

47/105

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE
GRANO UTILIZANDO LA RADIACION
SOLAR.



JESUS SAUL DE LEON VIVAR.

INGENIERO QUIMICO

1979.



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.

TESIS 1979
LDC M.C.
FECHA 188
PRGO
1



JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE :

PRESIDENTE : EMILIO BARRAGAN HERNANDEZ

VOCAL : ALFONSO MONDRAGON MEDINA

SECRETARIO : VICENTE RIVERA MORAS

1er. SUPLENTE : CLAUDIO AGUILAR MARTINEZ

2do. SUPLENTE : ERNESTO PEREZ SANTANA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

ASESOR DEL TEMA : VICENTE RIVERA MORAS

SUPERVISOR TECNICO : HERNANDO GUERRERO CAZARES

A mis padres:
Saúl De León Vázquez y
Dolores Vivar de De León
por su comprensión y apoyo.

A mi hermana:
María Guadalupe
por su invaluable apoyo.

A mi esposa e hijo:
Lorenia y Rodrigo
que hicieron conmigo de
la vereda un camino. .

Quiero también hacer patente mi agradeci
miento al M.C. Vicente Rivera y a la Inq.
Julia Quintana por sus consejos; así como
también a los ingenieros Hernando Guerrero
y Juan José Ambríz por su valiosa ayuda --
para poder desarrollar este trabajo.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SECADOR DE
GRANO UTILIZANDO LA RADIACION
SOLAR

INTRODUCCION

CAPITULO	1	OBJETIVOS.
CAPITULO	2	MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.
CAPITULO	3	RADIACION SOLAR.
CAPITULO	4	SECADO DE GRANO.
CAPITULO	5	DISEÑO, CONSTRUCCION Y EXPERIMENTACION.
CAPITULO	6	RESULTADOS Y DISCUSION.
CAPITULO	7	CONCLUSIONES.
CAPITULO	8	BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO 1

OBJETIVOS

- 1.1 Diseñar y construir un equipo para secar grano aprovechando la radiación solar.
- 1.2 Que el equipo cumpla las condiciones de seguridad contra la infestación de insectos y la acumulación de polvo en el grano.
- 1.3 Obtener grano con una humedad que esté dentro de las normas de seguridad para almacenarlo.
- 1.4 Obtener datos de humedad para determinar la rapidez con que pierde el grano la cantidad de agua que posee.
- 1.5 Comparar resultados obtenidos experimentalmente con los que se encuentran reportados en la literatura.
- 1.6 Analizar las perspectivas de uso de éste equipo en nuestro país.

INTRODUCCION

Se puede considerar que se está entrando a una nueva era energética, en la que se tendrá que practicar una conservación -- planificada, ganando el tiempo necesario para desarrollar y producir nuevas tecnologías energéticas.

Actualmente se están realizando investigaciones sobre otras - fuentes de energía que abastecerán de combustible al futuro, entre estas se encuentran el aceite de esquisto, la energía - geotérmica, la nuclear, la eólica y la energía solar.

Se sabe, que a excepción de la energía nuclear y la geotérmica, todas las demás formas de energía dependen de una forma - directa o indirecta de la energía solar que es recibida por - la tierra.

La energía solar, en contraste con las fuentes terrestres, es limpia y no ocasiona contaminación. Ya que a diferencia de los combustibles fósiles que se han acumulado a través de centena - res de millones de años y cuya reserva se acercan a su fin, -- dentro de algunas décadas (en el caso del petróleo y del gas) o de algunos siglos (en el caso del carbón), la energía que irradia el sol es esencialmente inagotable.

El máximo aprovechamiento de la radiación solar a nivel del - suelo depende de factores diversos tales como: geográficos (la - titud, altitud), topográficos, astronómicos (declinación -- solar, distancia tierra -sol) geométricos (orientación de la superficie receptora), depende también de factores que dada - su aleatoriedad como: nubosidad, turbidez atmosférica, hume-- dad, dificultan su cuantificación precisa.

Por otra parte, la aplicación de la energía solar se ve influi - da por las zonas donde se quiera utilizar, por ejemplo: en las

zonas urbanas, donde el desarrollo económico ha traído consigo consecuencias como la concentración de población, el gigantismo de las ciudades, etc., las aplicaciones de la energía solar deben ser orientadas hacia el calentamiento de agua, y la calefacción y ventilación de viviendas.

En las zonas tropicales húmedas (donde las precipitaciones superan a las evaporaciones), son generalmente zonas productoras de alimentos donde las aplicaciones de la energía solar a procesos de refrigeración o de secado, para la conservación de producto agropecuarios, serían sin duda muy útiles.

Como ejemplo, se puede considerar el secado de grano, el cual juega un papel importante ya que se considera a éste y a sus productos como un factor determinante en la nutrición del --- hombre y a la humedad contenida en él como un factor no deseable para su conservación, manejo y almacenamiento. Por lo cual es necesario tener granos secos o que estén dentro de ciertos rangos de humedad que permitan realizar lo antes mencionado.

En las zonas tropicales secas (donde las precipitaciones son inferiores a la evaporación) generalmente son zonas áridas o semiáridas en donde es necesario un enfoque global. Los principales problemas que encontramos en estas áreas son tres:

- Falta de agua
- Falta de alimentos
- Falta de energía

En cuanto se solucionen los dos primeros, por irrigación la energía solar ayudará a resolver algunos de los problemas - que plantea la escasez de energía. Para estas áreas puede recomendarse la utilización de procesos, aprovechando la radiación global o la radiación directa indistintamente, tales - como:

- La calefacción y ventilación de viviendas
- La destilación de aguas salobres
- La generación de electricidad

CAPITULO 2

MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Hay tres formas diferentes de transferencia de calor las cuales son: conducción, convección y radiación.

2.1 CONDUCCION

La conducción es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo que tiene alta temperatura a otra parte del mismo cuerpo que tiene una temperatura menor, o de un cuerpo con alta temperatura a otro con baja temperatura - que estan en contacto físico. El proceso de la conducción se lleva a cabo a nivel molecular e involucra la transferencia de energía de las moléculas más energéticas a otra con menor energía. Esto puede ser fácilmente visualizado en los gases, donde el promedio de energía cinética de las moléculas en las regiones de alta temperatura es mayor que en las regiones de baja temperatura. Las moléculas con más energía, tienen un movimiento constante y al azar y chocan con las moléculas que tienen una energía menor, - sucediendo un intercambio de la misma, así como de momentum. De esta forma hay un transporte continuo de energía de las regiones de alta temperatura a las de baja temperatura. En los líquidos las moléculas se encuentran más cerca unas de otras, que en los gases, pero el proceso de intercambio de energía molecular es cuantitativamente similar al de gases.

En los sólidos que son no conductores de electricidad (dieléctricos) el calor es conducido por ondas causado por el movimiento atómico. En los sólidos que son buenos conductores de la electricidad el mecanismo de vibración es solamente una pequeña contribución al proceso de transferencia de calor.

La principal causa que influye en este mecanismo es el movimiento libre de los electrones que se mueven cerca unos de otros como en las moléculas de los gases.

2.2.- CONVECCION

La convección involucra la transferencia de calor por mezclado de una parte de un fluido con otra.

Si el movimiento del fluido ocurre como resultado de la diferencia de densidades producida por la misma transferencia de calor, el proceso se denomina convección natural o libre. Si el movimiento es inducido por una bomba o un abanico el proceso se llama convección forzada. La energía es también transferida simultáneamente por conducción molecular y por radiación. Un estudio detallado de los procesos en estos casos revela que los mecanismos de transferencia de calor de un límite de superficie expuesta a una corriente de un fluido a baja velocidad, es conveniente introducir un coeficiente de transferencia de calor " h " definido por la ecuación (1) conocida como ley de enfriamiento de NEWTON.

$$\frac{q}{A} = h (T_f - T_s) \quad (1)$$

donde T_s es la temperatura en la superficie, T_f es la temperatura del fluido.

