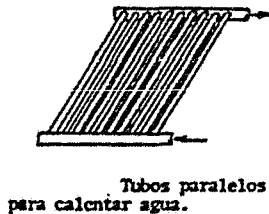
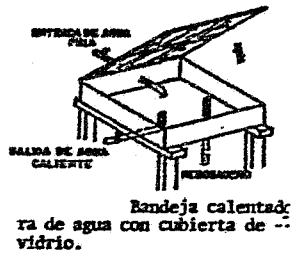
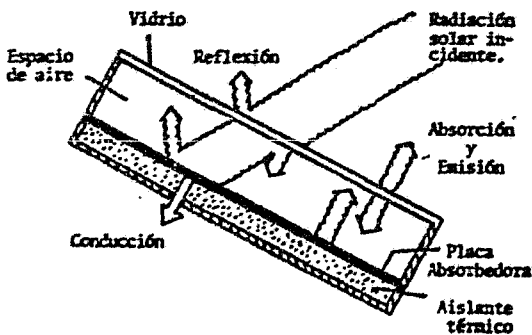
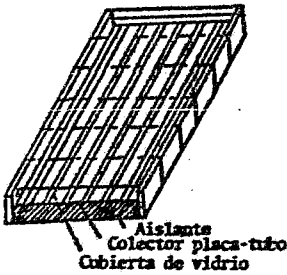
ORIENTACION: Los colectores pueden colocarse horizontales, verticales o inclinados y la cantidad de calor solar recogido, varía en cada posición como se mencionó en el capítulo anterior. La orientación depende del tamaño y el peso de los colectores, el costo, la latitud, estación del año y las necesidades arquitectónicas. Los colectores horizontales son más fáciles de construir y montar y aparentemente menos engorrosos, pero los colectores inclinados hacia el Ecuador recogen una parte más grande del calor solar. En el hemisferio Norte miran hacia el Sur y se inclinan en ángulo igual a la latitud. Se recomienda que éste ángulo con la horizontal aumente 15° en invierno y disminuya la misma cantidad en verano. Los ángulos más grandes tienen menos problemas con la nieve, la lluvia y el polvo. La construcción de colectores individuales es cara cuando éstos son grandes y pesados, particularmente cuando hay peligro de vientos fuertes. La instalación de un mecanismo para que el colector siga al sol en su camino, no produce bastantes ven-

tajas como para justificar la inversión. En latitudes altas, los colectores verticales mirando al Ecuador son mejores que los horizontales durante el invierno, aunque no tan buenos como los colectores colocados en ángulo apropiado.

Normalmente los colectores planos se montan en una posición fija, aunque si los elementos no son muy grandes, es práctico algunas veces moverlos cada pocos días, para obtener la máxima radiación a medida que cambian las estaciones.

En un clima soleado, los colectores planos inclinados con tapas transparentes, pueden llegar a producir temperatura suficiente para hervir agua, pero es difícil conseguir temperaturas más altas que esta, y no es fácil obtener temperaturas más arriba de los 70-90 C.

DIAGRAMA DE UN COLECTOR SOLAR Y SU SECCIÓN TRANSVERSA, MOSTRANDO EL FENÓMENO DEL EFECTO INVERNADERO.



COLECTORES FOCALES. -

Utilizando colectores focales es mucho más fácil obtener temperaturas más altas, pero normalmente son más caros; necesitan ser movidos para seguir al sol y utilizan solo la radiación que no es dispersada por las nubes o la neblina. Dependiendo de la perfección óptica del colector, se puede obtener una temperatura de hasta 3,500 C con radiación solar focalizada con espejos circulares de sección parabólica. Un colector rudimentario fabricado con una cáscara de plástico recubierta con una lámina de plástico aluminizada puede conseguir temperaturas de 500 C o superiores.

El equilibrio térmico para un colector focal sin tapa que está siguiendo continuamente al sol, es:

$$C_n A_c r_s \alpha_o - q_o A_t = (q_r + q_a + q_c) A_t$$

en donde:

C_n = radiación directa recibida por el espejo normalmente de los rayos del sol.

A_c = área en proyección del espejo.

r = reflectividad efectiva del espejo para la radiación directa.

s = factor de forma del colector, que nos da la fracción de radiación reflejada, que alcanza su objetivo dependiendo de las imperfecciones del espejo a partir de formas ideales parabólicas, esféricas, o cilíndricas.

r_s = fracción de la radiación total directa que alcanza el foco después de reflejada en el espejo.

α_o = poder de absorción de la superficie receptora que está siendo calentada, esto es, la fracción de radiación reflejada que alcanza el foco y se convierte en calor.

q_o = cantidad de calor absorbida por unidad de área y unidad de tiempo por el receptor unido en el foco.

A_t = área del receptor en el foco que está siendo calentado. Es normalmente bastante grande para interceptar una gran parte de radiación focalizada.

$q_o A_t$ = calor radiante absorbido por el receptor en la unidad de tiempo.

$q_{\text{r}} A$ = energía calorífica transferida del receptor al aire o agua por unidad de tiempo.

$q_{\text{r}} A$ = pérdidas por radiación del colector por unidad de tiempo.

$q_{\text{a}} A$ = pérdidas por convección y conducción del colector al aire exterior por unidad de tiempo.

$q_{\text{c}} A$ = pérdidas de calor por conducción del colector a través del aislamiento a la estructura soportante.

El calor útil recogido $q_{\text{o}} A$ es el calor del que disponemos y vale:

$$q_{\text{o}} A = q_{\text{o}} A - (q_{\text{r}} + q_{\text{a}} + q_{\text{c}}) A$$

Las formulas para el cálculo de las pérdidas de calor por radiación, convección y conducción, se pueden encontrar en libros de Ingeniería.

CONSTRUCCION: El receptor enegrecido se coloca en un marco, generalmente de madera y se inclina a un ángulo apropiado. Para calentar agua, los tubos de conducción se fijan en la parte trasera para asegurar buen contacto térmico. La hoja receptora se puede colocar herméticamente en una caja rectangular alargada de manera que exista un paso de aire por detrás, o también se puede colocar en la parte de atrás con otra lámina de vidrio o plástico como tapa en el frente. La estructura del colector en forma de caja se hace de madera delgada, plástico o metal muy delgado para minimizar las pérdidas de calor al aire exterior.

La cubierta transparente de vidrio o plástico reduce las pérdidas de calor por radiación y convección, siendo más eficaz colocar dos o más láminas separadas entre sí unos 2,5 cm para minimizar la circulación de aire entre ellas y reducir las pérdidas por convección. Existe un número óptimo de láminas para cada temperatura dada, en él influye lo que se gana con la disminución de las pérdidas de calor, las pérdidas que produce la reflexión y absorción de las láminas transparentes y el costo de materiales y mano de obra. Se ha encontrado que una cubierta formada por cuatro láminas de vidrio, es óptima para algunas finalidades, pero normalmente se utilizan una o dos láminas únicamente.

La reflectividad de las láminas de vidrio se puede reducir mucho con un tratamien-

El colector de distancia focal corta (fig A) tiene la ventaja de que no necesita ajustarse muy a menudo para seguir al sol, aunque su pronunciada curvatura hace más difícil su construcción en la superficie reflectante. El receptor debe tener una forma redondeada para interceptar la radiación proveniente tanto del centro como de la parte exterior del espejo. Como el receptor está dentro del espejo, queda parcialmente protegido del enfriamiento por viento, y para algunos casos puede protegerse aún más, colocando una película transparente de plástico apoyada en el borde exterior del espejo, que reduce el enfriamiento, pero también reduce la radiación incidente en el colector.

El colector de gran longitud focal con menor curvatura (fig B), es más fácil de fabricar normalmente. En lugar de un receptor redondeado se puede usar uno con el fondo plano y los lados y la parte superior, se pueden aislar. El receptor debe estar a una distancia suficiente para que la luz proveniente de la zona más exterior del espejo, no llegue a un ángulo tan oblicuo que no acierte al receptor o no sea completamente absorbida. Una longitud focal igual a la mitad del diámetro del espejo, proporciona una buena eficacia, aunque también pueden obtenerse buenos resultados con distancias focales menores, no inferiores a un tercio del diámetro del colector. La larga distancia focal tiene la desventaja de que necesita frecuentes correcciones para seguir al sol, y que si el receptor es pesado, el largo soporte necesario puede crear problemas.

Pará mejorar la posición del centro de gravedad y hacer posible una construcción más ligera, el pesado receptor puede colocarse detrás del colector insertando otro espejo pequeño (fig C). El precio que hay que pagar por esta mejora mecánica es una pérdida de eficacia óptica, causada por las pérdidas por reflexión en el segundo espejo. Si el espejo pequeño se construye de plástico, no puede soportar una radiación muy grande a causa del calentamiento y debe hacerse razonablemente grande, causando un sombreado apreciable en el primer espejo.

La cuarta disposición (fig D) muestra que se puede utilizar un colector esférico en lugar de otro parabólico si no se necesita una focalización precisa.

Los colectores focales pueden fabricarse de diversas maneras con cáscaras parabólicas, que darán distintas eficacias de focalización. Cuánto más perfecta sea la precisión óptica, más exacto sea el foco, y más pequeña sea el área del receptor, las pérdidas de calor serán menores. Para obtener temperaturas altas, es imprescindible conseguir una focalización precisa sobre un receptor pequeño. Coeficientes de concentración de 1000 a 1 se pueden alcanzar con una precisión óptica muy grande, produciendo temperaturas de equilibrio de 3,000 C. Con colectores menos perfectos, es necesario utilizar receptores mayores para interceptar la mayor parte de la radiación, pero entonces el enfriamiento -- producido por la gran superficie, impide alcanzar altas temperaturas.

Se pueden fabricar colectores parabólicos con hojas de aluminio centrifugado. Se pueden obtener comercialmente en tamaños de 2,5 m y mayores, de los que se utilizan para pantallas de radar. La superficie de aluminio no está suficientemente pulida para proporcionar una concentración solar satisfactoria y además son pesados. Se puede forrar con un buen material reflectante o usarse como molde para fabricar cáscaras parabólicas de plástico para colectores solares. Si existiese una demanda suficiente, se podría fabricar colectores parabólicos grandes estampando láminas de aluminio, acero, o material plástico, con el mismo procedimiento que se utiliza para fabricar carrocerías, con grandes matrices y maquinaria pesada.

COLECTORES PLASTICOS: Un amplio programa de investigación se ha desarrollado en torno a éstos; en uno de los métodos se moldean hojas de poliestireno cuadradas de un metro de lado y 0,75 a 1,25 mm. de espesor, en una matriz parabólica de aluminio. La fabricación se realiza en una planta comercial, con una cámara provista de calentadores eléctricos y una bomba de vacío. La cáscara parabólica tiene un borde indentado en el cual se coloca a presión un anillo rígido de tubo de aluminio. La cáscara se cubre después con cinta aluminizada Mylar adhesiva, sin que aparezcan arrugas o burbujas de aire aprisionadas.

En otro se fabrica un molde con arena, cubriéndolo con una capa de cemento. Con -

este molde se fabrican cáscaras de plástico reforzado con fibra de vidrio, que se colocan en anillos hechos con tubos de pared delgada. El molde de cemento se puede reemplazar por otro más perfecto de aluminio centrífugado o por una réplica en plástico de un reflector militar. Otra técnica consiste en recubrir el molde con glicerina y vendarlo con tiras de plástico aluminizado (Aclar) con la parte aluminizada hacia arriba. Es necesario soplar las tiras. Después se cubren con plástico líquido, y cuando está seco, se incorporan a una cáscara de fibra de vidrio reforzada.

ESPEJOS MULTIPLES: Los colectores de los grandes hornos solares se constituyen normalmente con muchos espejos pequeños, de 1,000 cm² o menores, montados con estructuras parabólicas sustentantes y dispuestos de tal manera que la luz de cada espejo se refleja en la misma zona.

Una técnica sencilla de colocar un gran número de espejitos de 7 cm² en una cáscara parabólica de plástico haciendo un mosaico, es la siguiente: la cara anterior de vidrio de los espejos se cubre con cera para poder quitar después el plástico que sobre. Se pinta la cáscara con resina Epoxy o poliéster líquidos, pintando solo pequeñas áreas cada vez, y los espejitos se embeben en la resina. Se necesitan unos 1,700 espejos para un colector de 1,25 m de diámetro.

Los mosaicos de espejo son más caros que el plástico aluminizado, pero su reflectividad es del 90% o mayor, comparada con el 85% o menor del plástico aluminizado y soportan años de exposición a la luz ultravioleta de la radiación solar, climas inclementes y arañazos, mucho mejor que el Mylar y otros plásticos. El cristal de espejo sencillo tiene 2,5 mm de espesor pesa 9 Kg por cada m².

LENTE FRESNEL: Otro instrumento capaz de enfocar la luz solar es la Lente Fresnel. En una lámina de plástico transparente se excavan una serie de surcos concéntricos cuyo ángulo es tal que la luz atravesando cada surco se refracta a un ángulo ligeramente diferente y converge en un punto. Estas lentes se han fabricado con láminas de plástico moldeadas y son eficaces para obtener un foco preciso.

También se construyen reflectores Fresnel con anillos delgados de plástico aluminizado o aluminio pulido, colocándolos a distintos ángulos de tal manera que todos concentren la luz en un foco central.

COLECTORES ESFERICOS: No hace falta conseguir un espejo parabólico perfecto para obtener radiación solar de alta intensidad y producción de alta temperatura. Los espejos esféricos pueden darnos un enfoque bastante bueno, suficiente para muchas aplicaciones de energía solar. Si se sujeta una hoja de plástico aluminizado en la parte de atrás de un anillo rígido y otra hoja de plástico transparente se coloca en la parte frontal y se infla el conjunto con aire comprimido, las dos hojas toman forma hemiesférica con una superficie perfectamente lisa de alta reflectividad. La longitud focal depende de la presión de aire aplicada y del espesor y la elasticidad de la película de plástico. Con un anillo de 1,25 m de diámetro y una película de Mylar aluminizado de 0,025 mm de espesor, se consigue fácilmente un enfoque preciso a una distancia focal de 70 cm o superior. Se puede obtener una distancia focal de 50 cm o inferior aplicando una presión mayor, pero la superficie aluminizada del plástico se dilata tanto, que la reflectividad disminuye apreciablemente. Se puede encontrar plásticos más dilatables que el Mylar, pero su capacidad de conseguir una distancia focal pequeña queda limitada, porque el aumento de superficie del dioptrio aluminio-plástico reduce la reflectividad.

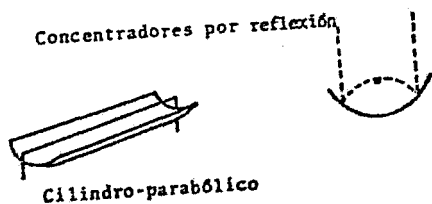
Una vez inflado, el plástico aluminizado se puede rigidizar, colocando el anillo horizontalmente y cubriendo el plástico con un tejido de fibra de vidrio y resina Epoxy líquida.

COLECTORES CILINDRICOS: Al comparar los colectores circular y cilíndrico, se encuentra que los colectores circulares se necesitan para producir temperaturas altas, porque el coeficiente de concentración puede ser muy grande y el área del receptor muy pequeña con bajas pérdidas de calor. Sin embargo, el área total del colector queda limitada por dificultades de construcción, por la necesidad de mover el colector para seguir al sol, y por los daños que producirían vientos fuertes. La ventaja de los colectores cilíndricos -

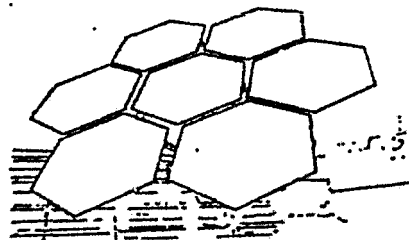
es que se pueden hacer infinitamente largos, y se pueden construir de tal manera que no necesitan ser movidos durante todo el día, aunque las temperaturas obtenidas serán mucho más bajas. Se puede incrementar la cantidad de calor recogido incrementando la longitud del cilindro y la tira receptora, pero el coeficiente de concentración permanecerá constante. Sin embargo, se puede recoger mucho más calor con un solo elemento cilíndrico que con otro circular. La forma cilíndrica es mucho más fácil de construir que la circular, puesto que tanto la película plástica aluminizada como las hojas de aluminio brillante anodizado u otro material reflectante, pueden ser curvadas fácilmente para adaptarse al cilindro, ya que se curva únicamente a lo largo de dos ejes. Si el colector se forra con plástico aluminizado, se evitan las arrugas formadas al adaptarse a una forma tridimensional.

La sección de un colector cilíndrico puede ser tanto parabólica como circular. Aunque la sección parabólica da generalmente un enfoque más preciso, la sección circular tiene la ventaja a veces de requerir menos ajustes para seguir al sol.

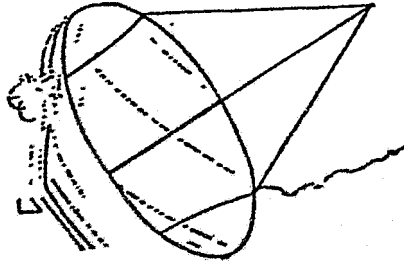
Los colectores cilíndricos de plástico se pueden fabricar con una estructura de cuadernas de contrachapado, colocada verticalmente, con los bordes curvos hacia arriba, a intervalos de 60 cm sobre una base de madera. Se coloca una hoja encerada de material rígido sobre las cuadernas y se recubre con tejido de fibra de vidrio y plástico líquido. Se le coloca un marco de tubos de los utilizados para conducciones eléctricas. Un número indefinido de estos elementos se puede acoplar para formar un colector único. Una vez separada de la estructura, la cáscara de plástico se cubre con una hoja de aluminio anodizado o plástico aluminizado, o bien con tiras largas de espejos de vidrio de 2,5 cm de ancho.



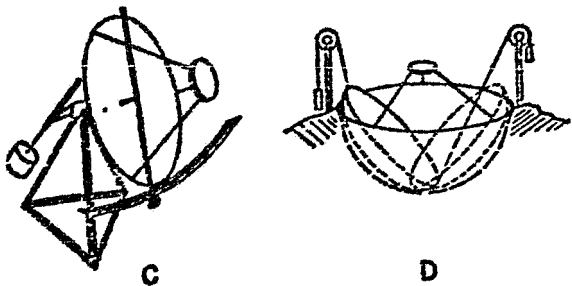
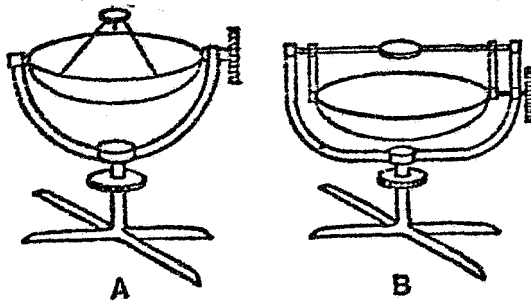
ESPEJOS PLANOS ENFOCADOS



EL PARABOLOIDE DE REVOLUCIÓN



MONTAJE DE COLECTORES FOCALES: Existen diversas maneras de conseguir que un colector circular siga al sol, manteniendo su plano frontal siempre normal a la dirección de los rayos solares, éstas se muestran a continuación.



El montaje azimutal (fig A) implica dos movimientos distintos: la rotación sobre un eje vertical contrado y la inclinación del colector alrededor de un eje horizontal. Estos dos movimientos se realizan fácilmente a mano, incluso por una persona sin preparación, pero es difícil ejecutarlos con controles mecánicos sencillos. El plano frontal del colector se fija al soporte que constituye el eje horizontal y la superficie receptora de la caldera, mo

tor, convertidor termoeléctrico u otro instrumento solar cualquiera se fija al borde del colector y se mueve con él.

Una modificación del montaje azimutal (fig B) permite mantener la superficie receptora en una posición horizontal fija. El colector parabólico se cuelga a un nivel más bajo que el eje de rotación y el receptor permanece a una altura constante del suelo en lugar de moverse con el receptor.

En el montaje ecuatorial (fig C) la estructura descansa en una base firme, y sobre ella se fija un tubo central resistente apuntando al norte. Este tubo se inclina a un ángulo tal, que permite variaciones de acuerdo con la estación de manera que el plano frontal del colector permanezca siempre perpendicular a los rayos solares. Se puede girar el colector alrededor del tubo central para seguir al sol. El único movimiento necesario consiste en girar a éste. Aproximadamente cada semana se ajusta la inclinación del tubo, a medida que cambia la altura aparente del sol sobre el horizonte de acuerdo con las estaciones. En invierno el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal es grande, de tal manera que el colector se enfrenta al sol, cuando éste bajo en el cielo. En el verano el ángulo de inclinación es más pequeño y el colector está horizontal cuando el sol alcanza su máxima altura en el horizonte. El receptor está montado en el colector y se mueve con él.

Se deben realizar experiencias sobre otro tipo de montaje en el que se sugiere una cáscara hemisférica que se mueva dentro de una depresión también hemisférica (fig D). En este tipo de montaje el receptor se mantendría en posición fija y el instrumento que se calentase presentaría una superficie continuamente horizontal. Se puede realizar una excavación hemisférica en el terreno y revestirse de cemento, puliendo el interior antes de que el cemento frague haciendo girar un patrón grande de metal o madera con un borde circular afilado, o colgando una bola grande de un trípode y haciendola mover dentro de la excavación en todas direcciones.

Se pueden utilizar diferentes maneras de seguir al sol mediante mecanismos automáticos, utilización del principio del reloj de arena, circuitos eléctricos accionados por

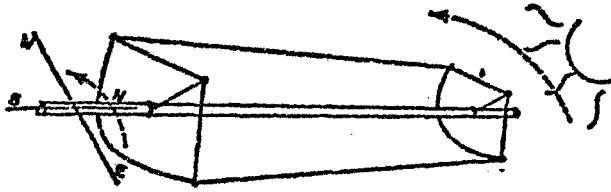
la sombra o manualmente.

Se puede construir un mecanismo automático sencillo si se dispone de corriente al terna. A un motor síncrono se le coloca una transmisión adecuada para que haga girar el colector 15° cada hora (la tierra gira sobre sí misma 360° en 24 horas, por tanto, en una hora se mueve 15°). A está velocidad de giro, el colector estaría apuntando al sol todo el día, si se coloca apropiadamente.

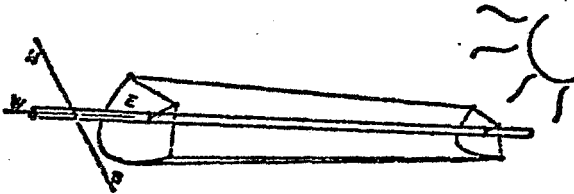
Desgraciadamente, no se pueden conseguir circuitos eléctricos en la mayor parte de las áreas donde existe una demanda de energía solar. Es posible construir un mecanismo de relojería utilizando un gran peso y controlándolo por medio de un péndulo a modo de un reloj antiguo de pared. Sería un buen proyecto construir un mecanismo para girar el colector solar, utilizando una estructura con varios engranajes, controlado por un péndulo o un escape de áncora, parecido a los utilizados en los relojes de cuerda o de pulsera. Bastaría subir un saco de 25 Kg de arena 1 m cada día para proporcionar la energía necesaria para hacer girar un colector de tamaño apreciable.

En principio parece sencillo que una célula fotoeléctrica o fotovoltaica (como las baterías solares de silicio) o par termoelectrico controlen un motor eléctrico o un mecanismo de peso y polea para hacer girar el eje en un ángulo pequeño, cuando la luz solar directa o enfocada incida sobre las celulas fotoeléctricas o la pila térmica. El eje se movería a pequeños saltos a medida que el borde móvil de la sombra arrojada por el sol, fuese descubriendo la célula fotoeléctrica.

Entre los colectores cilíndricos, el montaje que se ilustra a continuación, requiere seguir el sol de una manera similar a la descrita para el montaje ecuatorial de colectores circulares. El eje longitudinal del colector se coloca perpendicularmente a los rayos solares. Con los cambios de estación se mueve el eje del colector diaria o semanalmente, de manera que su eje longitudinal permanezca perpendicular al sol naciente.



Una de las grandes ventajas de los colectores planos es que no necesitan ser movidos para seguir al sol. Se puede montar un colector cilíndrico de manera que no necesite tampoco seguir al sol. El eje longitudinal del colector cilíndrico se coloca aproximadamente en dirección este-oeste y se ajusta diaria o semanalmente para que el receptor lineal -- central permanezca siempre en el foco (como se ilustra a continuación). Se hace coincidir entonces la línea focal del colector con el receptor lineal inclinando el colector. El receptor permanecerá enfocado durante todo el día con estos ajustes, excepto pequeños periodos por la mañana temprano y al final de la tarde. El ángulo del colector siempre estará enfocado.



CONSIDERACIONES GENERALES: Podemos ahora resumir los distintos factores involucrados en el aprovechamiento de la energía solar. Se necesitan colectores focales - para producir temperaturas superiores a los 120 C, pero éstos utilizan únicamente la radiación directa y funcionan solo cuando el sol está brillando. Necesitan seguir al sol, y es difícil fabricarlos y moverlos si son muy grandes. A medida que sube la temperatura que se pretende conseguir, sube la precisión óptica y la firmeza estructural necesaria, aumentando el costo.

Tanto los colectores planos como los focales presentan problemas debidos a su -- gran tamaño. Deben ser suficientemente resistentes como para soportar los vientos más -

fuertes de cada lugar, y se deben amarrar firmemente cuando se aproxima una tormenta. Se deben construir de manera tal, que puedan ser limpiados fácilmente. En un proyecto de energía solar, factores menores tales como posibles daños causados por el viento y la tenacidad con que las partículas de polvo se adhieran a la superficie, puede significar el éxito o el fracaso del mismo.

BIBLIOGRAFIA.

- Hottel, H. C. , y Whillier, A. , Evaluation of Solar Collectors Performance, *ibid.* , pp. 74-104.
- Threlkeld, J. L. , y Jordan, R. C. , Solar Collector Studies at the University of Minnesota, *ibid.* , pp. 105-14.
- Edlin, F. E. , y Wilauer, D. E. , Plastic Films for Solar Energy Applications, *ibid.* , E 35-S **33.
- Seybolt, R. , Report, Solar Energy Laboratory, Universidad de Wisconsin.
- Hukuo, N. , y Mii, H. , Design problems of a solar furnace, *Solar Energy*, 1:108-14.

CAPITULO 7.-

SECADO INDUSTRIAL Y AGRICOLA.

El secado solar de forraje y otras cosechas se ha practicado desde el comienzo de la agricultura. Es uno de los usos directos más importantes del calor solar. Para eliminar la humedad se necesita un calentamiento a baja temperatura, y la radiación solar la puede proporcionar directamente. En vista del creciente interés en las aplicaciones de la energía solar, y del desarrollo de los plásticos y otros materiales nuevos, quizá sea factible utilizar el sol para acelerar los secados agrícolas, reducir los desechos, y mejorar la calidad del producto. El estudio científico de estas posibilidades ha comenzado ya. Lóf ha preparado un resumen sobre el secado agrícola que cubre las cuatro comunicaciones sobre el tema, presentadas al Congreso de las Naciones Unidas sobre Nuevas Fuentes de Energía, en 1961, en Roma.

Intervienen muchas variantes en el proceso de secado, pero los mecanismos se están entendiendo cada vez mejor, y se han realizado algunos estudios de Ingeniería y Economía sobre el secado de productos especiales. Parece justificado aplicar esfuerzos de investigación mucho mayores en este campo. Normalmente los productos a secar son tan baratos y el trabajo necesario para mover la masa del material tan grande, que no se puede admitir un gasto extra para instrumentos solares muy refinados. Sin embargo, se puede justificar un gasto adicional en material solar si se consigue una gran capacidad de secado en instalaciones de capacidad limitada, o bien una mejora en la calidad del producto, lo que se puede conseguir si éste se mantiene limpio y el tiempo necesario de calentamiento se reduce. Esto puede significar, por ejemplo, una pérdida menor de vitamina C por oxidación, y menor cantidad de producto con sabor irregular.

El secado solar se puede producir directamente exponiendo el material sólido a la radiación solar, con o sin cubierta transparente. También se puede realizar indirectamente por calentamiento a través de una corriente de aire de baja humedad relativa. Cuanto menos húmedo esté el aire que pasa, más agua se evaporará del material a través del que

pase. El producto se puede almacenar en cajas profundas que ocupan poco espacio, y el calor necesario para la evaporación de la humedad se puede obtener del aire caliente. Puesto que el aire tiene una baja capacidad calorífica, es necesario utilizar grandes volúmenes de aire y hacerlo pasar a través de impulsores eléctricos o quizá utilizar el calentamiento solar de chimeneas térmicas de gran altura. Este método indirecto de calentamiento de productos agrícolas, tiene la ventaja de impedir el sobrecalentamiento de algunas áreas y se puede utilizar para ahorrar combustible donde esté utilizado actualmente una instalación de aire caliente para el secado.

Existen varias etapas en el mecanismo de secado de sólidos, cada una de las cuáles puede ser determinante bajo ciertas condiciones. La superficie del sólido se calienta por radiación directa o por la corriente de aire de manera que crece la presión de vapor de agua y se acelera su escape a la corriente circundante de aire. El agua se difunde hacia la superficie desde las capas interiores del material y el calor fluye hacia el interior desde la superficie del material. Cuanto más poroso sea el material, más rápido es el flujo de la humedad y más lento el flujo del calor. El calor necesario es de unas 590 cal/gr de agua evaporada. Se alcanza un estado estacionario cuando el calor total absorbido iguala al calor necesario para la evaporación y las pérdidas de calor. Si se utiliza calentamiento directo, la radiación solar puede penetrar ligeramente por debajo de la superficie y producir calor. En el calentamiento indirecto al aire circulante puede penetrar por los poros debajo de la capa superior y acelerar el secado. La importancia relativa de éstos factores se ha estudiado en algunos casos, y se pueden conseguir fórmulas para calcular la transferencia de calor de una lámina calentada solamente a una corriente de aire. Como el secado se efectúa a una temperatura no excedente de la temperatura del aire exterior, no es necesario usar los colectores focales, complicados. Los colectores planos sencillos de vidrio o plástico son suficientes. Un estudio Económico de secado solar incluirá la inversión de capital necesario para grandes extensiones de colectores solares y el costo de funcionamiento de ventiladores para hacer pasar el aire a través del producto a secar. El consumo de electricidad

de los ventiladores, depende a su vez de las dimensiones del secadero y de la resistencia que ofrezca el material a secar al paso del aire.

El maíz, el trigo y otras cosechas tienen un contenido tan alto de humedad (20%) que no se pueden almacenar sin un fuerte deterioro o pérdida de calidad. Para producir un buen grano es necesario un secado durante el almacenamiento. El forraje fresco puede tener hasta un 40% de humedad, y si se coloca en graneros la oxidación acelerada puede subir la temperatura bastante para producir combustión espontánea y fuegos destructivos. Las cosechas de granos recogidos en otoño y almacenados en graneros o barracones durante los meses fríos, se secan lentamente, y para garantizar buena calidad, y hacer posible la cosecha temprana, se debe inyectar a través del grano almacenado el aire calentado solarmente o con combustible.

La calefacción del aire se puede realizar solamente sin una gran inversión adicional si hay ya instalado un sistema de circulación de aire. La instalación produce una disminución del tiempo necesario de secado si se utiliza aire recalentado. Davis y Lipper, y Buelow proporcionan detalles de instalaciones solares de secado de éste tipo. Los resultados de las dos investigaciones concuerdan bastante bien. Davis y Lipper dan los contenidos de humedad de distintos granos y un gráfico de humedades relativas a distintas temperaturas, resumen los resultados del secado solar y hacen referencias a trabajos anteriores. Se hizo pasar aire por un cobertizo de almacenamiento a través de conductos situados inmediatamente debajo del techo de metal ondulado inclinado hacia el sur y pintado con pintura asfáltica negra. Se probó el secado de granos en bidones circulares y cobertizos triangulares, utilizando colectores de acero ondulado negro y plástico transparente. Se han informado de colectores planos que evaporan la humedad con una eficacia de aproximadamente el 25%. Un incremento de 8 C reduce la humedad relativa en un 20%. Una cubierta transparente de plástico o vidrio sobre los colectores, incrementa la temperatura de la corriente de aire en 25 C y sube la eficacia a más del doble. Se estudiarán flujos de 1900 litros de aire por minuto y metro cuadrado de colector solar. Se da una tabla del contenido de humedad de distintos --

productos agrícolas y se recomiendan unos flujos de aire mínimos.

Buelow aconseja que para evitar desperdicios, el grano y las cosechas de forraje se deben almacenar en aire con una humedad relativa del aire caliente que se circule a través del silo menor al 62%, pero superior al 30% de humedad relativa. Los canales del colector solar deben ser lo bastante grandes para que ofrezcan poca resistencia al paso del aire caliente. Una pérdida de presión de 2,5 mm de agua, es satisfactoria. Los canales de 4 cm de profundidad o superior a ésta son aceptables si su longitud no es superior a los 3 m. Un flujo satisfactorio es de $3 \text{ o } 4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{min. m}^2}$ de colector solar. El techo negro de metal o de asfalto es necesario de cualquier forma, y la instalación de los conductos por debajo no es muy cara. El tiempo de secado de una cosecha se puede reducir entre el 50 y el 75% con la calefacción solar por conductos de aire. Pelletier ha discutido el uso agrícola de la Calefacción Solar.

Wilson ha estudiado el secado solar de uvas en Australia. Los mejores resultados se obtuvieron colgando las uvas en cestas de alambre y en largas filas bajo techos metálicos colocados en la dirección norte-sur. Las uvas absorben la energía solar directamente, y pares termoeléctricos demostraron que el interior de las uvas bajo la superficie se podía calentar hasta 8 °C por encima de la temperatura del aire circundante gracias a la penetrante radiación infrarroja corta. Cuando las uvas estaban a la sombra, el interior de las mismas podía estar entre 2 y 6 °C por debajo del aire circundante, debido a la evaporación del vapor de las uvas. Si las uvas se colocaban en recipientes cerrados, y se hacía pasar entre ellas aire calentado solamente, el secado era más rápido que en las filas de uvas colgadas expuestas a la radiación solar directa, pero la calidad era inferior. La pérdida en peso de agua se determinó colgando las cestas de un muelle y añadiendo una cantidad de agua que se medía, para mantener las cestas a una altura constante. Los resultados demostraron que el factor principal de secado de las uvas era la absorción directa de la radiación solar. Se aconseja el uso de bandejas horizontales colocadas en fila para secarlas, particularmente en las regiones de alta latitud y bajo ángulo solar.