Para la convección de superficies infinitas tales como platos, tubos, cuerpos de revolución, etc., sumergidos en una gran cantidad de fluido, generalmente se define " h " por la ecuación (1) donde T_f es la temperatura del fluido lejos de la superficie identificada como $T_{f_{\infty}}$

La convección limitada, como la que se presenta en fluidos circulando en tubos y canales, T_f es usualmente tomada como la temperatura de entalpia media de mezcla identificada como T_m .

El coeficiente de transferencia de calor así definido puede incluir la contribución de la conducción y radiación. Si la contribución de la radiación es insignificante, entonces la transferencia total es debida a la conducción. Por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor se define como:

$$h = \frac{q/A}{T_f - T_s} = \frac{k(\partial T / \partial Y)}{T_f - T_s} \quad (2)$$

El coeficiente de transferencia de calor es proporcional al gradiente de temperatura y es afectado por la geometría, las propiedades físicas del fluido y la velocidad del mismo.

2.3.- RADIACION

Todas las sustancias emiten continuamente radiación electromagnética debida a la agitación molecular y atómica asociada con la energía interna de el material. En el estado de equilibrio la energía interna es directamente proporcional a la temperatura de la sustancia. La energía radiante emitida va desde las ondas de radio, que pueden tener longitudes de onda de millas, a rayos cosmicos los cuales tienen longitudes de onda de menos de 10^{-10} centimetros (11). La radiación que es detectada como calor o luz se denomina correctamente radiación térmica y ocupa un rango intermedio de longitudes de onda.

Uno de los factores que se considera importante en la aplicación de la radiación térmica es la manera en que la emisión radiante depende de la temperatura. En la conducción y convección la transferencia de energía entre dos cuerpos depende de la diferencia de temperatura y de la localización aproximadamente elevada a la primera potencia. La transferencia de energía por radiación térmica depende de la diferencia de temperatura absoluta de cada cuerpo elevada a una potencia en el rango de 4 a 5.

El cálculo de la radiación térmica está basado en la ley de Stefan-Boltzmann que relaciona el flujo de energía emitido por un radiador ideal a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

$$e_b = \sigma T^4 \quad (3)$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann.

Cuando se considera un radiador real la ley se modifica quedando como:

$$e = \epsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

Donde ϵ es llamada emisividad de la superficie la cual tiene un valor de 0 a 1.

La diferencia básica entre los mecanismos de intercambio de energía de la radiación y convección, radiación y conducción es que ésta se maneja a niveles altos de temperatura absoluta. Consecuentemente la radiación contribuye sustancialmente a la transferencia de calor en hornos, cámaras de combustión y en la emisión de energía de una explosión nuclear. Las leyes de radiación gobiernan la distribución de temperatura en el sol y la emisión radiante de este o de una fuente que actúe como un simulador solar.

Una segunda característica de la transferencia por radiación es que no necesita un medio presente entre dos objetos para que ocurra el intercambio de energía. Esta pasa perfectamente a través del vacío. Esto es un contraste -- con la convección y conducción, donde se necesita un medio físico presente para llevar la energía con el flujo convectivo o de transporte por este medio de la conducción térmica. Cuando el medio no está presente, la radiación -- llega a ser el único modo significativo de transferencia -- de calor.

CAPITULO 3

3.1.- RADIACION SOLAR:

La radiación proveniente del sol es la fuente predominante de energía y regula virtualmente casi todos los procesos - que se llevan a cabo en nuestro planeta. Entre los fenómenos que se realizan gracias a ésta fuente de energía, se encuentra la circulación general de la atmósfera, los procesos fisiológicos, las corrientes oceánicas, etc. La aportación solar por medio de radiación es de 1.73×10^{17} -- watts (5) que son interceptados por la sección diametral terrestre diariamente.

La gran cantidad de energía desprendida del sol implica una transformación inmensa de materia en energía del orden de 4×10^9 Kg/ seg (5) se sabe que ésta energía, se debe a la conversión - en el interior del sol - de hidrógeno a Helio siguiendo el " Ciclo de Bethe ". Dado que cuatro núcleos de hidrógeno tienen una masa aproximadamente mayor en 1 % -- que la masa de los núcleos de helio que resultan de su fusión la masa extra es convertida en energía de acuerdo a la ecuación de Einstein.

$$E = mc^2 \quad (5)$$

Donde m es la masa convertida en energía E y C es la velocidad de la luz.

El calor producido en el interior del sol viaja a la superficie por convección y radiación. El calor es radiado principalmente desde la fotosfera (aproximadamente 300 Km de espesor) (5).

Si se mide la energía total recibida del sol, mediante la ley de Stefan-Boltzman se obtiene la temperatura del cuerpo negro correspondiente, se observa que la temperatura esperada para la fotosfera solar es de aproximadamente 5750°K (5). Si por otra parte se mide la radiación como una función de la longitud de onda, determinando el punto en que la energía es máxima, se ve que corresponde a una longitud de onda de 4740 Angstroms (5); empleando la ley de desplazamiento de Wien, se puede calcular la temperatura que tendría un cuerpo negro radiando en esa longitud de onda y la cual es de 6108°K (5).

De la discrepancia de esas temperaturas se infiere que el sol no es un cuerpo negro ideal, sin embargo el suponer que se comporta como tal resulta ser una aproximación suficiente.

2.- LA CONSTANTE SOLAR:

La distancia entre la tierra y el sol es de 1.5×10^8 Km, con una variación de + 3% debida a la órbita elíptica de la tierra (5), el ángulo formado por el sistema tierra-sol es de 32° (5). Estas características dan como consecuencia que a la atmósfera terrestre llegue una intensidad de radiación solar más o menos constante. Por lo tanto se puede definir a la constante solar (I_{cs}) como: la intensidad de radiación que incide sobre una superficie perpendicular a los rayos

del sol en el tope de la atmósfera a la distancia media - - tierra-sol, ha sido evaluada por varios investigadores quienes han dado a conocer valores un tanto diferentes. El valor que se acepta actualmente para esta constante es el encontrado por Johnson (1954) y Thekaekara (1971), quienes le asignaron un valor de:

$$I_{cs} = 1353 \text{ w/m}^2$$

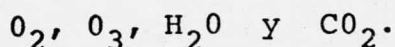
3.3.- RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

La radiación solar que llega a la superficie de la tierra sin sufrir cambios de dirección se le conoce como RADIACION DIRECTA, pero al atravesar la atmósfera la radiación solar puede ser refractada, dispersada y difundida en cualquier dirección y cuando ésto sucede, la radiación recibe el nombre de RADIACION DIFUSA.

3.4.- ATENUACION DE LA RADIACION DIRECTA

La radiación que incide sobre la superficie terrestre está sujeta a atenuaciones tales como:

- a)- Atenuaciones por la distancia entre el sol y la tierra.
- b)- Atenuaciones por dispersión atmosférica debida a moléculas de aire, vapor de agua y polvo.
- c)- Atenuaciones por absorción atmosférica debidas al



Los rayos X y otras radiaciones de muy pequeñas longitud de onda son absorbidos en la ionósfera por el nitrógeno, oxígeno y

otros componentes atmosféricos; una gran cantidad de radiación ultravioleta es absorbida por el ozono, por lo tanto - solamente las radiaciones de longitud de onda entre 0.29 y 2.5 μ (5), se aprovechan en la tierra.

Generalmente aunque exista cielo despejado, la radiación sufre dispersiones por los componentes de la atmósfera, lo que implica que siempre existe radiación difusa. Pero cuando el cielo se encuentra nublado la radiación que llega a la superficie terrestre es únicamente difusa.

.5.- BALANCE DE RADIACION

En promedio, el balance de radiación planetario puede apreciarse del siguiente esquema: (figura No. 1)

Se observa que la radiación solar se refleja, absorbe o dispersa por la atmósfera y nubes, y se absorbe o refleja por la superficie terrestre.