A causa de la importancia de su sabor, los frutos y vegetales son especialmente sen-

sibles a las condiciones del secado, tales como sobrecalentamiento, lluvias, polvo, tiempo de secado largo y crecimiento de hongos o bacterias. La calidad y el precio de las hojas de tabaco, depende en gran medida de la temperatura y rapidez del secado. Ordinariamente las hojas cuelgan en cobertizos con paredes de celosía y el sabor obtenido depende de la temperatura, humedad y tiempo de curado. Se puede obtener mejor calidad de tabaco independientemente de las condiciones meteorológicas, haciendo circular aire caliente. En varios lugares se han realizado experimentos con éxito, utilizando cobertizos que se calentaban por aire caliente que había pasado por canales clavados debajo de un techo pintado de negro y mirando al sur.

Se puede aplicar la energía solar al secado de maderas en hornos. Cuando la madera se seca al aire libre, el secado no es uniforme debido a la lluvia y a los distintos grados de humedad, lo que hace que se necesite un tiempo de secado mayor y se produzca madera de calidad inferior. Es frecuente utilizar hornos de secado con aire calentado por combustible. El calentamiento solar reducirá el costo de combustible y podría ser utilizado en pequeños hornos de bajo costo. En varios lugares se ha experimentado con el secado solar. Se están realizando experimentos con un molino de viento en lugar de electricidad para hacer circular el aire. Se debe estudiar el uso de chimeneas térmicas y cubiertas baratas de plástico para pequeños montones de madera apilados en lugares donde no hay energía eléctrica.

OTROS TIPOS DE SECADO SOLAR.

Cuando se necesitan altas temperaturas o equipos móviles para operaciones de calentamiento, es mejor intentarlo con combustibles, pero para las operaciones industriales que necesiten baja temperatura, como el calentamiento o evaporación de disoluciones acuosas, es posible utilizar la radiación solar, sobre todo en áreas soleadas, y conservar las reservas mundiales de carbón, gas y petróleo.

Se han estudiado cuidadosamente las posibilidades de secado de pizarras bituminosas utilizando energía solar. Las pizarras bituminosas de Brasil contienen un 33% de humedad, gran parte de la cual se puede eliminar calentándolas con petróleo o quemando parte -

de la pizarra. Se puede ahorrar combustible extendiendo la pizarra con maquinaria pesada para secarla al sol. Se encontró que el incremento de precio de las pizarras, era tres veces mayor que el costo del secado solar. La eficiencia del secado solar variaba del 45% al comienzo, cuando las pizarras estaban húmedas y oscuras, hasta un 18% cuando se había eliminado la humedad de las capas superiores, que se volvían más claras, y la humedad tenía que recorrer un camino más largo para llegar a la superficie. Se demostró que la eficiencia era mayor y se perdía menos calor, colocando las pizarras en grandes espesores, pero se necesitaba más tiempo para evaporar una cantidad de agua dada. Se encontró que las pérdidas en su mayor parte (pérdidas de calor) se efectuaban por convección del aire circundante.

Duffie y Talwalker han realizado un estudio completo de todos los factores que intervienen en el secado de una capa de partículas sólidas, sometidas a radiación superficial.

Durante siglos se ha secado la Turba al sol.

La evaporación de agua de mar para producir sal, es una de las industrias químicas más viejas existentes; cuando la sal se cristaliza, una gran cantidad de luz solar refleja fuera de la solución, y se han realizado experimentos consistentes en teñir la sal para aumentar la absorción de la luz solar.

La obtención de nitrato de sodio, post-disolución y evaporación del salitre, es una industria en gran escala.

CONSIDERACIONES GENERALES.

En los colectores planos de aire utilizados tanto para el secado como para otros usos, uno de los factores más importantes es el intercambio de calor entre la superficie negra absorbente y la corriente de aire que pasa sobre ella. Cuando la corriente es rápida, este intercambio puede ser el factor determinante de la eficiencia del colector. Sholmaker ha desarrollado una estructura que permite un máximo intercambio de calor, con una gran superficie absorbente y un mínimo de resistencia al paso del aire. Se utilizan hojas de aluminio de 0,005 cm de espesor pintadas de negro, sobre las que se producen pequeños cor--

tes al tresbolillo con una máquina. Las hojas se extienden lateralmente, de manera que se abrán los cortes, produciéndose una estructura al modo de colmena con los bordes ligeramente levantados, una hoja de éste tipo absorbe un tercio de la luz incidente y siete hojas absorben alrededor del 90% con un costo de \$225.- pesos/m². Se colocan varias hojas una encima de la otra y se introducen en un largo conducto pintado de negro, con una tapa de cristal e inclinado. La mayor parte del calor se genera entre las hojas de aluminio negras, y las paredes del conducto están más frías, por lo tanto las pérdidas de calor se reducen. Se obtuvo un incremento de temperatura a 20 °C con el conducto sin hojas de aluminio, y de 50 °C con las hojas, siendo el flujo de aire de 900 litros/m².min y el sol brillante. Con un flujo de 1200 litros/m².min el calor recogido por la corriente de aire, era el doble con las hojas que sin ellas.

Los colectores de hojas de aluminio ennegrecidos con aberturas expandidas, han sido estudiados en detalle por Chiou, El-Wakil y Duffie.

La utilización de aire calentado solarmente se ve seriamente comprometida cuando no se dispone de corriente eléctrica para mover un ventilador. Se pueden utilizar pesas y mecanismos de relojería, pero funcionan sólo un tiempo limitado sin necesidad de darles cuerda y necesitan mucho trabajo humano. Un ventilador poco eficaz proporciona un flujo de aire de 850 litros/min con 1/60 Kw, con una pesa necesitaríamos hacer caer 90 Kg para generar éste 1/60 Kw desde una altura de 1m cada minuto, que no es una operación muy práctica.

Los molinos de viento son prácticos en algunos lugares si hay vientos frecuentes con velocidad de 4.5 m/seg o superiores. También es posible utilizar embudos eólicos; un viento de 6.4 Km/h o 107 m/min corresponde teóricamente a un flujo de aire de 1,000 litros a través de un conducto de sección de 30.5x3 cm. suponiendo que no existiesen pérdidas por reforzamiento. Un embudo con una gran superficie enfrentada al viento y una pequeña superficie al final, produciría una velocidad superior del aire en el conducto pequeño.

Se pueden construir chimeneas térmicas, pero deben ser altas para obtener suficien

te diferencia de presiones y de gran sección para ofrecer poca resistencia al aire. La dife
rencia de densidades entre el aire más frío exterior y el aire caliente interior, produce un
movimiento ascendente del aire encerrado. Hace falta una investigación antes de que se --
puedan efectuar cálculos fiables del flujo generado en chimeneas térmicas de dimensiones
dadas.

Un tipo posible de chimenea, consiste en un alto paralelepípedo de plástico transparen
te, abierto arriba y abajo calentado todo a lo largo por la radiación solar. La chimenea se
puede sosten er con un bastidor vertical de madera autosoportante, colocado contra una edi
ficación que mire al sur, o sobre una colina inclinada. La parte frontal de la chimenea se
puede hacer transparente de Tedlar, Aclar o Mylar W, colocando una hoja central absorven
te de polietileno negro o metal, para recoger el calor. Serfa interesante realizar experien
cias con grandes chimeneas de plástico.

Bernard ha medido la velocidad del flujo de aire en una pequeña chimenea térmica,
consistente en una caja inclinada con un fondo de metal negro aislado térmicamente con una
tapa de vidrio. El espacio intermedio de pocos cm, estaba relleno de tela metálica fina de
alambre negro, pero los receptores de aluminio expandido descritos anteriormente serían
mejores. La temperatura del aire sube progresivamente en las partes superiores de la chi
menea, y con flujos lentos se puede alcanzar hasta 100 C. Se facilitan análisis matemáti--
cos. Los ritmos de flujo variaban entre 8 y 25 litros de aire por segundo y metro cuadrado
de superficie negra absorbente.

CAPITULO 8. -

ALMACENAMIENTO DE CALOR. -

La intermitencia de la radiación solar requiere almacenar el calor para muchas utilidades, tales como la calefacción de edificios y la producción de electricidad. El almacenamiento de calor está también relacionado con el enfriamiento y las bombas de calor.

Se puede almacenar calor haciendo subir la temperatura de sustancias inertes tales como agua o rocas, o se puede almacenar con reacciones químicas o fisico-químicas reversibles, tales como la deshidratación de hidróxidos o la evaporación del agua. Existen muchos sistemas, pero es difícil obtener una gran capacidad de almacenamiento con un pequeño volumen y bajo costo.

ALMACENAMIENTO POR CAPACIDAD CALORIFICA: El agua tiene más capacidad calorífica por kilo o por litro, que cualquier otra sustancia. Si se eleva a 20 grados -- centígrados la temperatura de un litro de agua, cuando está se enfría obtendremos las -- 20 Kcal que ha absorbido. Cuando un litro de agua se congela, cede 80 Kcal a una temperatura inferior a los 0 grados centígrados. La conductividad calorífica del agua es muy baja, y en un depósito ordinario el agua se enfría a través de las paredes del depósito ordinario hacia el aire circundante. El agua más fría baja y la más caliente sube, produciendo una circulación rápida con pérdidas de calor a pesar de la conductividad térmica baja; los depósitos celulares pueden reducir las pérdidas de calor. Para la utilización práctica del calor almacenado en depósitos de agua, es necesario utilizar una bomba y energía eléctrica. El sistema de almacenamiento, ocupa un volumen comparativamente pequeño, y la transferencia del calor con serpentines es eficaz. En climas fríos se corre el riesgo de heladas.

Los depósitos de guijarros o rocas, tienen muchas ventajas en cuanto a almacenar el calor transportado por una corriente de aire caliente. El intercambio rápido de calor, queda asegurado por el gran área superficial de los guijarros y el tortuoso camino que

ha de recorrer el aire. La conductividad del depósito de guijarros, con un tercio de su volumen ocupado por el aire, es muy baja a causa de que los guijarros se tocan entre sí en áreas muy pequeñas en los puntos de contacto, y la circulación del aire encerrado, se ve reducida por los guijarros mismos. Por lo tanto, las pérdidas de calor de las paredes del depósito de aire circundante se reducen mucho. La capacidad calorífica de la roca es considerablemente inferior a la del agua, pero su densidad es superior, resultando que un litro de roca sólida almacena 320 cal por grado centígrado mientras que un litro de agua almacena 1000. Se necesita un ventilador para impulsar el agua a través del depósito de guijarros y la resistencia al paso del aire, aumenta a medida que el tamaño de los guijarros disminuye. Un conjunto de esferas perfectamente asentadas, deja un espacio vacío en tre ellas de un tercio del volumen total ocupado, y esta fracción es casi independiente del diámetro de las esferas, si todas ellas son del mismo tamaño. Un diámetro conveniente para almacenar calor solar es de 5 cm, excepto para altas temperaturas o para depósitos pequeños. Se puede fabricar un depósito de guijarros barato utilizando grava ordinaria, de garbancillo, o ladrillo molido, tamizados para obtener un tamaño uniforme, a fin de presentar una resistencia tan pequeña como sea posible al paso del aire.

Para el almacenamiento de calor en gran escala, los depósitos de agua o de guijarros se colocan en terrados, ya que la conductividad del suelo es baja (particularmente si está seco) y se puede recuperar parte del calor cedido al terreno, si se pasan aire o agua más fría a través del depósito. En depósitos pequeños, la cantidad de calor que absorbe el terreno es demasiado grande. Se puede considerar el almacenamiento de calor a muy gran escala con agua caliente, en cavernas subterráneas o minas abandonadas; es posible almacenar también tanto calor como frío, haciendo circular aire a través de cuevas.

En algunos casos especiales, se puede utilizar la capacidad calorífica de los metales para almacenar calor. La conductividad calorífica de los metales es muy buena. La

capacidad a presión constante en calorías por grado, de un gramo de cualquier elemento químico, es aproximadamente igual al resultado de dividir 6,4 por su peso atómico. El cobre, por ejemplo absorbería $6,4/63,6 = 0,11$ cal y el aluminio absorbería $6,4/27 = 0,24$ cal por gramo cuando se calienten a 1 grado centígrado. Por lo que respecta al peso, la capacidad de almacenamiento de calor de estos metales, está entre un décimo y un cuarto de la del agua; si se comparan en volumen, las diferencias son mucho menores, sin embargo, porque la densidad de éstos es mucho mayor. Un litro de agua almacena 1 Kcal de calor por grado, el cobre 0,89 Kcal., el hierro 0,87Kcal., y el aluminio 0,63 --- Kcal por grado. El costo de almacenamiento en metales es mucho mayor, comparado -- con el agua o rocas.

Los problemas involucrados en el almacenamiento de calor a través de la elevación de temperatura de materiales químicamente inertes, incluye el volumen necesario, el costo, el intercambio de calor en el depósito, y el aislamiento térmico. Existen varios tipos de materiales muy buenos para ser utilizados como aislantes a temperaturas inferiores a los 100 grados centígrados, ligeros y de baja capacidad calorífica; una gran parte del material está ocupado por aire intersticial. A temperaturas más altas no se puede utilizar los materiales orgánicos ligeros y esponjosos, es necesario emplear asbestos, lanas o fibras de vidrio, y minerales ligeros. En la tabla siguiente se ofrecen las conductividades de algunos materiales comunes.

Conductividad calorífica K, de los materiales:

	$\frac{2}{\text{cal/seg cm}} \left(\frac{3}{\text{C/cm}} \right) \times 10$
FIBRA DE ASBESTO	0,27
LADRILO	1,5
CORCHO	0,13
VI DRIO	1,8
PAPEL	0,3
CEMENTO PORTLAND	0,7

ARENA (seca)	0,93
SERRIN (peso específico 0.19)	0,14
AGUA	1,4

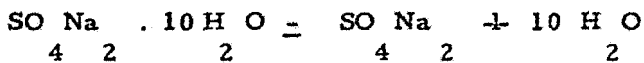
Las pérdidas de calor ocurren por conducción, a los materiales en contacto con la substancia almacenada y por convección al aire, particularmente en lugares con mucho viento y por radiación infrarroja y para disminuir las pérdidas, es necesario que el almacén calorífico tenga una superficie pequeña y que sea protegida con un aislamiento adecuado. Se ha sugerido que una gran bola de hierro colocada en un recipiente aislado, cumple estos criterios. Las pérdidas por irradiación crecen con la cuarta potencia de las temperaturas absolutas, y en altas temperaturas es, con mucho, el factor más importante de las pérdidas de calor.

ALMACENAMIENTO FISICO-QUIMICO DEL CALOR. -

Los cambios de estado y las reacciones químicas, involucran efectos caloríficos mayores que los cambios de temperatura del material inerte. Utilizando estas propiedades, los recipientes necesarios para el almacenamiento de calor, pueden ser más pequeños y más baratos; además las temperaturas pueden ser más bajas, con lo que se reduce también el costo del aislamiento necesario. La reacción química debe ser reversible en un intervalo de temperatura no muy grande. Como sucede en muchas operaciones químicas prácticas, no es suficiente satisfacer las condiciones termodinámicas de la reacción; es también necesario que la cinética de la reacción, sea favorable para que está se produzca rápidamente. El tipo más sencillo de almacenamiento químico del calor, incluye la formación de una fase sólida, y la producción de cristales puede ser lenta. Puede ser que no se produzca cristalización si no se utilizan agentes de nucleación apropiados, obteniéndose una fase líquida super enfriada, sin conseguirse la producción de un proceso de cristalización exotérmico.

Las sales hidratadas son uno de los productos químicos más sencillos utilizados para el almacenamiento de calor; la transición de los cristales de sulfato de sodio hidra-

tos a deshidratados a 32.3 grados centígrados, es un buen ejemplo.



Cuando se sube la temperatura por encima de los 32.3 grados centígrados, se forma una solución de sal anhidra con absorción de calor, y cuando la temperatura baja, la sal anhidra reacciona con el agua produciendo calor. El calor de reacción es de unas 50 cal/gramo de sal hidratada. Después de muchos ciclos, hay tendencia a soluciones super saturadas, en vez de cristalizaciones; también sucede que los cristales se depositan en el fondo y la estratificación obstaculiza la reversibilidad. La velocidad de cristalización es de 1.25 cm.h, lo que fija el límite de obtención de calor. El intercambio de calor entre una corriente de aire o agua y la sal, depende de la superficie total de intercambio, de la turbulencia del fluido que pasa por la unidad de almacenamiento y de la diferencia de temperaturas.

En la tabla siguiente se comparan los tres sistemas de almacenamiento de calor, suponiendo que el agua y los guijarros sufren un incremento de temperatura de 20 grados centígrados. Los datos se dan para una temperatura aproximada a la temperatura ambiente. Las ventajas del almacenamiento químico del calor en gran escala, son superadas a veces por los inconvenientes.

TABLA Comparación de sistemas de almacenamiento de calor.

	Temperatura	Cal/gramo . grado centí.	Kcal/lt.
AGUA	20	1	20
DEPOSITO DE GUIJARROS	20	-	8
SO Na . 10 H O 4 2 2	32.3	-	84.5

Al comparar los costos es evidente que el agua no cuesta nada, pero requiere depósitos caros para grandes volúmenes. Los guijarros son baratos, el sulfato de sodio es un producto barato y se puede economizar en depósitos y espacio, a causa de su mayor capacidad de almacenamiento de calor.

2-3 4 5 6
Telkes , Mathur , Goldstein y Speyer , han discutido el almacenamiento químico del calor.