La absorción de radiación solar dentro de la atmósfera, se debe a la presencia de gases como el vapor de agua, bióxido de carbono, ozono y oxígeno en cantidades muy pequeñas y por la existencia de polvos y neblinas. Una absorción adicional es realizada dentro de las nubes por las gotas de agua y los cristales de hielo contenidos en las mismas. El cálculo para la absorción total promedio debida a estos componentes se considera aproximadamente de 22% de la radiación total que penetra en la atmósfera.

La superficie terrestre absorbe aproximadamente el 45 % de la radiación solar que penetra en la atmósfera, donde un poco

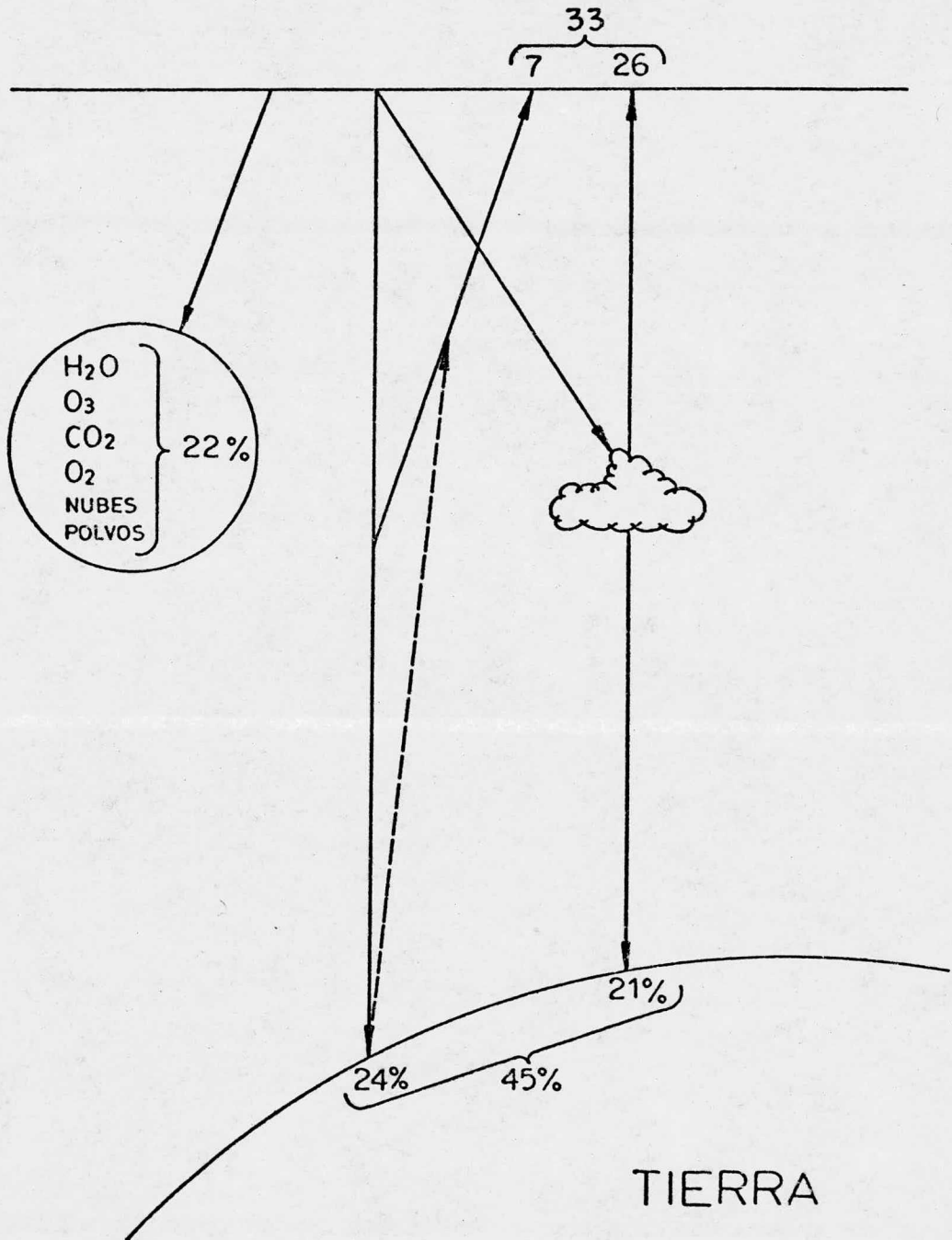


FIGURA No. (1) .- BALANCE DE RADIACION.

más de la mitad, llega como radiación directa (24%) y el resto como radiación difusa (21%) (5) .

Un 33% de la radiación solar es reflejado por las nubes y la superficie terrestre. De ese porcentaje de radiación reflejada casi un 26% es hecho por las nubes y el resto por la tierra.

La energía absorbida en la superficie de la tierra se usa en gran parte, para calentar la delgada capa de aire cercana a la superficie, y entonces, mediante procesos convectivos se distribuye hacia arriba a través de las capas atmosféricas bajas.

La mayoría de la energía solar absorbida por la tierra se emplea en evaporar agua de los océanos. El vapor de agua es transportado hacia arriba en la atmósfera, donde pueden ocurrir condensaciones con formación de nubes, siendo cedido a la atmósfera el calor latente de condensación.

Sin embargo, el proceso más eficiente de transferencia de calor de la superficie a la atmósfera es el que involucra la -- conducción.

Aproximadamente el 75% de la energía no-radiativa transferida desde la superficie a la atmósfera, se lleva a cabo por evaporación y condensación. Este proceso es muy rápido y contribuye en el mantenimiento de los sistemas de circulación atmosférica.

CAPITULO 4

SECADO DE GRANO

4.1.-GENERALIDADES

El secado de grano consiste en eliminar de éste el exceso de humedad para su mejor preservación y usos a los que se destina posteriormente.

La humedad o la cantidad de agua retenida en el grano se encuentra en tres formas diferentes: agua libre (la cual se puede eliminar fácilmente) agua absorbida y agua combinada; (ésto hace difícil determinar con exactitud la proporción de cada una de ellas en el contenido total.

La pérdida de agua que experimenta el grano durante el secado es muy rápida al principio, pero a medida que el contenido de humedad baja, resulta más difícil eliminarla ya que ésta se encuentra combinada con las proteínas y está sometida a fuerzas de atracción molécula.

Se puede decir que la operación de secado implica la remoción de agua hasta que la humedad del grano llega al equilibrio con la humedad relativa del aire del medio ambiente que lo rodea.

El contenido de humedad se determina en base seca o en base húmeda y se expresa en porcentaje:

$$\% \text{ en base húmeda: } \% H = \frac{PA}{PA + Pms} \quad (100\%) \quad (6)$$

$$\% \text{ en base seca : } \% H = \frac{PA}{Pms} \quad (100\%) \quad (7)$$

Donde:

PA= Peso de Agua.

Pms= Peso de materia seca.

El porcentaje de humedad de equilibrio varía entre 12 y 14 % expresado en base húmeda. (10), en la tabla No. 1 se muestran las humedades de equilibrio de algunos granos (en base húmeda) a diferentes porcentajes de humedad relativa y a - 25°C.

G R A N O	PORCENTAJES DE HUMEDAD RELATIVA									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Maíz amarillo duro	5.1	7.0	8.4	9.8	11.2	12.9	14.0	15.6	16.9	23.8
Maíz blanco duro	5.1	7.2	8.5	9.8	11.2	12.9	13.9	15.5	18.9	24.6
Maíz palomero	5.6	7.4	8.5	9.8	11.0	12.2	13.1	14.2	18.4	23.0
Sorgo	4.4	7.3	8.6	9.8	11.0	12.0	13.8	15.8	18.8	21.9
Frijol soya	—	5.5	6.5	7.1	8.0	9.3	11.5	14.8	18.8	—
Trigo blando de invierno	4.3	7.2	8.6	9.7	10.9	11.9	13.6	15.7	19.7	25.6
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	15.8	19.5	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	12.8	15.2	18.6*	—	—
Frijol rojizo riñón	6.1	7.5	8.7	9.9	11.1	12.9	15.1	18.5*	—	—
Frijol oscuro riñón	5.4	7.2	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	15.2	18.2*	—	—
Avena	4.1	6.6	8.1	9.1	10.3	11.8	13.0	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	12.2	13.5	15.7	20.6	26.7
Línea	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	—

TABLA No. 1

De esta tabla se infiere que la humedad de equilibrio se alcanza durante el secado cuando la humedad del aire es del 60 al 70 % de humedad relativa. Este parámetro es el límite en el cual los factores bióticos del medio ambiente empiezan a ser desfavorables a la conservación del grano.

Por falta de información no existe un acuerdo razonable que indique cual es el intervalo para una humedad de seguridad. Esta se puede obtener en forma de investigación práctica y que permite la conservación del grano por tiempos variables.

El Gobierno Mexicano ha establecido normas de calidad para diferentes granos, en las tablas siguientes se presentan algunos datos de acuerdo con las normas de calidad aprobadas.

TABLA No 2

NORMAS DE CALIDAD PARA MAIZ BLANCO Y AMARILLO

<u>CLASIFICACION</u>	<u>% HUMEDAD</u>
1a	12 - 14
2a	14 - 18
3a	18 - 24
Industria	+ de 24

TABLA No. 3

NORMA DE CALIDAD PARA FRIJOL CLARO Y NEGRO

<u>CLASIFICACION</u>	<u>% HUMEDAD</u>
1a	13 - 14
2a	14 - 18
3a	18 - 25
Industrial	+ de 25

TABLA No. 4

NORMA DE CALIDAD PARA TRIGO EN GENERAL	
<u>CLASIFICACION</u>	<u>% HUMEDAD</u>
1a	13 - 14
2a	14 - 18
3a	18 - 25
Industrial	+ de 25

4.2.- METODOS PARA DETERMINACION DEL % DE HUMEDAD EN GRANOS

Existen varios métodos para determinar la humedad de granos, siendo los siguientes los más usuales e importantes:

4.2.1 DESTILACION

Hay dos métodos que son bastante exactos, el primero de -- ellos es el de BROWN Y DUVEL, el cual consiste en colocar - 100 g. de grano completo en un matr az, al cual se le agrega 150 ml. de aceite no volátil, se calienta hasta una tempera tura dada diferente para cada tipo de grano (trigo a -- 180°C). Posteriormente se deja enfriar la mezcla hasta -- 160°C la cantidad de agua que se recibe después de atravesar el refrigerante, se lee en mililitros y se reporta como por- centaje de humedad.

El otro método es el de destilación con TOLUENO o BENCENO, - éste consiste en colocar de 20 a 30 gramos de grano molido - finamente en un matr az al que se agregan 75 ml. de TOLUENO o BENCENO, una vez hecho esto se destila la mezcla y el agua - recibida se reporta como porcentaje de humedad.

2.2 METODO DEL HORNO O DE ESTUFA

El método consiste en pesar 2 a 3 g. de grano molido y colocarlos en un pesafiltro de 38 a 65 mm de diámetro, cuya altura no excede de 50 mm. Se colocan el pesafiltro y su tapa en una estufa de 130°C durante 2 horas aproximadamente. Después de este tiempo se le deja enfriar hasta la temperatura ambiente en un desecador y se pesa, la diferencia de pesos se reporta como porcentaje de humedad.

4.2.3 MATERIALES DESECANTES

En este procedimiento se coloca la muestra de grano molido en un espacio cerrado junto con un desecante hasta obtener peso constante en la muestra.

4.2.4 METODOS ELECTRICOS

Estos están basados en dos principios físicos conocidos, - la conductividad y las propiedades dieléctricas, las cuales se aprovechan en la construcción de aparatos medidores de humedad de los granos y semillas.

2.5 METODOS QUIMICOS

Estos consisten en agregar un material químico a la muestra de grano, la cual reacciona con el agua contenida en éste, produciendo un gas que puede ser medido volumétricamente. Es necesario en estos métodos realizar una calibración adecuada, de cuyas curvas, puede determinarse el contenido de humedad.

.3.- IMPORTANCIA DEL SECADO DE GRANO.

El secado de grano es importante ya que permite manejar - más eficientemente a éstos. En el campo da oportunidad de cosechar antes, en previsión de fenómenos meteorológicos o temporales que son perjudiciales a los granos, pero benéficos al suelo y a la preparación más hábil del terreno y el desarrollo de prácticas agrícolas más oportunas.

El grano seco se conserva mejor y mantiene sin alterar la calidad de los productos finales (harinas por ejemplo) - y mantiene su propiedad de germinación al emplearse como semilla. Además puede ser almacenado por períodos cortos o largos, dentro de los límites de humedad que son seguros para su conservación.

Entre las causas de pérdidas de los granos durante el almacenamiento y que están en una relación directa con la - humedad son las siguientes:

a).- Metabolismo de los tejidos del grano.- La semilla es un organismo en estado de vida latente hasta que inicia - la germinación. Para que se inicie ésta es condición indispensable la presencia de agua, germinación que en un grano almacenado puede comenzar con una humedad del 15 % ó más.

Cuando la semilla es almacenada con un porcentaje de humedad superior a éste (15 %) se originan como consecuencia cambios estructurales que dañan el grano hasta hacerlo inservible.

b).- Deterioros por el metabolismo de microorganismos.- Los granos o semillas tienen en el momento de almacenarse cantidades variables de esporas de hongos y otros microorganismos que adquieren en el campo donde se cosecharon. El desarrollo de éstos contribuye al calentamiento y descomposición de los granos, las enzimas producidas por hongos atacan a los carbohidratos, a las grasas y proteínas de los -

granos deteriorando su calidad. La acidez de los granos en estas condiciones se incrementa y la aptitud para germinar decrece hasta desaparecer.

El olor y sabor desagradable, característicos de los granos o de sus productos infectados con hongos, les hace perder su calidad y reducen su aprovechamiento como alimento humano y de animales domésticos.

c).- Daños causados por la presencia de insectos:

Los insectos causan dos tipos de daños a los granos en el almacén. Uno consiste en la destrucción del grano por los adultos y los estados larvarios de los insectos, con fines alimenticios y de oviposición además de la contaminación -- que ocasionan sus excrementos y cuerpos muertos.

El otro consiste en el calentamiento " espontáneo" de los granos debido al proceso respiratorio realizado por los insectos. El bajo calor específico de los granos impide que los calentamientos que se originan casi siempre en las zonas más húmedas se disipen fácilmente a través del volumen del grano y por esto la temperatura de los granos en una zona reducida se incrementa. Por otro lado como el alto contenido de humedad de los granos favorece el desarrollo de insectos y la respiración de ellos contribuye a incrementar más la temperatura dando como consecuencia un calentamiento que deteriora al grano.

4.- TIPOS DE SECADORES PARA GRANO

Existen un gran número de diseños de secadores. Algunos específicos para cada tipo de grano y otros adaptables para una gran variedad de ellos.

Los secadores de granos pueden clasificarse en diferentes maneras a saber:

4.4.1 POR LA TEMPERATURA DEL AIRE:

- a).- Con aire frío.- El secado se efectua circulando aire - en condiciones ambientales a través del grano.
- b).- Con aire caliente.- El secado se realiza haciendo circular aire caliente a través del grano.

4.4.2 POR SU CONTINUIDAD:

Ya sea porque el grano este circulando constántemente en -- una torre cilíndrica de arriba a abajo o en lecho móvil, o porque se mueve en carros dentro de túneles.

4.4.3 POR FORMAS DE RECIBIR EL CALOR:

a).- DIRECTOS: Los productos de la combustión si están libres de materias u olores inconvenientes se descargan dentro del aire que se usa para el secado. La ventaja de este tipo de calor es que es más eficaz y no se necesita -- transmisor intermedio.

b).- INDIRECTO: Los productos de la combustión se descargan en la atmósfera y el aire para el secado se calienta -- por medio de un aparato adecuado para la transmisión del calor. Este tipo de equipo si está bien construído tiene -- la ventaja de ofrecer mayor seguridad.