Goldstein señala que a una temperatura baja en un sistema en equilibrio, debe -- producirse un cambio en entropía. Si se ha de producir un gran cambio de calor, "H", a la temperatura de equilibrio "T", el incremento de energía libre "G" es cero, y la reacción termodinámica básica:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

se convierte en:

$$\Delta H = T\Delta S$$

cuando,

$$\Delta G = 0$$

Por tanto, es necesario encontrar sistemas donde los cambios de entropía sean grandes. Goldstein consideró distintos procesos físico-químicos, fusión, mezclas eutécticas, transiciones cristalinas, vaporización, disolución, cambio de solubilidad --- con la temperatura y descomposiciones químicas. Examinó muchos de los productos - químicos inorgánicos más comunes, con calores de fusión entre 30 y 200 grados centígrados. El más bajo era de 9 Kcal/lt, 17 estaban por debajo de las 60 Kcal, y 4 estaban en el intervalo entre 60 y 80 Kcal, 3 en el intervalo de 80 a 100 Kcal y 1 (el Al Cl₂ que es anormal) tenía 140 Kcal/lt. Un exámen de las sustancias orgánicas mostró calores de fusión bajos en general con solo 8 de ellos, en el intervalo de 50 a 60 Kcal/lt y ninguno por encima de las 60 Kcal/lt.

La mayor parte de los calores de transición entre distintas formas cristalinas, - son más bajos que los calores de fusión y las transiciones son muy lentas.

La vaporización de un líquido se produce con gran incremento de entropía, y los calores de vaporización son grandes; pero el agua en su punto de ebullición es de 530 Kcal/lt, mientras que el de fusión del hielo es de 73.5 Kcal/lt. El almacenamiento de grandes cantidades de vapor es difícil. Goldstein analiza algunos sistemas químicos de

gran calor de reacción por litro, como la destilación de soluciones acuosas y la descomposición de hidratos sólidos. También sugiere el uso de los efectos caloríferos reversibles, producidos por la disolución de sales con agua y por su cambio de solubilidad con la temperatura.

6

Speyer discute las necesidades de los sistemas de almacenamiento de calor con relación al costo, volumen, capacidad efectiva de almacenamiento, cantidad de calor utilizable para su uso posterior, intervalo de temperaturas de trabajo, y velocidad a la que se puede introducir y sacar el calor del sistema. Si la capacidad de almacenamiento es grande, el tamaño del colector solar puede reducirse. Insiste en que el factor limitante del uso de la energía solar en competencia con los combustibles, es el costo del colector. Si los costos actuales, o si el costo de los colectores se pudiese reducir a la mitad, a un tercio, o bien incrementar suficientemente su eficacia actual, entonces, según Speyer, la calefacción solar puede llegar a ser competitiva en algunos lugares.

Los experimentos realizados con acetato de amonio, que funde a 110 grados, ilustran las dificultades de usar algunos productos para almacenar calor solar. Se colocaron muestras en tubos de ensayo con un baño líquido y se permitió su enfriamiento una vez fundidas. Normalmente la fase sólida no aparece hasta que la temperatura de fusión, no ha sido superada por 20 grados centígrados más abajo; debido al superenfriamiento.

El superenfriamiento constituye un serio problema en cualquier sistema de almacenamiento de calor, cuando existen cambios de fase sólida. Es necesario utilizar agentes de nucleación cuando se alcanzan las condiciones termodinámicas apropiadas, que a menudo dejan de ser efectivas, después de cientos o miles de ciclos de fusión o cristalización. Para el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía solar, se necesita hacer investigación básica, en el campo de la nucleación.

Aunque el agua tiene una capacidad calorífica mayor que casi ningún otro líquido ordinario, se pueden considerar también algunos fluidos que sufren una disociación --

química reversible al calentarse.

Se ha discutido la posibilidad de utilizar pesados cilindros metálicos llenos de sa les fusibles para almacenar calor. Un posible compuesto es el hidróxido sódico; tiene un punto de fusión de 320 grados centígrados y un calor de fusión de 40 cal/gramo. S--
8
tam propuso otra substancia para almacenar calor para cocinar; $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, que funde a los 117 grados centígrados con un calor de fusión de 40 cal/gramo.

ESTANQUES DE AGUA. -

Para almacenar el calor de la radiación solar en períodos de tiempo grandes, se pueden utilizar grandes estanques poco profundos de agua con el fondo negro. Los estanques pequeños no son efectivos, a causa de las grandes pérdidas que sufre por los bordes, pero en estanques muy grandes, estas pérdidas son relativamente poco importantes y el calor absorbido por el terreno situado debajo no se pierde, porque la tierra seca es muy mal conductor del calor y el calor que pasa al suelo, se puede recuperar cuando baja la temperatura del agua en la piscina. Para subir la temperatura del agua en el estanque a su punto normal, se necesitan varios días.

En un estanque normal la evaporización superficial del agua impide alcanzar temperaturas altas. Si se coloca una película superficial de aceite sobre la superficie, se reduce la evaporización y la temperatura sube. También se pueden utilizar grandes hojas de plástico transparentes, como barrera para evitar la evaporización, las pérdidas de calor causadas por el viento y para reducir las pérdidas por radiación infraroja.

10

Tabor , ha construído estanques de almacenamiento de calor de 1 metro de profundidad con el fondo negro que se llenaban con salmuera concentrado, que se obtenía como residuo de las salinas del mar muerto. Las salmueras se recubrían con una capa de agua dulce y la gran diferencia de densidad entre las dos, impedía que la salmuera subiera a la superficie una vez calentada por el sol. De esta manera se consigue un estanque de agua con el fondo caliente y la superficie más fría, reduciendo la evaporación del agua en la superficie y las consiguientes pérdidas de calor. Tras varios días -

de calentamiento solar, el fondo del estanque hace subir la temperatura de la salmuera al punto de ebullición del agua y si no se remueve el estanque, el calor se conserva bastante bien. Una parte del calor se pierde por conducción a la tierra, pero más tarde -- puede ser recuperado. Unos serpentines colocados en el fondo del estanque, proporcionan vapor a baja presión para mover una turbina, produciendo electricidad noche y día con la radiación solar. Uno de los inconvenientes es la acumulación de polvo que cae a través del agua y se acumula en la capa superficial de la salmuera, disminuyendo la radiación que alcanza al fondo negro del estanque. Otra dificultad, es la mezcla producida por la acción ondulatoria del viento. Weinberger ¹¹ ha publicado un análisis matemático detallado de los estanques de almacenamiento de calor.

BIBLIOGRAFIA. -

1. - Telkes, M. Solar Heat Storage. Solar Energy Research. F. Daniels, Madison, University of Wisconsin Press.
 2. - Telkes, M. Solar House Heating. A problem of Heat Storage. Heating and Ventilation.
 3. - Telkes, M. Nucleation of Supersaturated salt solutions.
 4. - Mathur; K.N. of Solar Energy. Use for Heating Purposes, Heat Storage. United National Conference on New Sources of Energy.
 5. - Goldstein, M; Some Physical-Chemical Aspects of Heat Storage.
 6. - Speyer, E; Solar Buildings in Temperate and Tropical Climates.
 7. - Seybold, R. Fusible Salt and Nitrogen Dioxide Adsorption for Utilizing Solar Energy.
 8. - Stam, H. Cheap but Practical Solar Kitchens.
 9. - Blytas, G. C. Investigación no publicada.
 10. - Tabor; H. Large Aerea Solar Collector. Solar Ponds for Power Production.
 11. - Weinberger; H. The Physics of the Solar Pond. Solar Energy.
-

CAPITULO 9. -

ALTERNATIVAS DIVERSAS EN LA CONSTRUCCION DE UN ALMACEN PARA GRANOS Y SEMILLAS. -

El objetivo fundamental de éste capítulo será el valorar una serie de alternativas - propuestas y contemplarlas en función de los puntos de vista de energía y almacenamiento, que son la base principal en el desarrollo de la presente tesis.

Para lo anterior hemos establecido tres parámetros de comparación que nos darán una base sólida en la adecuada selección de los modelos que hemos propuesto, aunada a - su desarrollo posterior; a saber:

1. - Condiciones de absorción de calor en función del área y su eficiencia térmica.
2. - Costo actual relativo en función de los colectores.
3. - Capacidad de Almacenamiento.

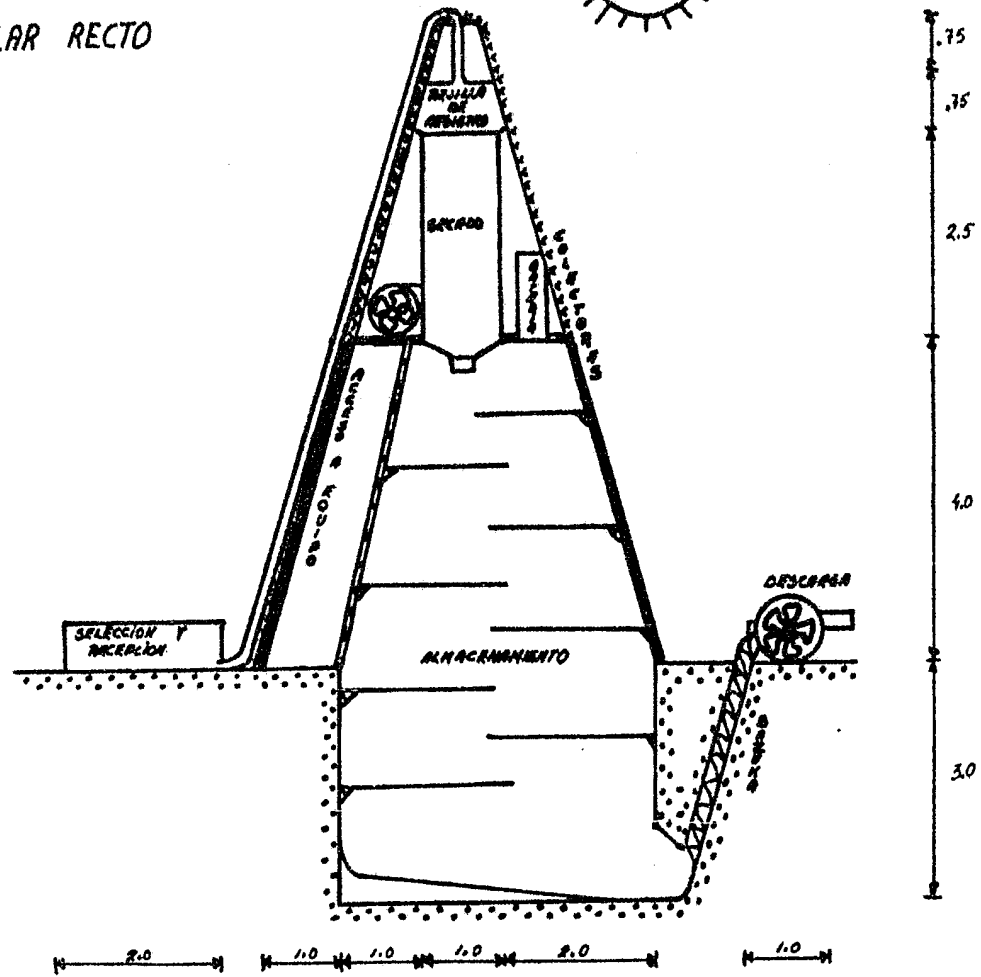
Las superficies escogidas para el análisis son las que a nuestro juicio presentan - mayor ventaja de captación de los rayos solares en su geometría y por ende también son - las más aptas para almacenamiento de granos y semillas; entre ellas están:

- A) Cono Circular Recto.
- B) Bóveda.
- C) Segmento Esférico De Una Base.
- D) Pirámide Truncada.

Debemos señalar que tanto los parámetros como las superficies, no se han tomado como únicos puntos de vista que pueden obtenerse, ya que habrá un número mayor, desde el objetivo donde se enfoque al problema. Así que necesariamente habrá que añadir otras constantes como resultado de lo anterior, K como certeza de que existe un factor por obra civil, M que representará los materiales utilizados en costo y duración, T que se referirá al clima predominante y su humedad respectiva, y Z que se dejará abierta a todo aquello - no considerado anteriormente.

Cabe hacer mención que deberemos dejar abierta la posibilidad de proponer otra superficie más ventajosa en algún desarrollo posterior al presente trabajo, como consecuencia de investigaciones subsecuentes tendientes a optimizar el aprovechamiento de la energía solar y minimizar el costo global del proyecto.

A) CONO CIRCULAR RECTO



ESCALA 1:75

ALTERNATIVA A. -

CONO CIRCULAR RECTO.

A) CONDICIONES DE ABSORCION DE CALOR EN FUNCION DEL AREA Y SU EFICIENCIA TERMICA. -

Para el diseño mostrado, suponiendo una media de 1 langley/min, durante ocho horas de sol en una superficie cónica circular recta

$$A = \frac{2}{t} \pi r^2 g \pm \frac{2}{t} \pi r^2 = 63.82 \text{ m}^2$$

tendremos que se reciben 319,100 kcal/día o 35.73 KWH. Si suponemos una eficiencia del 75%, se tendrán: 26.79 KWH.

B) COSTO EN FUNCION DE LOS COLECTORES. -

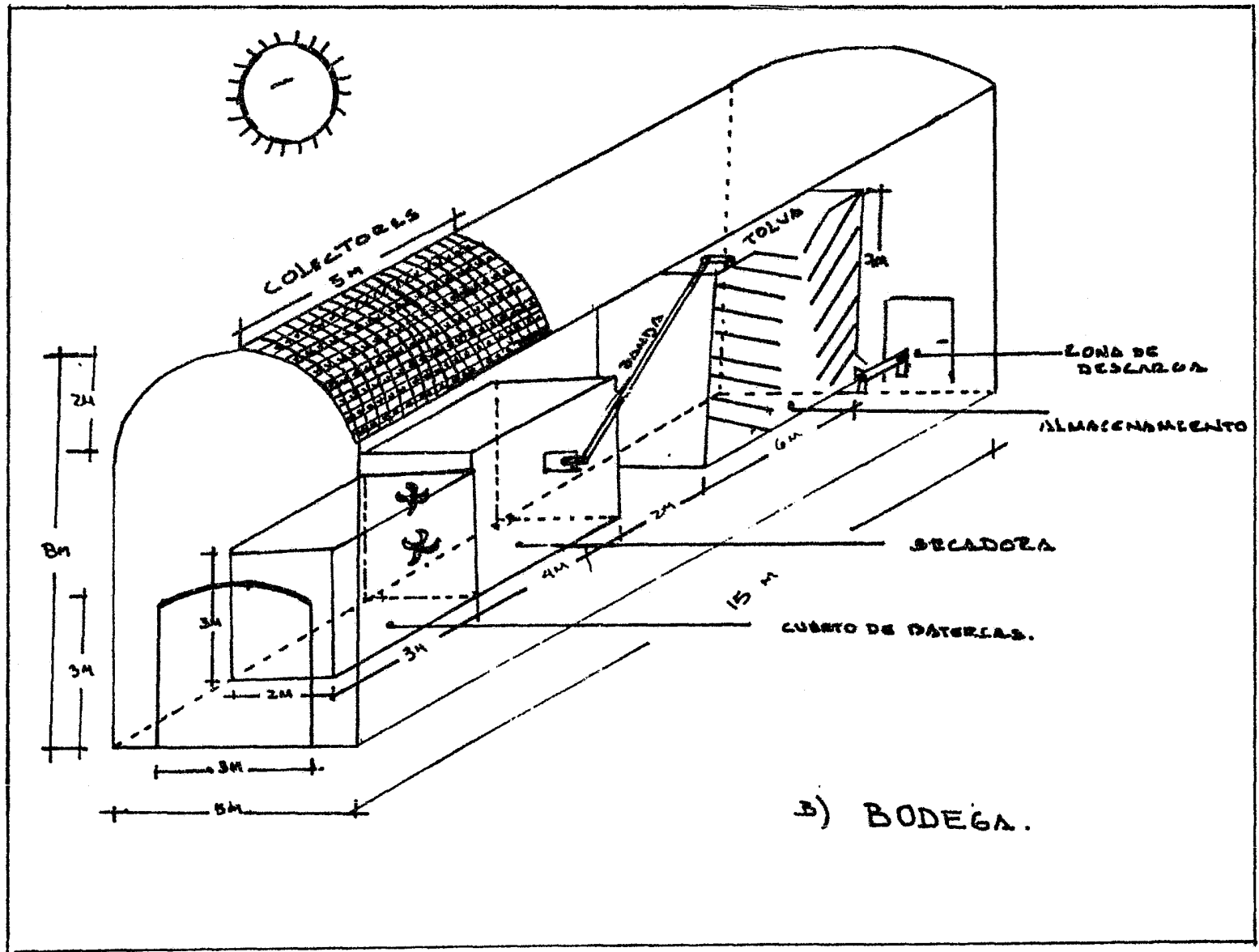
El costo en función de colectores (tomando como base \$36,000.- como el precio con estructura de montaje para cada 1.6 m) es de \$1'435,350.-

C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -

Su capacidad de almacenamiento total para granos y semillas es de 66.95 m³.