4.4 POR SU CONSTRUCCION:

a).- ROTATORIOS: Consisten en un túnel cilíndrico rotatorio en el cual se deposita el grano, éste tiene cierto ángulo de inclinación respecto al eje del cilindro lo que -- permite que el grano resbale y en sentido contrario se hace circular aire caliente.

b).- DE SILO: Es un depósito con un emparrillado que permite la inyección de aire por la parte inferior y la salida del mismo por la parte superior. Este tipo se usa generalmente para reducir el grado de humedad a grandes cantidades de grano almacenado.

c).- DE CASCADA O COLUMNAS: Permite la circulación del grano de arriba hacia abajo o el depósito del mismo entre deflectores y la circulación de aire en sentido contrario.

d).- DE TUNEL: Como su nombre lo dice consta de un túnel dentro del cual coloca o circula el grano en carros o ---- bien se hace circular el aire dentro de un túnel cuyo techo es emparrillado en el que se deposita el grano en costales.

e).- DE BANDA: El grano es llevado por una banda dentro de un ducto en el cual circula aire caliente en sentido contrario.

En las figuras 2 y 3 se muestran dos tipos de secadores, - los cuales usan aire precalentado por un equipo de combustión para secar el grano.

4.4.5 SECADO AL SOL:

El método de secado al sol sobre el suelo limpio y seco, - sólo se emplea con éxito cuando se trata de volúmenes reducidos de grano. Su empleo es común en áreas rurales en las cuales las condiciones de tiempo permiten disponer de días soleados, en climas secos y donde se dispone de bajo volumen de grano por secar. Esta operación requiere hacer la - exposición de grano durante las mañanas cuando el sol empieza a calentar esto es, entre las 9:30 a 10:30 hrs., de

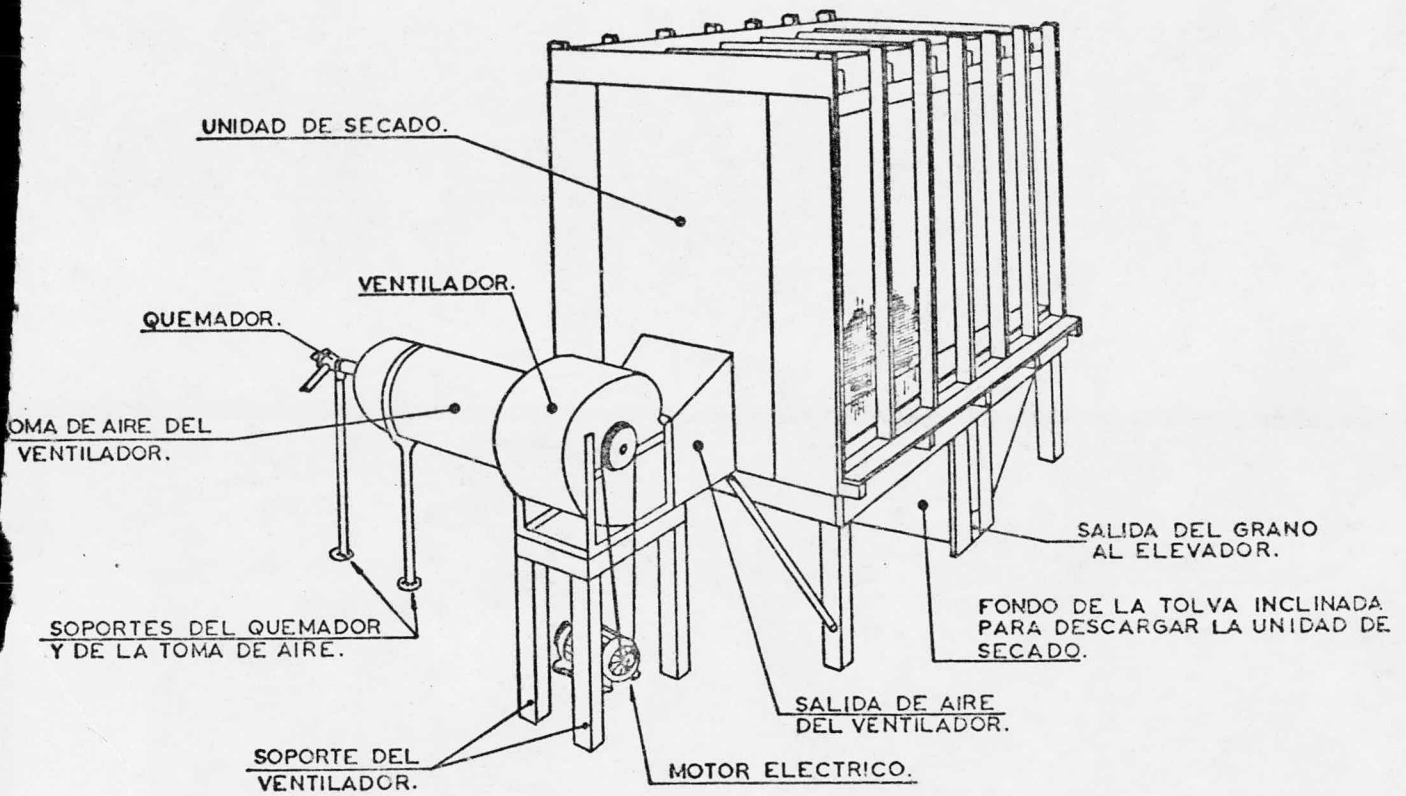


Fig. N° 2 SECADOR DIRECTO DE GRANO, PORTATIL.

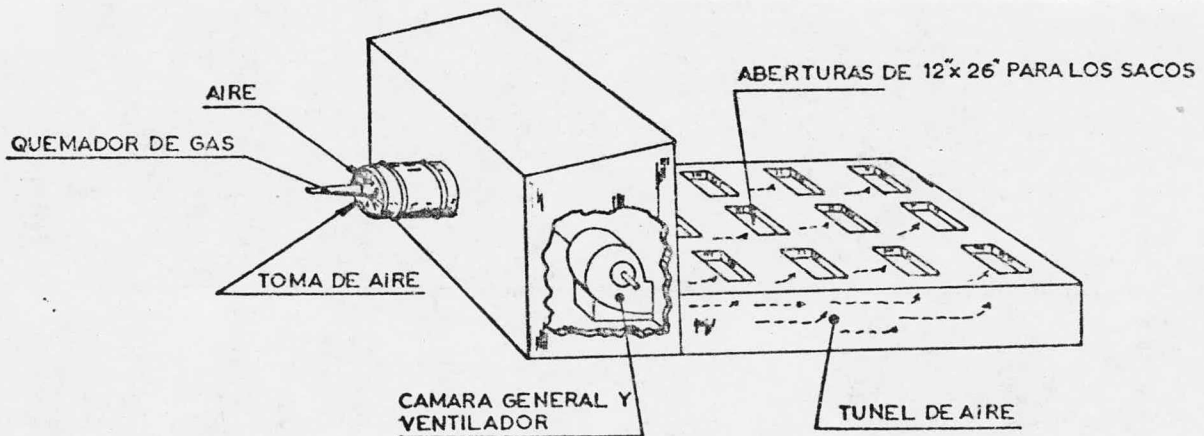


Fig. N° 3 SECADORA DE GRANJA DE TIPO TUNEL PARA SECAR GRANO ENSACADO.

la mañana y para recoger antes de la puesta del sol evitando que al oscurecer y durante la noche, absorba nuevamente la humedad del medio ambiente.

Este método requiere de bastante mano de obra y largo tiempo para alcanzar una humedad que esté dentro de un intervalo conveniente para su almacenamiento y conservación.

En cualquier sistema de secado de grano, la pérdida de humedad sólo se efectúa cuando la presión parcial de 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 pero esto no acontece así cuando la temperatura del grano y la del medio ambiente que lo rodee sean diferentes.

Los fenómenos y variaciones anteriores deben ser tomados en cuenta cuidadosamente en las operaciones de secado para grano.

ascendente desde la base. Como resultado hay un flujo constante y perceptible de aire sobre el grano por secarse, el cual se coloca sobre charolas perforadas situadas en la base, éstas se introducen al secador por una puerta localizada en la parte superior.

Uno de los factores que más influyen en el diseño de un secador de grano de este tipo son el largo, este tiene que ser por lo menos tres veces mayor que el ancho con el objeto de minimizar el efecto de sombra de los paneles laterales - (6). En la figura No. 4 se muestra el secador solar.

5.2.- CONSTRUCCION

Las dimensiones del secador son de 200 X 60 X 40 cm. su estructura es de ángulo metálico perforado y madera, la cual va sujeta por tornillos, para dar así una forma resistente y compacta. Cuando se requiera una estructura permanente, puede hacerse con adobe, ladrillo o concreto.

El aislante utilizado fue el poliuretano, este material tiene cualidades de preservar el calor y ser económico. El espesor considerado es de 2.5 cm. El secador esta aislado tanto en las paredes como la base. Se pueden utilizar otros materiales que actuen como aislante por ejemplo; Viruta de madera, bagazo, fibra de coco, desechos de lana o pelo de animal.

El " techo " del secador puede ser construido con una placa de vidrio o una película de plástico. El plástico tiene una vida media que depende fundamentalmente de la intensidad de la radiación ultravioleta incidente, se recomienda plásticos tratados previamente contra la acción del ultravioleta, tales como poliéster, cloruro de polivinilo o polietileno.

CAPITULO 5

DISEÑO CONSTRUCCION Y EXPERIMENTACION

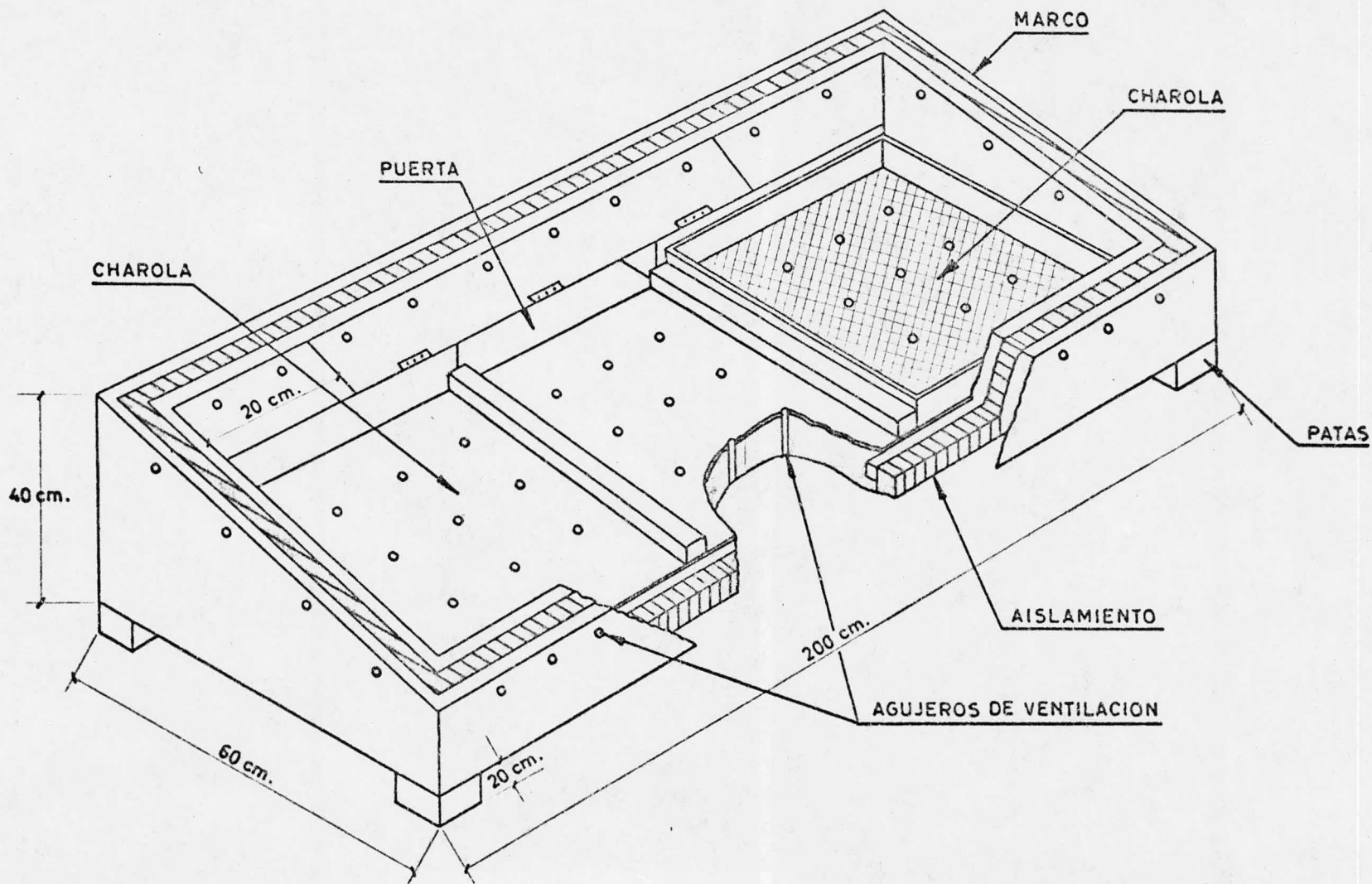
5.1.- DISEÑO

Tradicionalmente el secado de grano al sol se lleva a cabo - exponiendo a este directamente a la radiación solar y moviéndolo de vez en cuando. Este procedimiento presenta varios inconvenientes. Para empezar un aguacero puede hacer todo el grano a perder o se puede depositar polvo y otros desechos o ser infestado por insectos.

Por otra parte los métodos de secado frecuentemente no reducen de una manera efectiva la humedad a los niveles requeridos.

Todos estos inconvenientes han sido tratados de solucionarse diseñando un secador que utilice la energía solar y que esté cerrado para proteger el grano.

El secador consiste en una caja rectangular aislada en su base y lados, arriba esta cubierto con un techo transparente. - La radiación solar se transmite a través de éste y se absorbe en las superficies interiores que se han pintado previamente de color negro. Debido al aislamiento no hay perdidas de calor y la temperatura interna se eleva. La base tiene perforaciones que inducen una ventilación fresca hacia el secador. Al incrementarse la temperatura, el aire caliente pasa por -- las averturas superiores mediante convección natural, creando un vacío parcial e induciendo una corriente de aire fresco -



SECADOR SOLAR DE GRANOS.

FIGURA No. (4) - SECADOR SOLAR DE GRANOS.

En este equipo se utilizó una placa de vidrio de 2mm de espesor la cual se encuentra sujeta a un marco que esta fijo a la estructura del secador. Se debe tener cuidado que la cubierta quede bien colocada, con el objeto de evitar deterioros en el interior o exista algún humedecimiento del aislante.

El techo del secador debe tener un cierto ángulo de inclinación, con el motivo de optimizar el influjo de energía, minimizándose así el tiempo de secado. Este ángulo se calcula en función de la latitud del lugar, que en este caso de México - va de la latitud 14°33' norte a la latitud 32°43' norte.

Una vez que el techo y estructura se encuentran bien ensambladas, se hacen algunas perforaciones, las cuales sirven como ventilación para remover el calor del interior y provocar el flujo de aire. El número de perforaciones depende de las condiciones climáticas y naturaleza del material a secar. Un método eficiente es iniciar el secado con un mínimo de perforaciones en primavera, aumentando el número de estas para prevenir una condensación interna, si se presenta.