D) CINETICA DEL PROCESO INTERNO. -

Los granos y semillas a almacenarse llegarán en camiones hasta el lugar de recepción donde serán pesados y examinados; luego una banda transportadora los llevará a la parte alta (no sin antes haber pasado por las cribas de limpieza) donde se irá depositando hasta que las rejillas de registro se abran para introducirlo en la secadora. Está usará el calor recolectado por los colectores solares y un ventilador, cuya fuente de energía proveniente del cuarto de baterías recargadas por la misma fuente de energía, será en gran parte el controlador de todo el sistema. Una vez secado el grano, pasará a su almacenamiento localizado en la parte baja del silo, de donde se extraerá después ayudado por una bazuka según las necesidades y las premuras de tiempo que se tengan. El silo además cuenta con una escalera.colgante y acceso directo al equipo, para su supervisión y mantenimiento.



ALTERNATIVA B. -

BODEGA.

A) CONDICIONES DE ABSORCIÓN DE CALOR EN FUNCIÓN DEL ÁREA Y SU EFICIENCIA TÉRMICA. -

Para el diseño mostrado, suponiendo una media de 1 langley/min, durante ocho horas de sol en una superficie cilíndrica hemisférica.

$$A = \frac{2\pi r h}{t} = \frac{2\pi r^2}{3/8} = 44.18 \text{ m}^2$$

tendremos que se reciben 220,900 kcal/día o 24.74 KWH. Si suponemos una eficiencia del 75% se tendrán: 18.56 KWH.

B) COSTO EN FUNCIÓN DE LOS COLECTORES. -

El costo en función de colectores (tomando como base \$36,000. - como el precio con estructura de montaje para cada 1.6 m²) es de \$ 994,050. -

C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -

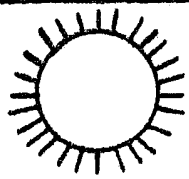
3

Su capacidad de almacenamiento total para granos y semillas es de 98.17 m³.

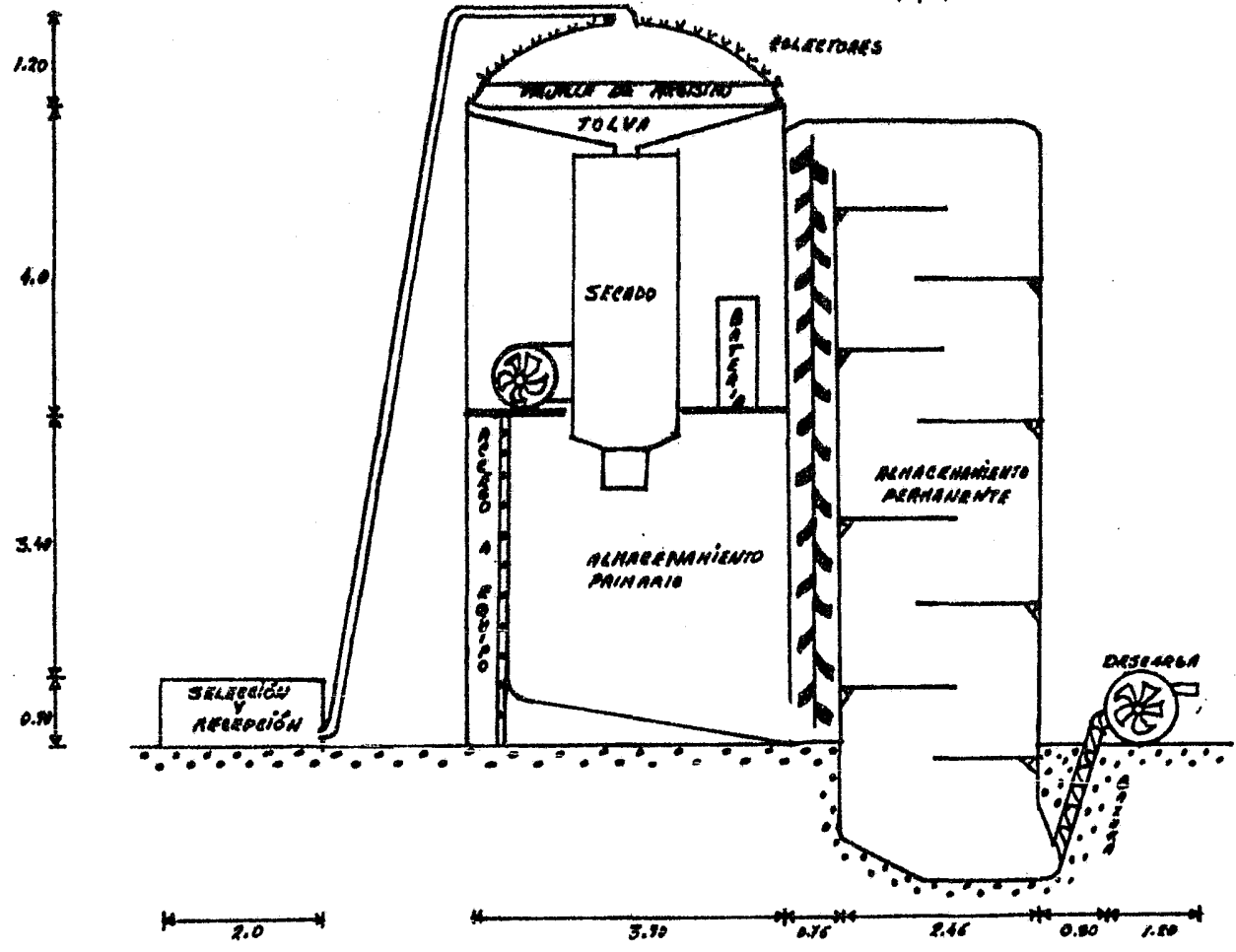
D) CINÉTICA DEL PROCESO INTERNO. -

Los granos y semillas llegarán al área de recepción donde serán limpiados por una rejilla-coladera y serán manejados por una banda transportadora al cuarto de secado, el cual es controlado por un ventilador, que a su vez es accionado mediante la energía almacenada en el cuarto de baterías proveniente de los colectores. Secado el grano, pasará a través de una banda transportadora de manera que lo depositará en una tolva para que caiga lentamente mediante contenedores de un cierto ángulo para no romperse, a la parte inferior de nuestro almacén, donde se encuentra una válvula de descarga, la cual se pondrá para abrirse o cerrarse dependiendo de las necesidades de consumo. Para la configuración mostrada alineando el proyecto bajo la línea azimutal del sol se recibe energía del mismo en cualquier posición.

C) SEGMENTO ESFERICO DE UNA BASE -



ESCALA 1:75



ALTERNATIVA C

SEGMENTO ESFERICO DE UNA BASE -

A) CONDICIONES DE ABSORCION DE CALOR EN FUNCION DEL AREA Y SU EFICIENCIA TERMICA. -

Para el diseño mostrado suponiendo una media de 1 langley/min, durante ocho horas de sol en una superficie esférica de una base.

$$A = 2 \pi r^2 h \quad \pi r^2 = 44.65 \text{ m}^2$$

tendremos que se reciben 223,250 Kcal/día o 25 KWH. Si suponemos una eficiencia del 75% se tendrán: 18.75 KWH.

B) COSTO EN FUNCION DE LOS COLECTORES. -

El costo en función de colectores (tomando como base \$36,000. - como el precio con estructura de montaje para cada 1.6 m²) es de \$1'004,625. -

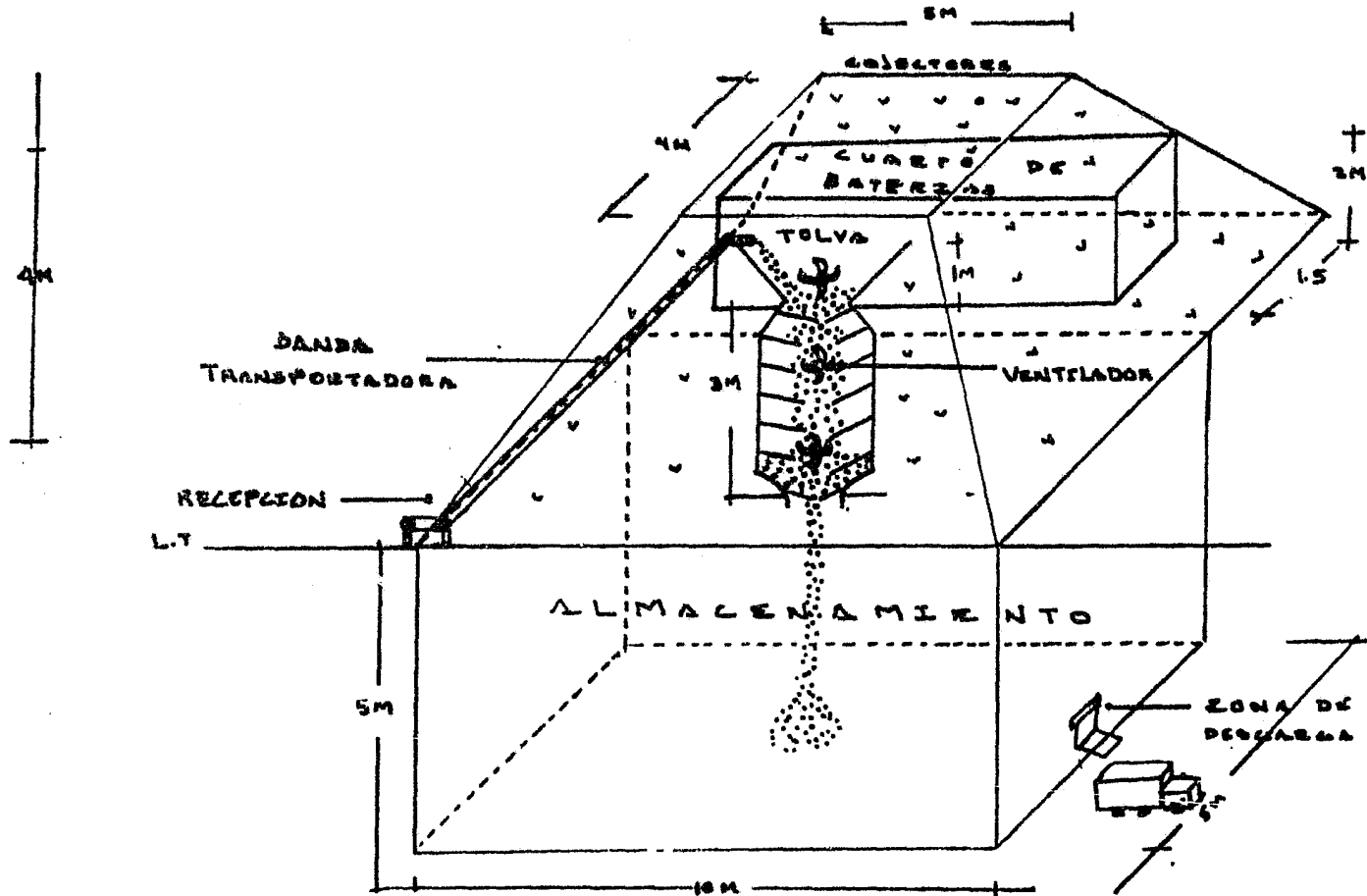
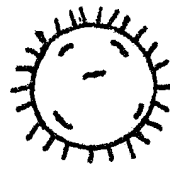
C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -

Su capacidad de almacenamiento total para granos y semillas es de 45.56 m³.

D) CINETICA DEL PROCESO INTERNO. -

Los granos y semillas a almacenarse serán traídos en camiones hasta el lugar de selección y limpieza donde serán descargados, aquí a continuación y por medio de cribas se limpiará al grano, una vez realizada esta operación por medio de una banda transportadora, se llevará hasta la parte alta del silo donde será depositado hasta que las rejillas de registro se abran para introducirlo en la secadora. El principio de calor y ventilación es el mismo que el descrito para la alternativa "A". Una vez secado el grano pasará a un almacenamiento primario, de donde después se le sacará por medio de cangilones para llevarlo a su almacenamiento permanente. El grano se irá sacando paulatinamente de acuerdo a las necesidades existentes con ayuda de una bazuka y equipo neumático de soplado. También se cuenta con acceso al equipo para su adecuada supervisión y mantenimiento. En el interior del almacenamiento permanente se encuentran camas de peso propio, que ayudarán a que no se golpee el grano descargado por los cangilones.

D) PIRAMIDE TRUNCADA



ALTERNATIVA D. -

PIRAMIDE TRUNCADA.

A) CONDICIONES DE ABSORCIÓN DE CALOR EN FUNCIÓN DEL AREA Y SU EFICIENCIA TERMICA. -

Para el diseño mostrado, suponiendo una media de 1 langley/min, durante ocho horas de sol en una superficie piramidal truncada

$$A = (p + p'/2) \cdot a + b + b' = 128 \text{ m}^2$$

tendremos que se reciben 640,000 Kcal/día o 71.68 KWH. Si suponemos una eficiencia del 75% se tendrán: 53.76 KWH.

B) COSTO EN FUNCION DE LOS COLECTORES. -

El costo en función de colectores (tomando como base \$36,000. - como el precio con estructura de montaje para cada 1.6 m²) es de \$2'880,000. -

C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -

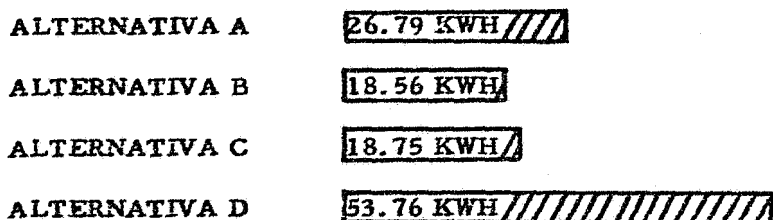
Su capacidad de almacenamiento total para granos y semillas es de 186.66 m³.

D) CINETICA DEL PROCESO INTERNO. -

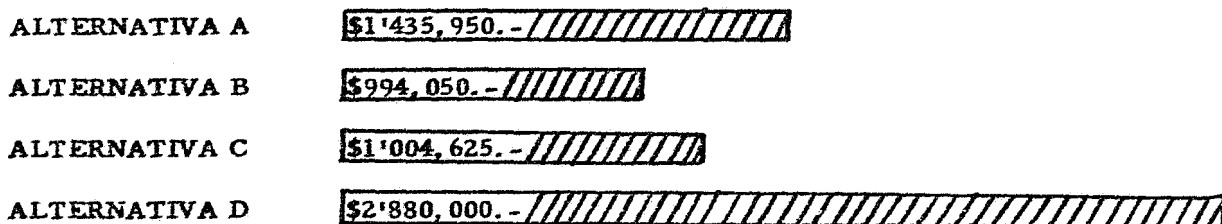
La pirámide puede estar empotrada en una saliente geográfica con el fin de obtener una mayor funcionalidad y una maniobrabilidad de descarga ágil. Los granos y semillas serán transportados hasta nuestra mesa de recepción, situada en la parte lateral del cuerpo por medio de camiones, los cuales depositarán la carga en una banda transportadora que llevará los granos y semillas a la parte alta de la secadora, que consta de una tolva de amortiguamiento para que el grano entre a la secadora suavemente y no se rompa, bajando esté por una serie de contenedores de ángulo a su almacenamiento permanente, de donde será descargado y consumido de acuerdo a las necesidades de la población. El cuarto de baterías localizado en la parte posterior de la secadora proveerá de energía a todo el sistema. La zona de descarga se encuentra en la cara frontal de la pirámide, y tiene un fácil acceso para los camiones de carga.