Si se llega a utilizar materiales aislantes como viruta de madera, bagazo, fibra de coco, desechos de lana o pelo animal, - las perforaciones de ventilación pueden adaptarse usando pequeños pedazos de tubo de plástico, manguera de hule o bambú. Lugares donde existen insectos las perforaciones de ventilación pueden protegerse cubriéndose con tela de alambre o gaza. Aunque generalmente la alta temperatura interior del secador no permite que se introduzcan insectos.

En la parte posterior se adapto una puerta, con bisagras, que sirven para introducir al secador las charolas con el grano por

secar. Estas se construyeron con un marco de madera y tela de alambre. En la figura No. 5 se muestran las diferentes vistas del secador.

5.3.- EXPERIMENTACION

La prueba de secado se llevó a cabo en la sección de experimentación de radiación solar de la UAM, Unidad Ixtapalapa, en el D.F.

El primer paso para comenzar la prueba después de tener construido el equipo fue conseguir el grano. Se utilizó el maíz por ser un producto que se puede conseguir fácilmente con un porcentaje de humedad considerable. Ya que la mayor parte de los granos que se expenden en el D.F., están ya secos.

Se escogió la semana del 23 al 26 de mayo de 1978, para realizar la prueba antes de la llegada de la época de lluvias en el Valle de México.

Se adquirieron elotes los cuales se desgranaron en una cantidad de 20 Kg. y se colocaron en el secador. La exposición del grano a la radiación solar se hacía de las 10:00 hrs.A.M., a las 16:00 hrs. P.M. Durante éstas horas el grano se removía - continuamente para pasar el que se encontraba abajo a la parte superior y así el secado fuera más rápido y homogéneo.

El muestreo del grano se hacía diariamente para determinar la humedad que éste estaba perdiendo. También se colocó un termómetro para medir las variaciones de temperatura que se tenía en el equipo, a través del día.

El método que se utilizó para determinar la humedad fue el de la " Estufa " el cual se describe en el capítulo 2.

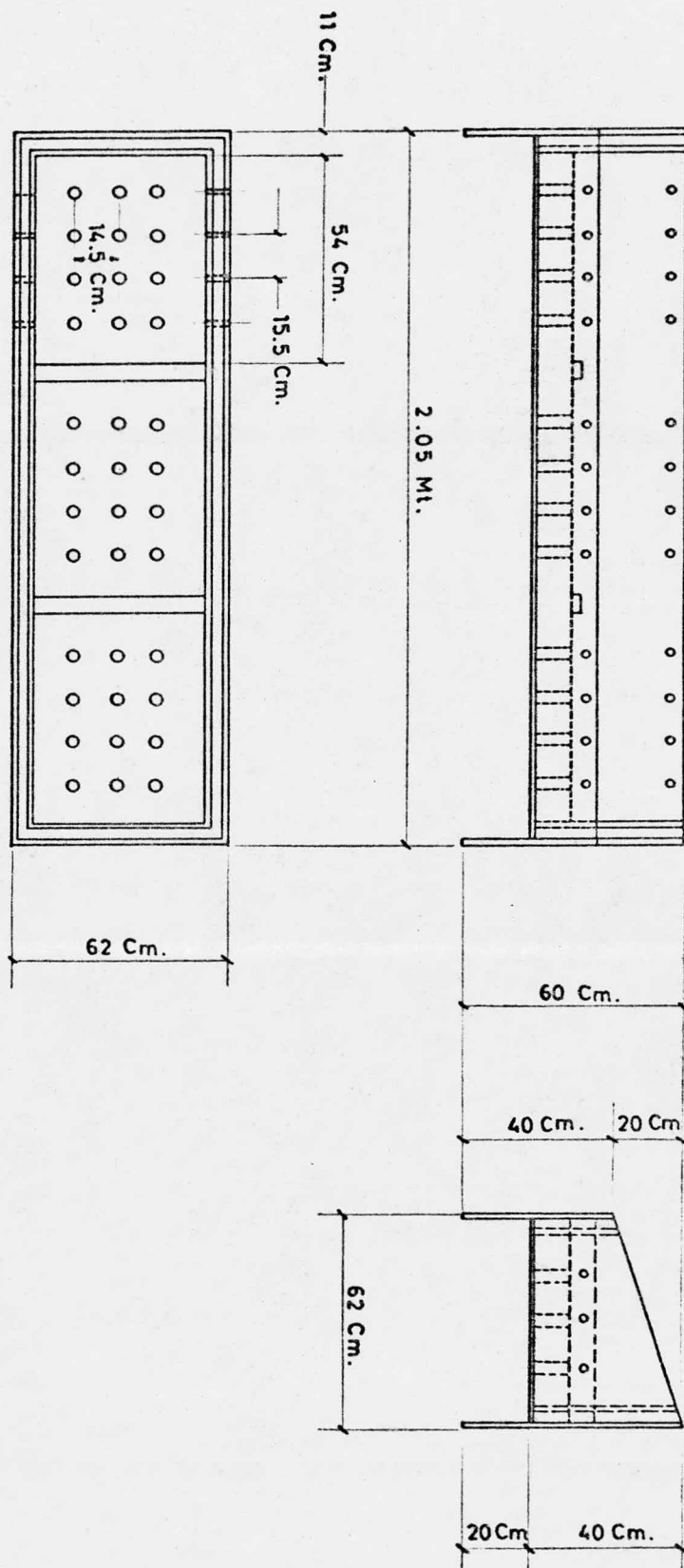


FIGURA No. (5).-VISTAS DEL SECADOR SOLAR.

CAPITULO 6

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos de la temperatura alcanzada en el interior del equipo y la temperatura ambiente se muestran en las tablas 5 y 5 A respectivamente.

TABLA 5

MAYO DE 1978

HORAS	D I A S			
	23	24	25	26
10:00	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
11:00	40	40	40	40
12:00	50	45	58	55
13:00	45	32	62	60
14:00	30	Nublado	50	50
15:00	Nublado	Nublado	50	50
16:00	-----		36	35

En la tabla No. 5 se hace notar que en los dos primeros días de experimentación (los cuales fueron nublados), se expuso el grano únicamente de las 10:00 A.M. a las 13:00 P.M. y de las 10:00 A.M. a las 14:00 P.M. se observó que las temperaturas máximas registradas variaron entre 45 y 50°C. además al abrir

la puerta del equipo para mover el grano, su temperatura bajaba en 7 u 8°C. en unos cuantos segundos recuperándose rápidamente.

TABLA 5A

HORAS	D I A S			
	23	24	25	26
10:00	15	15	15	15
11:00	20	20	20	20
12:00	25	23	29	26
13:00	23	16	31	30
14:00	15	Nublado	25	25
15:00	Nublado	Nublado	25	25
16:00	-----	-----	18	17

Los resultados obtenidos en los dos primeros días se muestran en las gráficas de temperatura Vs. tiempo en las figuras Nos. 6 y 7, donde se puede notar el ascenso y descenso de la temperatura, con respecto al tiempo.

Durante los siguientes dos días de experimentación, se contó con cielo despejado, por lo que se tuvo una mayor captación de radiación directa, lo cual originó temperaturas más elevadas en el interior del equipo llegando a obtenerse temperaturas de 50 y 60°C. como máximas. Los resultados se muestran en la tabla No. 5 y en las figuras 8 y 9 (gráficas de temperatura Vs. -- tiempo), observandose en éstas últimas que la temperatura máxima

se alcanzó entre las 13:00 y 14:00 horas y a partir de estas empieza a descender paulatinamente.

Durante la experimentación se tomó una muestra de 5 gramos -
diariamente, para determinar su humedad por el método de la
estufa. En la tabla No. 6 se muestran los diferentes datos -
de humedad obtenidos.