Del estudio de las diferentes alternativas mostrado anteriormente, podemos obtener una serie de gráficas comparativas que mostramos a continuación:

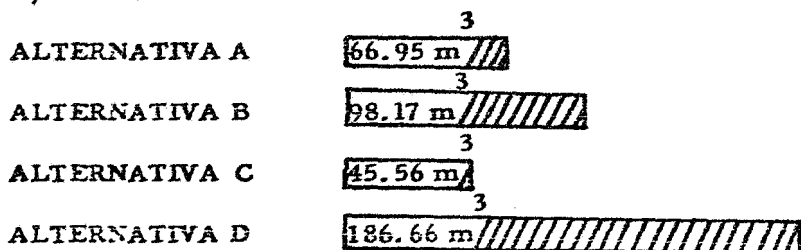
A) CONDICIONES DE ABSORCION DE CALOR EN FUNCION DEL AREA Y SU EFICIENCIA TERMICA. -



B) COSTO ACTUAL RELATIVO EN FUNCION DE COLECTORES. 1



C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -



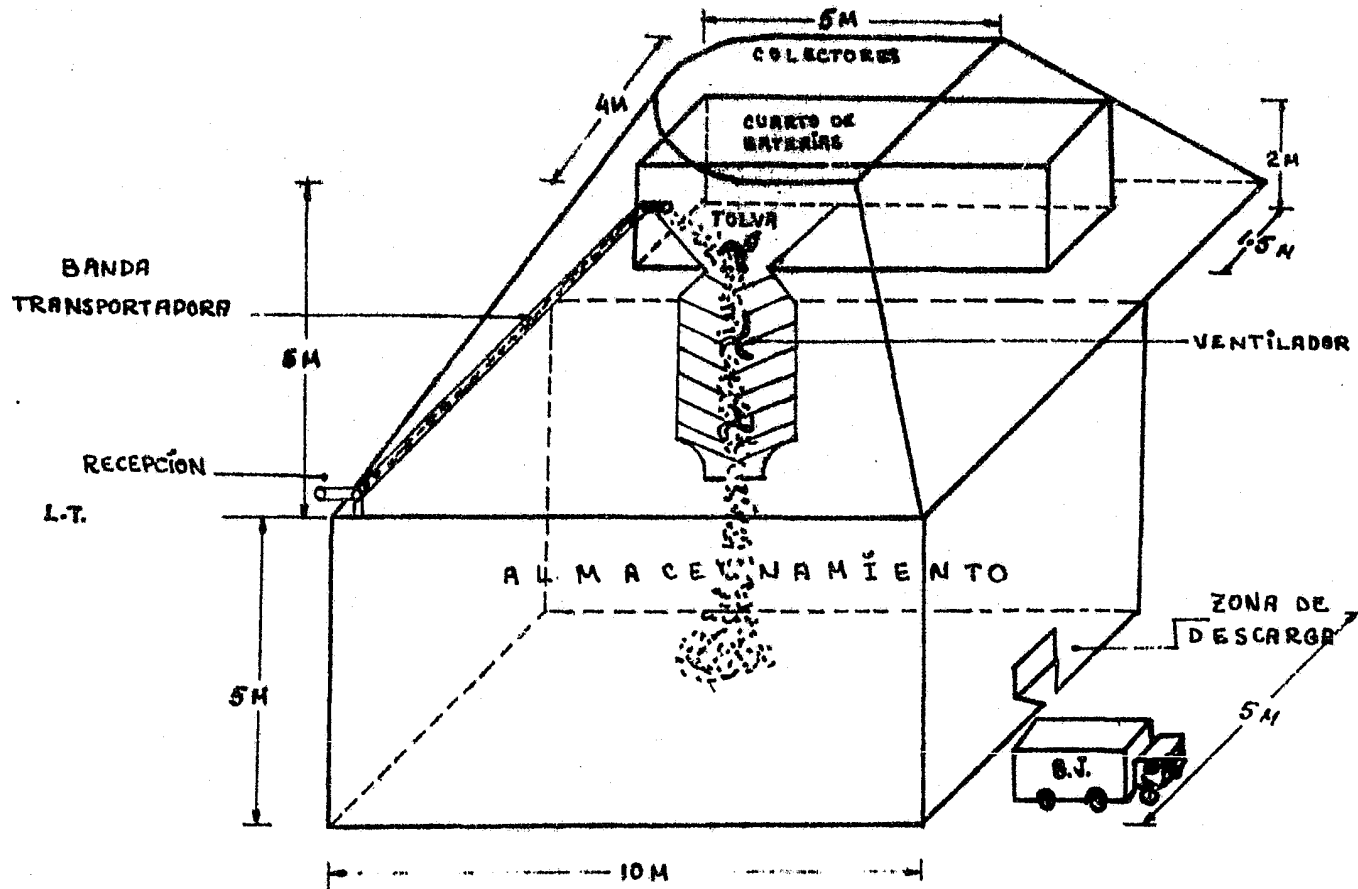
En base a los parámetros seleccionados podemos observar que por el lado de -- condición de absorción de calor en función del área y su eficiencia jerarquizando tendríamos: D, A, C, B; si analizamos el costo actual relativo en función de los colectores la jerarquización será: B, C, A, D; y finalmente por capacidad de almacenamiento se tendría: D, B, A, C.

Como tratamos de encontrar la solución más óptima, tomaremos sólo los parámetros A y C ya que B, como lo estamos mencionando es un tanto relativo ya que estamos considerando un a estructura de acero y vidrios pulidos en la construcción de los colectores que eleva mucho el precio existiendo diversas formas más baratas de hacerlos ya mencio

nadas en anteriores capítulos; en vista a ello y llevando una jerarquización tendremos que: D será la alternativa mejor, luego seguirá A que también es buena, y posteriormente B y C respectivamente que serán regulares.

De lo anterior se nos concibe proponer una unión de las dos mejores alternativas, - creando así una geometría estilizada que aunque no otorgará una buena estetización sí cumplirá con su función de diseño ya que combinará las mejores cualidades de cada una. El desarrollo y estudio se muestran a continuación:

E-) SEMI-COÑO PIRAMIDAL



ALTERNATIVA E. -

SEMICONO-PIRAMIDAL.

A) CONDICIONES DE ABSORCION DE CALOR EN FUNCION DEL AREA Y SU EFICIENCIA TERMICA. -

Para el diseño mostrado, suponiendo una media de 1 langley/min, durante ocho horas de sol en una superficie semicónica-piramidal

$$A = 0.5 (\text{TI r})^2 + 0.5 (l)^2 = 22.31 \text{ m}^2$$

tendremos que se reciben 111,555 Kcal/día o 12.5 KWH. Si suponemos una eficiencia del 75% se tendrán: 9.38 KWH.

B) COSTO EN FUNCION DE LOS COLECTORES. -

El costo en función de colectores (tomando como base \$36,000.- como el precio con estructura de montaje para cada 1.6 m²) es de \$ 803,160.-

C) CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO. -

Su capacidad de almacenamiento total para granos y semillas es de 250 m³.

D) CINETICA DEL PROCESO INTERNO. -

El semicono-pirámidal puede estar empotrado en una saliente geográfica. Los granos y semillas serán transportados hasta muestra mesa de recepción situada en la parte lateral del cuerpo por medio de camiones, los cuales depositarán las cosechas en una banda transportadora la cuál llevará los granos y semillas a la parte alta de la secadora que consta de una tolva de amortiguamiento y contenedores de ángulo en su almacenamiento permanente, de donde se descargará y consumirá según necesidades existentes en el área. La zona de descarga y el cuarto de baterías se encuentran localizados en la misma zona de la alternativa D. y ambos cumplen las funciones para las cuales fueron diseñados.

Como se podrá observar, satisface perfectamente nuestros puntos de vista de estu
dios ya señalados, por lo que enfocaremos todo nuestro desarrollo posterior a esta alter-
nativa en especial, sin hacer a un lado también la sección cónica que posee una amplia di-
fusión en nuestro país y es la más aceptada en el medio rural.

CAPITULO 10. -

SELECCION DE LAS SUPERFICIES DE RADLACION Y SUS MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Una vez que hemos determinado nuestras alternativas de trabajo, debemos proceder a diseñar y seleccionar las adecuadas superficies de radiación para nuestros proyectos, cuidando tener una absorción de calor aceptable y costos relativamente bajos, sin menoscabar la eficiencia y duración de sus construcciones. Es importante señalar que el lograr una combinación de buenos materiales redundará en una mejor operación y un menor mantenimiento, pero también la participación Económica juega un papel importante en éstos momentos de Crisis por los que atraviesa el país.

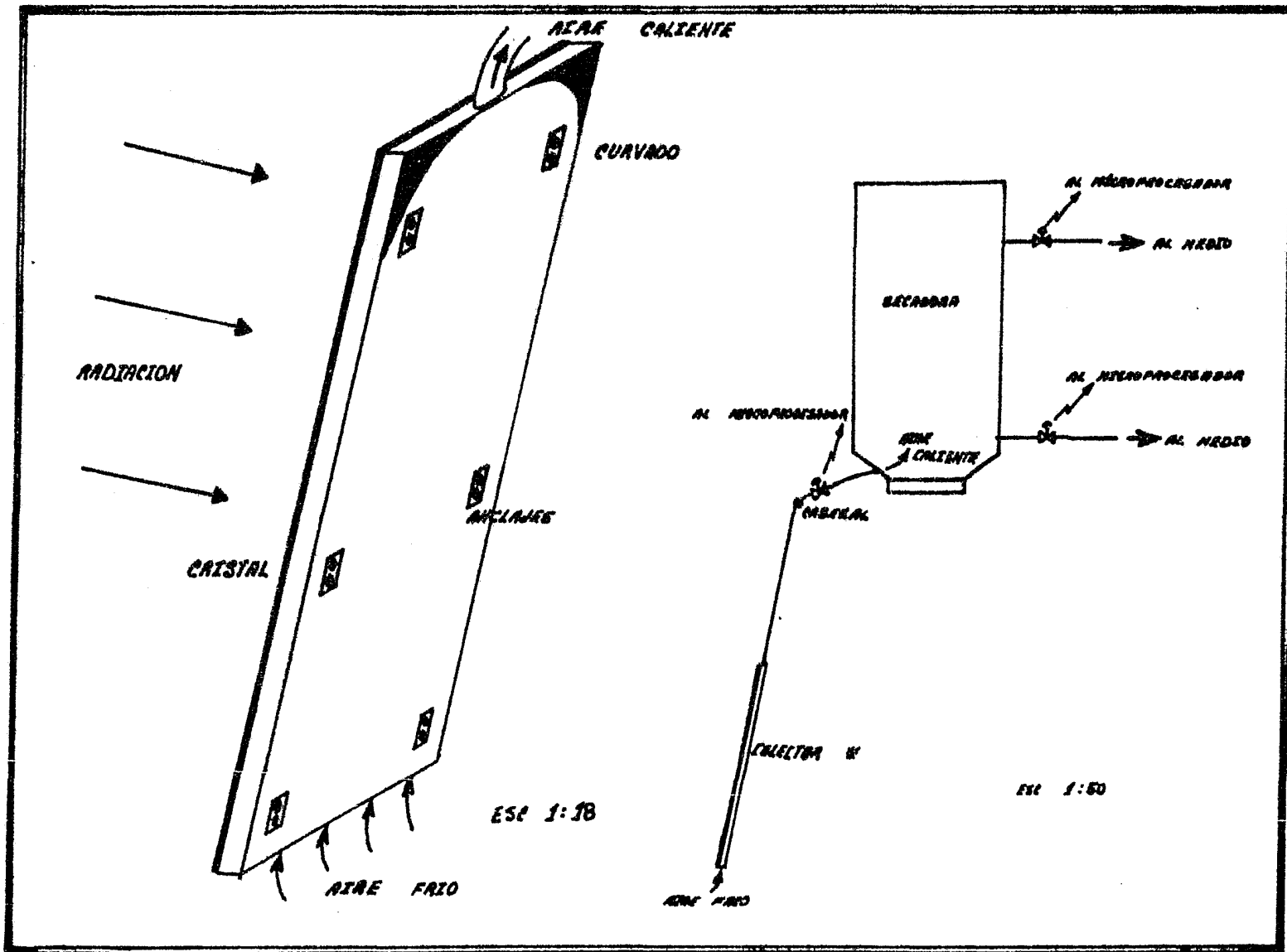
Nuestro estudio lo centraremos primordialmente en tres dispositivos, a saber:

- A) Panel Colector Solar.
- B, Tanque de la Secadora de Grano.
- C) Celdas Fotovoltaicas.

En cada uno de ellos mostraremos el diseño, mencionaremos cada una de sus -- partes, y recomendaremos algunos materiales para su construcción.

A) PANEL COLECTOR SOLAR. -

Su diseño es bastante sencillo, consta de dos partes: una caja de madera que conforma la base, curvada interiormente en uno de sus extremos para realizar un efecto de tobera, dándole velocidad al aire que circula; y libre en el otro extremo con ranuracio-- nes para permitir la entrada del aire al cajón. La superficie interna se encuentra completamente enegrecida y bien sellada, en la parte posterior se tienen los apoyos para los anclajes y una cubierta de vidrio que va a ser la captadora y concentradora de los rayos solares. El espacio intermedio puede variar de 3 a 6 cms. para lograr temperaturas de --
o
45 a 75 C en el aire de salida. La siguiente ilustración nos dará una mejor idea.



Existe una gran diversidad de materiales que podemos usar en su construcción, - los cuales han sido mencionados en anteriores capítulos. Sin embargo en la optimización de construcción que pretendemos realizar, podemos tener la factibilidad de los siguientes:

* Para la caja de madera podemos utilizar: MADERAS DURAS como: Encino, Poble, Ófmo, Haya, Castaño, Fresno, Eucalipto, Sabino, Ahuehuete, Tamarindo, Tepehuaje, Quebra-Hacha, Palo de Hierro, Amate, Capulín. MADERAS RESINOSAS como: Cedro, Pino, Ocote, Tecote, Oyamel, Ciprés, Mezquite. MADERAS TROPICALES como: Chacah, Xpa sak, Sac-Chacah, Chechem, Dzalam, Granadilla, Pimientillo, Chacté, Yaxnic, Chacete.

* Para la cubierta de vidrio: Vidrio Medio Doble, Vidrio Doble de 4 mm, Vidrio de 5 mm. Vidrio de 6 mm, Vidrio Difusor (Plaquett).

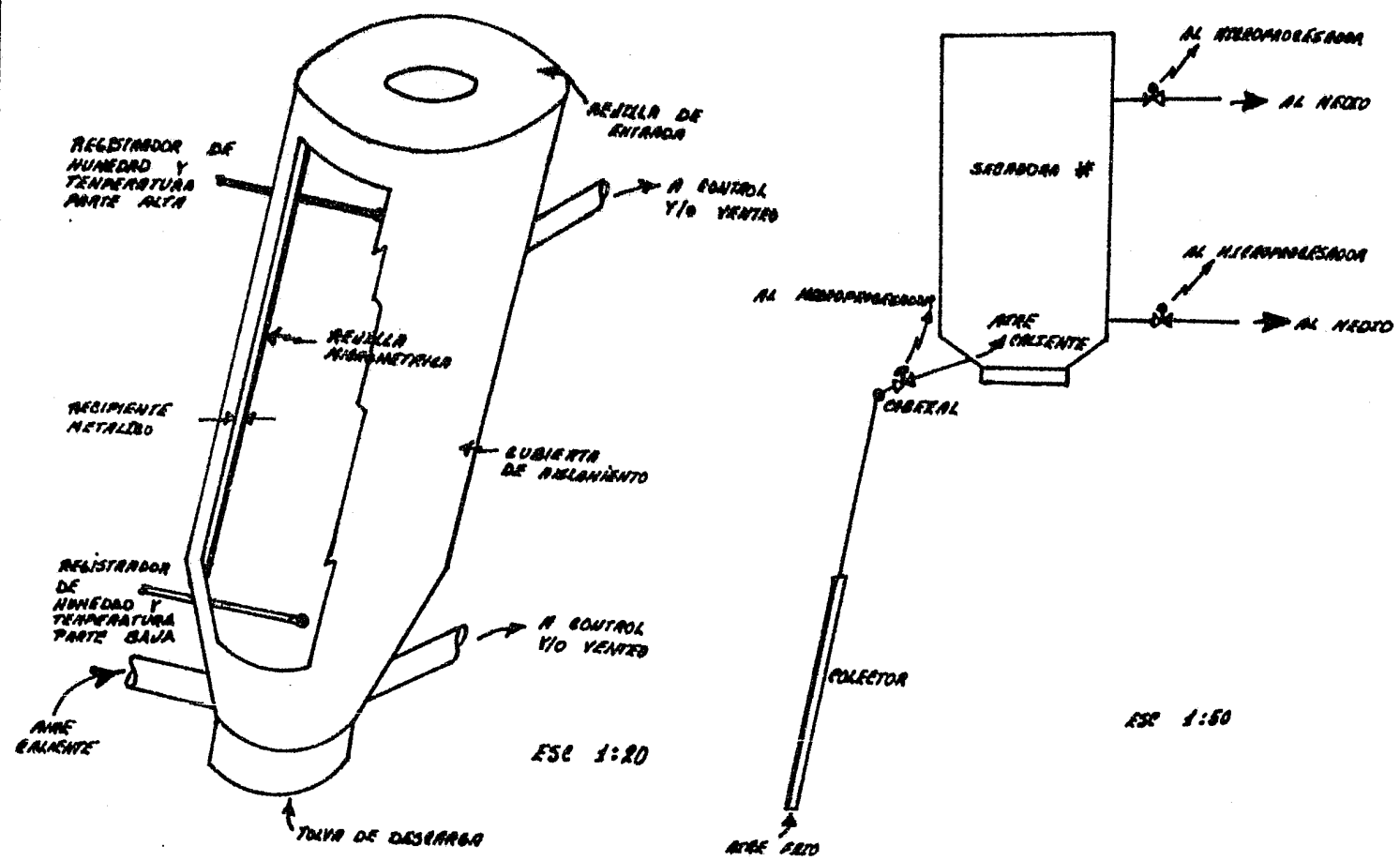
Nuestras recomendaciones las inclinamos por: Madera resinosa de pino y Vidrio de 5 mm; ya que son los más comerciales y de relativo bajo costo de adquisición.

Cabe hacerse mención que la madera resinosa de pino la podemos usar en dos formas, a saber: triplay o fibracel.

B) TANQUE DE LA SECADORA DE GRANO. -

Su diseño al igual que en el dispositivo anterior es muy sencillo, consta de cuatro partes: el recipiente metálico contenedor del grano que es ligero pero de buena resistencia mecánica y térmica; una rejilla micrométrica que permite la entrada y circulación del aire caliente a través de todo el recipiente; la cubierta de aislamiento del recipiente metálico que nos ayudará a conservar el calor y nos dará lecturas más precisas de las condiciones internas del proceso; y las boquillas de alimentación, descarga, entrada del aire al proceso, venteos, y partes terminales de los registradores de humedad y temperatura.

La siguiente ilustración nos da la mejor idea de lo anteriormente expresado.



REGISTRADOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARTE ALTA

RESIPIENTE METÁLICO

REGISTRADOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA PARTE BAJA

AIRE CALIENTE

REJILLA DE ENTRADA

TUBO DE DRENAJE

A CONTROL Y/O VIENTO

A CONTROL Y/O VIENTO

SEBADO #

AIRE CALIENTE

COLECTOR

AL HIGROMÓMETRO

AL MEDIO

AL HIGROMÓMETRO

AL MEDIO

ESC 1:20

ESC 1:50

AIRE SECO

Con respecto a los materiales que podemos utilizar para la construcción del tanque de la secadora de grano existe un gran número de ellos; los cuáles podemos optimizar en los siguientes:

≠ Para el recipiente metálico, las boquillas, y la rejilla micrométrica: Acero Inoxidable, Inconel, Cupro-Niquel, Monel, Acero Forjado, Plomo, Niquel, Hojalata, Bronce, Almiralty, Cobre, Aluminio.

≠ Para la cubierta de aislamiento: Asbesto, Lana mineral, Vidrio, Fibra de vidrio, Silicato de calcio, Silicato de Potasio, Madera.

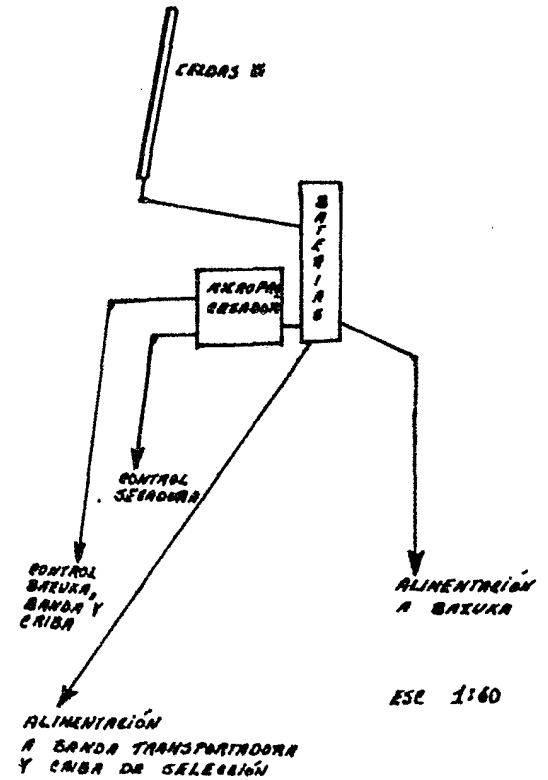
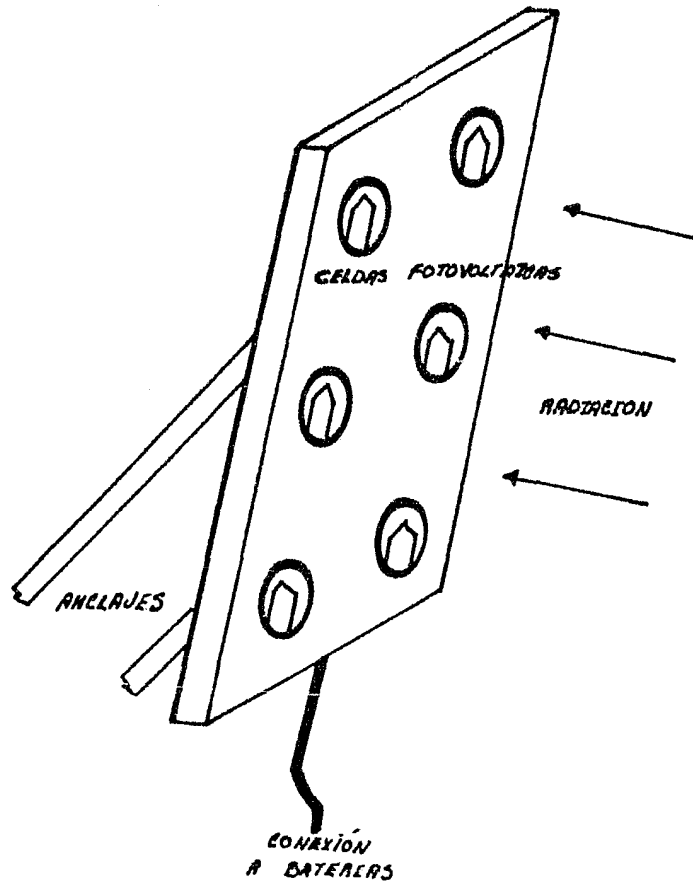
Nuestras recomendaciones las inclinamos por: Acero Inoxidable y Fibra de Vidrio, debido a que son bastante comerciales, de relativo bajo costo de adquisición, y de buena resistencia mecánica y térmica.

Debe señalarse que con respecto a las tuberías convergentes y divergentes del tanque de la secadora, deberán ser de cobre con diámetros de 1/2 pulgada y con aislamiento de fibra de vidrio.

C) CELDAS FOTOVOLTAICAS. -

Son compradas en los paneles requeridos para cada tipo de proyecto específico y según el número deseado. Regularmente se tienen paneles de varios tipos de dimensiones pero el de uso más generalizado es aquel que tiene 1 metro de largo x 40 cms de ancho; y que en su parte posterior posee ménsulas de anclaje para su fijación. Interiormente se encuentran interconectadas para suministrar la energía hasta las baterías, las que a su vez alimentarán al microprocesador, la banda transportadora, la criba selectora y la bazuka de descarga respectivamente.

La siguiente ilustración nos dará una idea más clara de su composición y localización:



ESE 1:60

En la elección del tipo necesario de células fotovoltaicas para la transformación de Energía Solar a Energía Eléctrica, debemos de consultar con los respectivos catálogos de productores de las mismas: entre los de más renombre encontramos los siguientes: -- Custom Solar Heating Systems Co. , Energy Alternatives, Inc. , The Energy Factory, Mid -Western Solar Systems, Northern Solar Power Co. , International Solar Technologies, Inc, Solar Southwest, Solar Industries Inc. , Sun Craft. Todos ellos nos señalan a usar las -- nuevas celdas de alto poder que nos proporcionan cada una 45 volts a 700 miliampers, y -- poseen una superficie de 2 centímetros cuadrados. Para el proyecto desarrollado bastará usar una serie de seis de ellas interconectadas que nos darán la energía necesaria para -- el funcionamiento alternado de la banda transportadora, la criba de limpieza, la bazuca -- de descarga, la función del microprocesador y sus respectivas operaciones de control. -- Para tener la energía disponible contaremos con un banco de baterías que almacenarán -- la energía sobrante y la suministrarán en el momento necesitado.

BIBLIOGRAFIA.

- Barbará Z. Fernando. - Materiales y Procedimientos de Construcción. - 2a. Edición. Ed. Herrero. Tomos I y II.
- Inco's Development Research División. Heat Transfer Through Metallic Walls. - Technical Paper.

CAPITULO 11. -

INTEGRACION DEL PROYECTO EN SUS FASES DE DISEÑO DE EDIFICIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE SECADO.

Podemos decir que el presente capítulo es la consecución final de los diferentes diseños que se han ido presentando a lo largo de la presente tesis. A manera de recordatorio se tendrán a desarrollar completamente dos proyectos que fueron los aprobados en la evaluación:

1. - Silo Semicónico Piramidal.

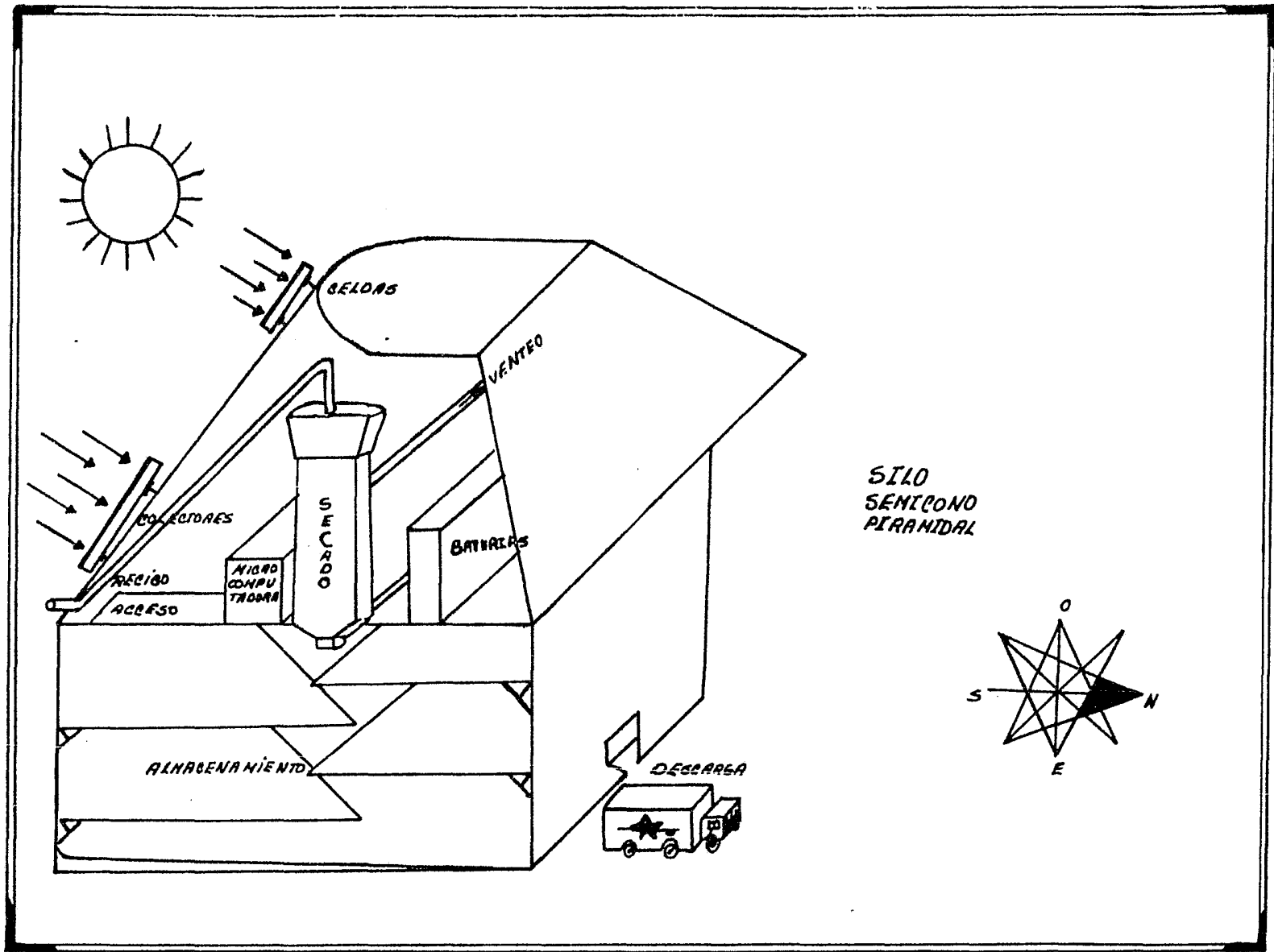
2. - Silo Cónico Circular.

Lo anterior en cuanto a construcción se refiere. En lo relativo al diseño del sistema de secado tendremos que será el mismo en ambos proyectos y cuyo funcionamiento describiremos más detalladamente a continuación:

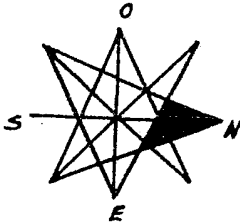
La base de éste sistema de secado se encuentra constituida primordialmente por cuatro colectores solares planos y un panel de celdas fotovoltaicas, las cuales suministran el ai re caliente y la energía para que funcione todo el sistema. Debe recordarse que ambos dispositivos de captación solar, deberán ser orientados para fines de uso en la República Mexicana, preferentemente en orientación hacia el Hemisferio Sur que es donde se da la mayor zona de incidencia de los rayos solares y con un ángulo de inclinación igual a la latitud de su emplazamiento más 10 o 15 ^o, logrando así que el colector esté perpendicular a los rayos solares y capte una mayor radiación. Las celdas fotovoltaicas se encontrarán conectadas a una serie de baterías donde se almacena la energía eléctrica que después será utilizada en los diversos procesos de secado y almacenamiento de los granos y semillas. Por otro lado los interconectores de los colectores se encuentran unidos a un ca bezal de donde pasa el aire caliente a la secadora a través de una tubería aislada para e vitar la pérdida de calor, entrando al tanque de la secadora por la parte baja. Al tanque de la secadora llegan el aire caliente y las unidades de registro de humedad y temperatura localizadas en las partes alta y baja respectivamente, que comunican los estados --

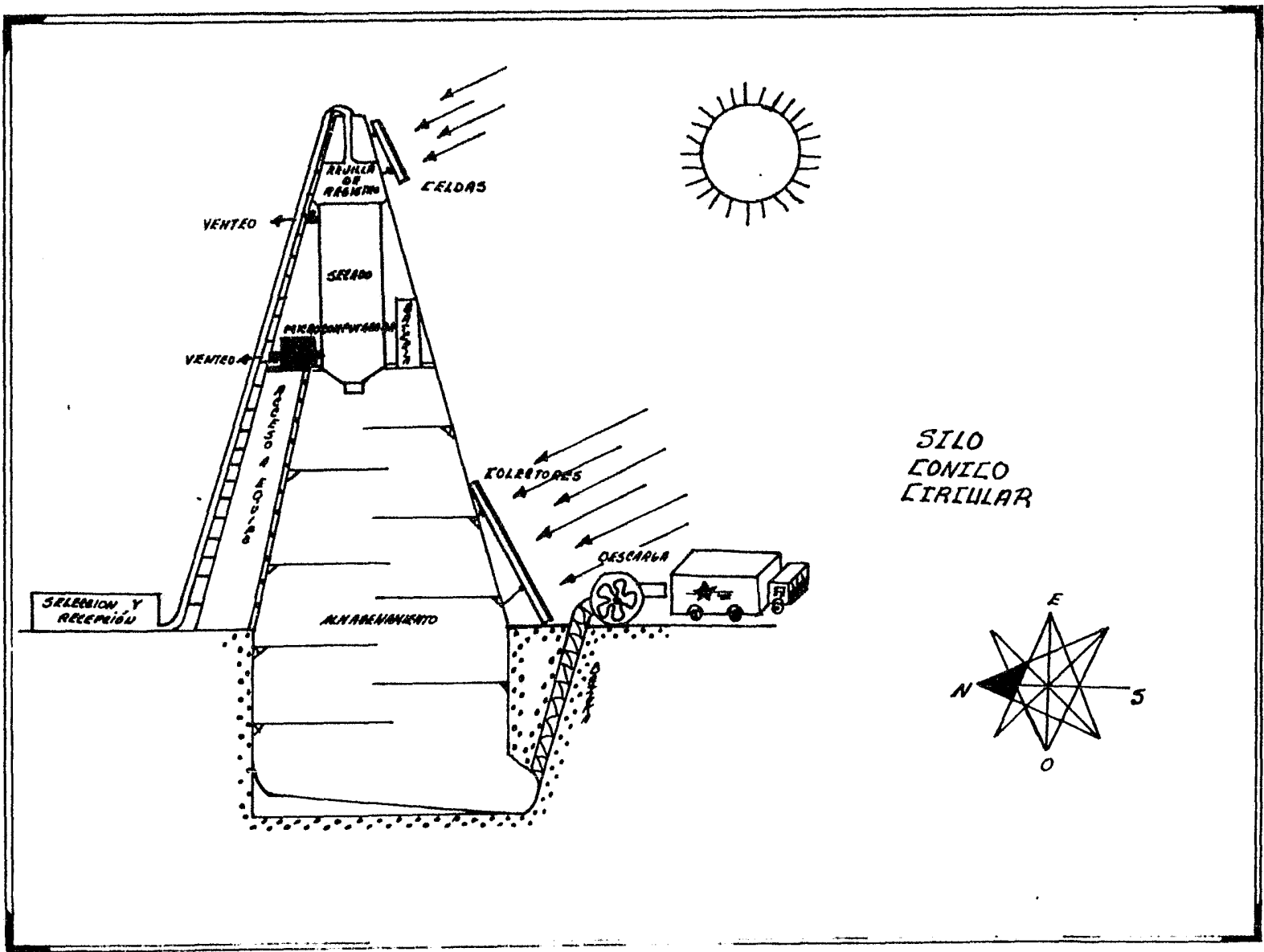
presentes a la microcomputadora; y salen dos tuberías de venteos que poseen válvulas accionadas por el controlador de la misma; además de las tolvas de carga y descarga del grano. Regresando a la serie de baterías éstas alimentan a los motores de cribado, de la banda transportadora, y de la bazuka de descarga; además, la microcomputadora con una fuente rectificadora de Corriente Directa. Finalmente llegamos a la microcomputadora que es el cerebro de todo el diseño y la cuál controla el proceso de secado del grano por la remoción de humedad del mismo tal como lo hemos mencionado en el Capítulo 4 y cuya ampliación podemos encontrar en: The Development of a microprocessor based control System for Solar-Assisted Grain Driers by Roy Clifford Harrel; está controla desde que el grano es vaciado y limpiado en la criba, su ascenso por la banda transportadora, su admisión a la secadora, el secado del grano a lo largo de los días empleados para efectuar el proceso, su descarga al almacenamiento, y su salida final hacia el mercado, haciendo uso de una bazuka neumática. Todo lo anterior hace constatar que el proceso es casi completamente autónomo.

Todo lo anteriormente mencionado lo podemos conjuntar e integrar en un solo proyecto, cuya representación esquemática para cada una de las dos opciones escogidas será:



SILO
 SENTONO
 PIRAMIDAL





Las dudas y detalles que no se alcancen a observar en los anteriores diagramas - serán resueltas por medio de la observación visual de los modelos presentados adjuntamente a éste trabajo, con la certeza de que despejarán cualquier tipo de problema a los lectores asiduos del mismo.

CAPITULO 12. -

PROYECCION Y ASPECTOS SOCIO-ECONOMICOS DEL PROYECTO. -

En la actualidad México y otros países del mundo están sufriendo una baja en sus respectivas producciones agrícolas, que podemos relacionar con los siguientes aspectos: la necesidad de importar alimentos básicos, el incrementó de las demandas agrarias por parte de los campesinos, la multiplicación de las invasiones de tierras particulares, y - las acciones del estado, para enfrentar estos hechos.

Desde 1965 en México, la producción agrícola creció más lentamente que la po-- blación, haciendosé necesario que a partir de 1972 se importáran trigo, maíz y frijol en - cantidades considerables para suplir la demanda alimenticia. El neolatifundio mexicano, ante está crisis de grandes proporciones, fue abandonando paulatinamente los cultivos de exportación en muchas zonas del país. El algodón, que por muchos años fue el renglón - más importante en las ventas de productos al exterior, desapareció en grandes áreas i-- rrigadas del país y se substituyó por oleaginosas o forrajes para el consumo interno con precios subsidiados. El azúcar, otro de los productos de exportación, también recibió - subsidios de importancia, dejando de venderse al exterior cuando los precios ascendían. Las hortalizas y frutas, casi todas controladas por empresas multinacionales también se han visto afectadas. Los cultivos que se han realizado para alcanzar el déficit alimenta- rio, se producen a precios más altos que los internacionales y son totalmente mecaniza- dos, sin asegurar las mejores condiciones de rendimiento, calidad y madurez de los pro- ductos cosechados. Aunado a ésto la falta de almacenes y bodegas para el manejo adecua- do de los productos, así como la falta de técnicas apropiadas de secado; provocán grandes pérdidas por podrimiento, infestación, plagas, roedores, etc., que merman la cantidad - y calidad de los insumos agrícolas, además de que la curva de balance pierde mayormen- te su pendiente de igualación, que dará como resultado la mayor necesidad de importación.

El descenso en la demanda de trabajo y en los salarios reales en el campo afectó con brutalidad a los campesinos del país, provocando una enorme demanda agraria de --

los mismos. Las obras públicas en el campo aparecieron como una nueva y limitada alternativa de ocupación temporal para el campesino, sin embargo su efecto fué muy limitado y su situación básica no se modificó grandemente. La contracción del empleo y su remuneración más baja canalizó los esfuerzos de los campesinos hacia su propia tierra y su cultivo, tratando de lograr apoyos más grandes por parte del estado a través del crédito, de la asistencia técnica, y sobre todo del aparato de comercialización.

Para el campesinado su producto agrícola, no es solo para venta sino también el principal objeto de consumo, es decir que igual lo vende que lo compra. Pero no lo hace a precios iguales: en buena parte del país, el producto en el momento de cosecha vale la mitad de lo que cuesta en tiempo de escasez; una diferencia estacional del 100%. Por esto los campesinos no han dejado de sembrar, pero si han limitado la superficie cultivada en busca de que su cosecha se ajuste a su propio consumo y alcance para pagar las deudas que adquirieron para plantarlo. Procurán salirse del mercado, en el que participan por fuerza con sus deudas y evitar la producción de un excedente. Esta actitud explica en buena medida el déficit en la producción nacional.

Pese a todo, frente a las condiciones críticas, los campesinos se han vuelto más dependientes de su propia tierra y de su trabajo, para seguir viviendo igual o un poco -- peor. El complemento que pueden obtener vendiendo su fuerza de trabajo sigue siendo -- indispensable, pero es todavía más inseguro que los altos riesgos que se aceptan en la agricultura, que al fin dependen de su propio esfuerzo y no del comportamiento errático de los compradores de trabajo en el país o fuera de él. En estas condiciones la presión sobre la tierra en que está fincada la supervivencia, se ha hecho más intensa. Los límites territoriales se han hecho más severos frente a la demanda de los campesinos para intensificar su propia actividad como cultivadores para su propio abasto y para el mercado. La crisis agrícola es al mismo tiempo una profunda crisis agraria.

Por otra parte, mientras que los campesinos se encuentran atomizados y desorganizados como peones vendedores de fuerza de trabajo, las invasiones de tierra han cons-

tituido uno de los fenómenos más trascendentes e importantes. Algunas han sido auspiciadas por intereses particulares y mezquinos de políticos locales o hasta propietarios que quieren repartirse las tierras del vecino, pero muchas más las han organizado los mismos campesinos para cumplir por su cuenta con las promesas o trámites discretamente olvidados. Muchas de las llamadas invasiones campesinas no han sido más que la recuperación de tierras ilegal y a veces brutalmente invadidas por caciques particulares. Otras han sido actos políticos destinados a llamar la atención sobre situaciones ilegales disfrazadas o manifiestas. La mayoría de las invasiones tienen una sólida base de legalidad y casi todas tienen un fuerte fundamento de justicia escamoteada por muchos años de contra-reforma agraria.

Todo lo anterior ha sido enfrentado por el gobierno con dos grandes líneas de acción: la inversión pública y el esfuerzo por organizar a los campesinos en empresas agrícolas modernas bajo el control directo del estado en un programa llamado Sistema Alimentario Mexicano. Las inversiones públicas estadísticamente destinadas al sector agropecuario crecieron espectacularmente, hasta significar el 20% del gasto total, el propósito evidente y declarado era reactivar el sector en el que la formación de capitales era muy baja y recaía mayoritariamente sobre inversiones del mismo sector. Conviene señalar que no todo este gasto atribuido al sector agropecuario llegó al campo. Una parte muy importante quedó en manos de la enorme y boraz burocracia agrícola y agraria, llegando a ser tan oneroso como una catástrofe natural para el campesinado. Otra parte muy importante del gasto se destina a subsidiar al consumo urbano y algunas industrias elaboradoras de productos primarios. Casi todas las importaciones de productos agrícolas tuvieron éste objetivo y muy pocos de los granos importados se consumieron en el campo. Si estas cifras se descuentan, el volumen de gastos sería muy diferente.

Existe otra parte muy considerable de la inversión pública en el mismo sector, dedicada a la construcción, rehabilitación y operación de las grandes obras de irrigación que actúa en favor de los neolatifundistas y de las grandes empresas públicas en el cam-

po; los contratistas se llevan su tajada habitual. Finalmente una parte muy pequeña de la inversión pública llegó a los campesinos por caminos muy largos y siempre retorcidos - por múltiples intermediarios. Se han hecho obras locales, que si bien no han tenido efectos sobre la producción, ocupaban gente que percibía el salario mínimo, fenómeno poco frecuente en el campo. En algunas partes se construyeron obras de irrigación en pequeña escala que creaban más tierra o más trabajo. En otras se han hecho industrias rurales - que también significan ocupación. En fin, algunas migajas llegaron a los campesinos y -- contribuyen en menor escala a paliar la situación. Estas pequeñas inversiones revelan, - pese a su debilidad, una búsqueda de soluciones por parte del estado e implican el reconocimiento del fracaso del modelo de desarrollo agrícola del país.

Con respecto al esfuerzo por organizar a los campesinos desde arriba en grandes unidades en busca de una mayor eficiencia productiva, esta acción esta amparada en una palabra de gran resonancia emotiva: colectivización. Bajo éste rubro se realizán muchas acciones diferentes tendientes al apoyo de los campesinos. La más deseable es la organización de grandes unidades agrícolas administradas por el estado para funcionar sobre - las mismas bases que el neolatifundio privado con capital, mecanización, administración descentralizada- aunque se repartán las utilidades entre un número más amplio de personas. Con éste tipo de empresas a escala se pretende extender la producción comercial - para atender las demandas del sector industrial y urbano de la economía.

Es en éste último punto donde encaja el proyecto presentado, ya que interviene en la consecución del funcionamiento de las grandes unidades agrícolas para lograr por medio de la automatización en el secado y almacenamiento de los insumos agrícolas una mayor obtención de ganancias sobre la venta de los mismos, que como es lógico suponer repercutirá directamente en un mayor reparto de utilidades ente los campesinos y subsiguientemente una mejor condición de vida para ellos y sus respectivas familias.

BIBLIOGRAFIA. -

-Problemas de alimentación y campesinado en México. - Warman, Arturo. - Ed. Nuestro tiempo. Octava Edición. 1981. -

-Como muere la otra mitad del Mundo. Las verdaderas razones del Hambre. - George Susan. Ed. Siglo XXI Editores. - 1979.

CONCLUSIONES. -

México es un país privilegiado, ya que se encuentra situado en las zonas de mayor asoleamiento mundial y excelente producción agrícola. Al analizar primeramente las características de intensidad y duración de la radiación solar percibida, puede constatarse que la Energía Solar Disponible en el territorio nacional, representa un recurso inmenso e inagotable, capaz de suministrar en la medida que el grado de tecnología de aprovechamiento y conversión permitan, un gran porcentaje de los requerimientos en energéticos tanto domésticos como industriales. En lo relativo a las condiciones favorables para excelentes producciones agrícolas, puede demostrarse que México es un país propicio para ello debido a la gran diversidad de climas que posee, a la fertilidad de sus tierras, a la fluencia de sus ríos, y sobre todo a la puntualidad de sus ciclos estacionales.

Debemos señalar que el tema que hemos tratado relativo al secado de granos y -- semillas solo será el antecedente para llevar a cabo el de otros productos agrícolas y alimenticios. El diseño de construcción recomendado se basa en la aplicación conjunta de los principios de termocirculación del aire y radiación de calor, los cuales han sido ilustrados de una manera sencilla, sin olvidar que para su funcionamiento eficaz y utilidad práctica, será necesario el tomar previamente consideraciones y cálculos de otros factores involucrados (capacidad térmica, orientación, transferencia de calor, velocidad de circulación, tiempo de exposición, etc.) ya que de no llevarlo a cabo, involucraría -- por simples que parezcan éstos principios de funcionamiento, que se pudiera fracasar irremisiblemente al tener un efecto de climatización contrario al presupuesto; o en su defecto y en el mejor de los casos, un funcionamiento deficiente de todo el proyecto.

Finalmente debemos recalcar que quedan abiertas un sinnúmero de posibilidades de mejorar los diseños expuestos; que deberán continuar la labor desempeñada hasta ahora, y tendrán como objetivo fundamental el desarrollo de la Energía Solar como fuente alterna de Energía y su aplicación hacia un mejor desarrollo de nuestra Nación.

BIBLIOGRAFIA GENERAL. -

- Anderson, J. E. 1936. Some facts concerning vacuum-oven moisture determination. *Cereal Chem* 13.
- Barbará Z. Fernando, *Materiales y Procedimientos de Construcción*. Tomos I y II. 2a. Edición. Ed. Herrero. 1980.
- Blytas, G. C. Investigación no publicada acerca del almacenamiento y calefacción de granos. 1982.
- Brauer, O., y Ramírez Genel M. 1960. El totomoxtle como protector de la mazorca. *Agricultura Técnica en México*. No. 7. Págs 14-15.
- Clifford Harrel Roy. 1980. The development of a microprocessor based control system for solar-assisted grain driers. A thesis submitted to the graduate faculty of the University of Georgia in Partial Fulfillment of the requirements for the degree Master of Science.
- Cook, W. H., J. W. Hopkins, and W. F. Geddes. 1934. Rapid determination of moistures --- grain comparison of 130 C air oven and Brown-Duval methods with vacuum oven method. *Can. Jour. Research*, 11.
- Davis, Walter H. and J. A. Shute. 1954. Artificial drying by selected elevators. General Report 4, FCS, U. S. D. A., Washington, D. C. Mayo.
- Edlin, F. E. y Wilauer, D. E., *Plastic films for Solar Energy applications*, ibed., E35s6# 33
- George Susan. *Como muere la otra mitad del mundo. Las verdaderas razones del hambre*. Ed. Siglo XXI Editores. 1979.
- Goldstein, M. Some physical-chemical aspects of heat storage.
- Hall Carl W. 1949. *Heating ventilating air conditioning guide*. ASHVE. New York 10, N. Y.
- Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural Engineering*. Willey and Sons, New York.
- Herum, F. L. and K. K. Barnes. 1954. What's the best way to drier grains. *Sci. 9. Iowa Agricultural Engineering Experiment Station*. July.
- Heywood, H., Simple instruments for the assesment of daily solar radiation intensity en.

- U. N. CONF. on New Sources of Rnergy, E 35-59, Roma 1961.
- Holman, Leo. E. 1955. Aereation of stored grain. Agricultural Engineering 36. October.
 - Hottel, H. C. , y Whillier. A evaluation of solar collectors performance, ibid, pp. 74.
 - Hukuo, N. , y Mii, H. , Design problems of a solar furnace. Solar Energy, 1:108-14.
 - Inco's Development Research Division. Heat transfer through metallic walls. Tecnical Pa per. 1980.
 - J. E. E. 1957. Insect problems in the marketing of agricultural products. Reimp. August.
 - Maddex, R. L. and Carl W. Hall. 1954. Drying grain with forced air. Ext Bull. 316. Michigan State University. November.
 - Mathur, K. N. of Solar Energy. Use for heating purposes, Heat Storage. United National - Conference on New Sources of Energy.
 - Michael F. Broder, George H. Foster, Kevin D. Baker. 1979. Management and Control of solar collector heat storage grain drying systems. American Society of Agricultural Engi- neers. Paper No. 79-3529. December 11-14.
 - Ortega Alejandro y Rodolfo Quintana. 1960. Como proteger su cosecha contra las plagas. S. A. G. , O. E. E. Cir. El horno No. 3.
 - Oxley, T. A. 1945. The spontaneaus heating of stored cereals. Jour, Royal Coll, Sci , 15.
 - Oxley, T. A. 1958. The scientific principles of grain storage. Northern Pub. Co. Liverpool
 - Perez Simmons. 1964. An outline of recent progress in stored products entomology. Jour- nal Econo. Vol 57, No. 1. Febrero.
 - Pflug, I. J. and D. H. Dewey. 1955. Controlled atmosphere storage. Agricultural Enginee- ring 36. Págs. 171-176. March.
 - Ramírez Genel Marcos. 1976. Almacenamiento y Conservación de Granos y Semillas. Cía Edit. Continental, S. A. Págs 35-66.
 - Robinson, R. N. , W. V. Hukill, and G. H. Foster. 1951. Mechanical ventilation of grain. Agri cultural Engineering 32. Págs 607-629. November.
 - Schoffer, P. , Kuhn P. , y Sapsford C. Instrumentation for Solar Radiation Measurement, en U. N. Conf. on New Sources of Energy E515s#92. 1961.

- Selcuk, I. , y Yellott, J. L. , Measurements of direct, diffuse and total radiation with silicon photovoltaic cells, *Solar Energy*. 315s**63. 1962.
- Seybolt, R. , Report Solar Energy Laboratory, Universidad de Wisconsin.
- Seybolt, R, Fusible salt and nitrogen dioxide adsorption for utilizing solar energy.
- Solar Age. February, March, May, June. 1983.
- Speyer, E. Solar buildings in Temperate and Tropical climates.
- Stam, H. Cheap but practical solar kitchens.
- Sun Angle Calculator, Toledo, Ohio, Libby, Owens, Ford Glass Co. , 1950.
- Suomi, V. E. y Kuhn P. M. , and Economical Net Radiometer, *Tellus*, 10(1):168. 1958. Also *Quarterly Jour. Royal Meteorological Society*, 84:134. 1958.
- Tabor, H. Large area solar collector, *Solar Ponds for Power Production*.
- Tanner, C. B. , Businger, J. A. , y Kuhn, P. M. The economical net radiometer. *J. Geophys. Research*, 65:3567. 1960.
- Telkes, M. Solar heat storage. *Solar Energy Research*. F. Daniels, Madison, University of Wisconsin Press.
- Telkes, M. Solar House Heating. A problem of heat storage. *Heating and Ventillating*.
- Telkes, M. Nucleation of supersaturated salt solutions.
- Threlkeld, J. L. , and Jordan, R. C. Solar collector studies at the University of Minnesota, *ibi.*, pp 105-14.
- Tonne, F. Optico-graphic computation of insolation duration and insolation energy, en -- *Transf. Conf. Use of Solar Energy; Scientific basis*, 1:104-12.
- Tuff, D. W. y Telford, H. S. 1964. Wheat fracturing as affecting infestation by *criptolestes ferrugineus*, *Jour. Econ. Ent.* Vol 57. No. 4 August.
- Tuite, John F. and Christensen, Clyde M. 1955. Grain storage studies. XVI Influence of storage conditions upon the fungus flora of barleyseed. *Cereal Chemistry*, vol XXXII, No. 1 January.
- U. S. Weather Bureau, University of Wisconsin Annual Report 1957. Se pueden conseguir detalles del proyecto de la oficina Meteorológica de Naciones Unidas. Dpto. de Meteorología

logía de la Universidad de Wisconsin, Madison, Wis.

-Von Loesecke, H. W. 1955. Drying and dehydration of foods. Reinhold Pub. Corp., N. Y.

-Ward, T. G. Possibilities for the utilization of Solar Energy in Underdeveloped Rural Areas, FAO., Naciones Unidas, 1961. pp 17-35.

-Warman, Arturo. Problemas de alimentación y campesinado en México. Ed. Nuestro -- tiempo. Octava Edición. 1981.

-Watters, F. L. 1963. The cooling of heating grain by transfer during cold weather. Jour. Econ. Ent. Vol 56, No. 2 April.

-Weinberger, H. The physics of the solar pond. Solar Energy.

-Zeleny, Lawrence. 1954. Methods of grain moisture measurement. Agr. Eng. 35. April.