TABLA 6

DIAS	HUMEDAD (BASE HUMEDAD)
0	71.42 %
1	52.11
2	43.98
3	31.52
4	23.69

1º DIA

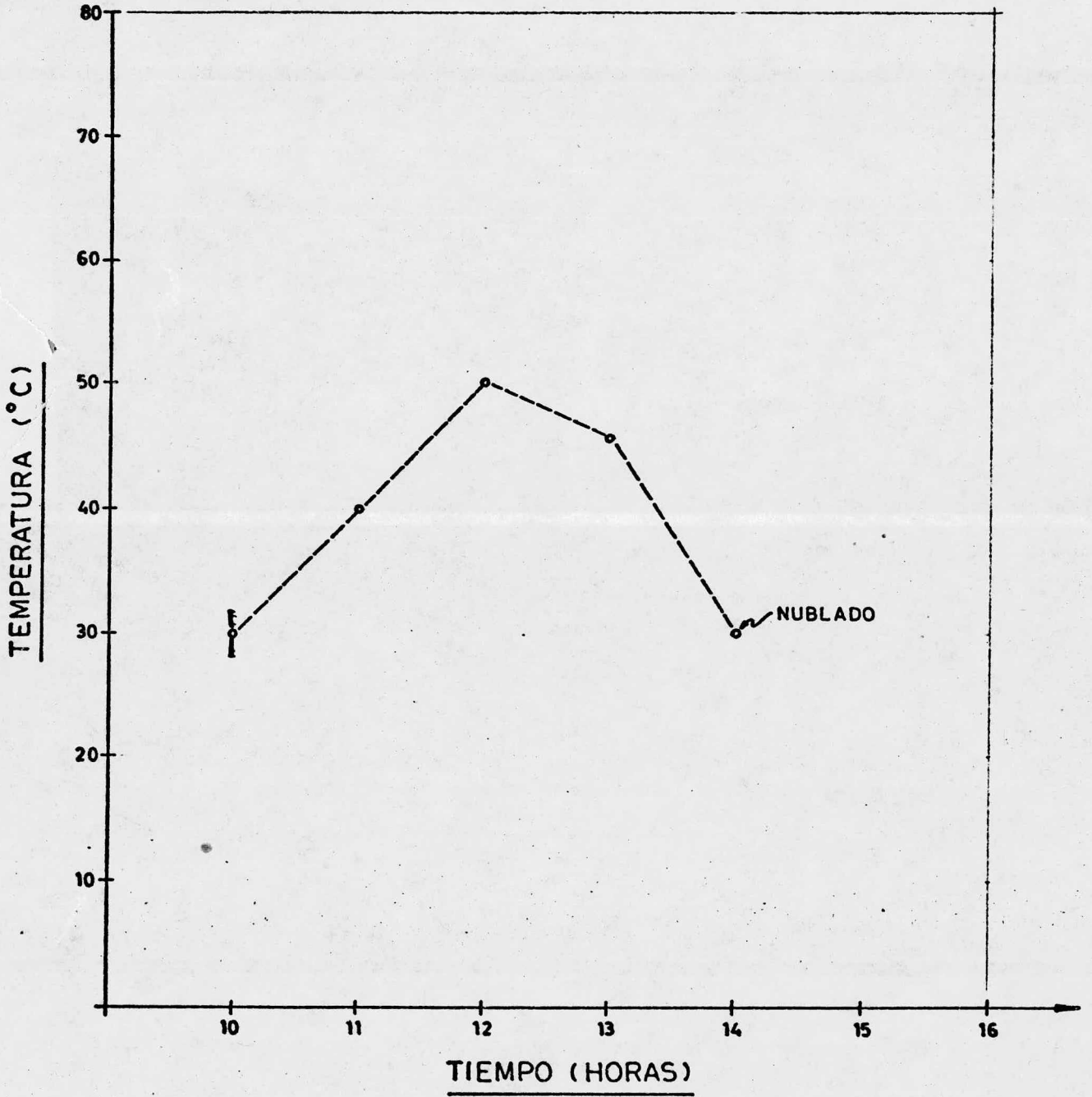


FIGURA No. (6) .-TEMPERATURA VS. TIEMPO. DIA NUBLADO.

2º DIA

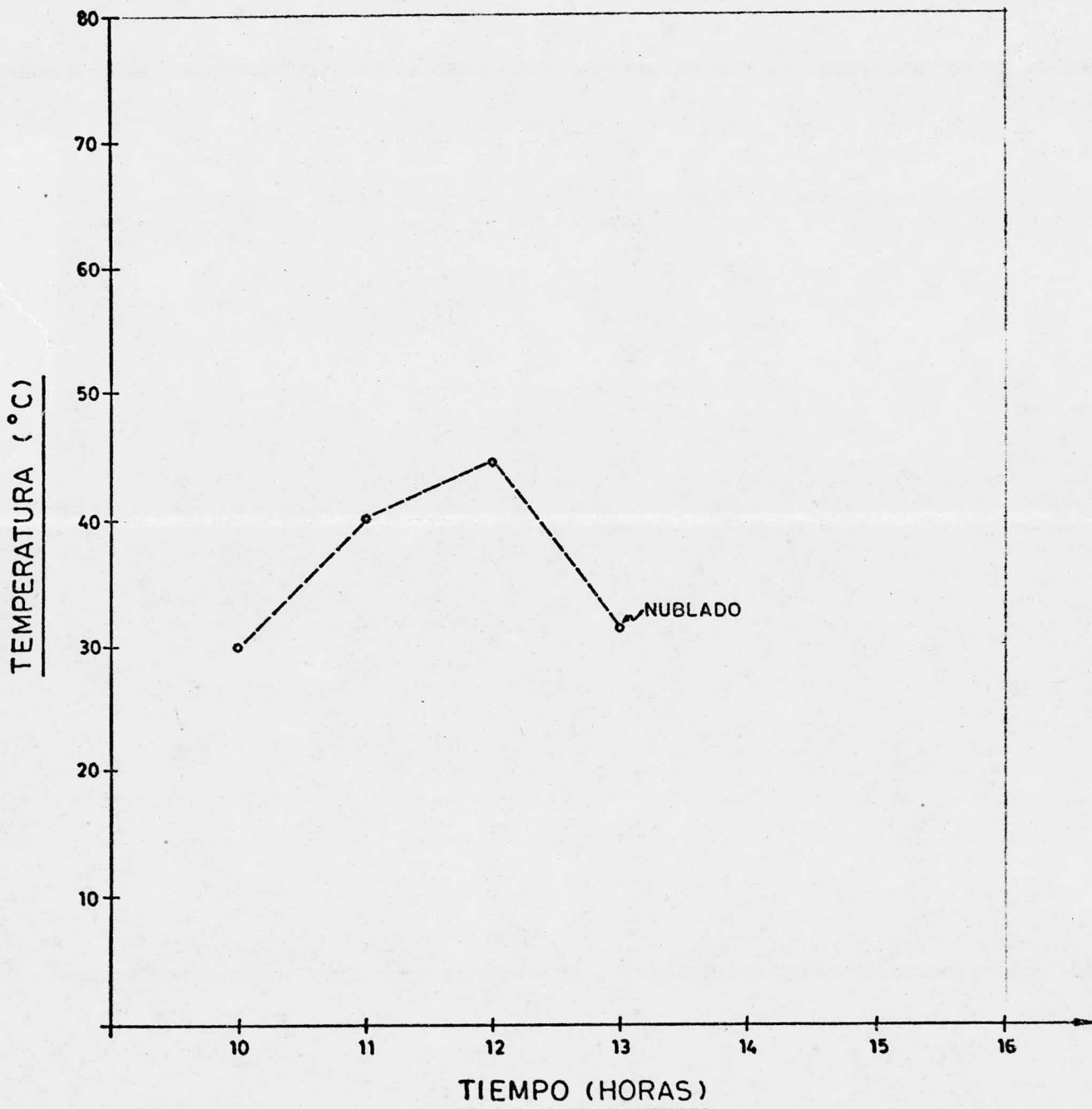


FIGURA No. (7).- TEMPERATURA VS. TIEMPO. DIA NUBLADO.

3º DIA

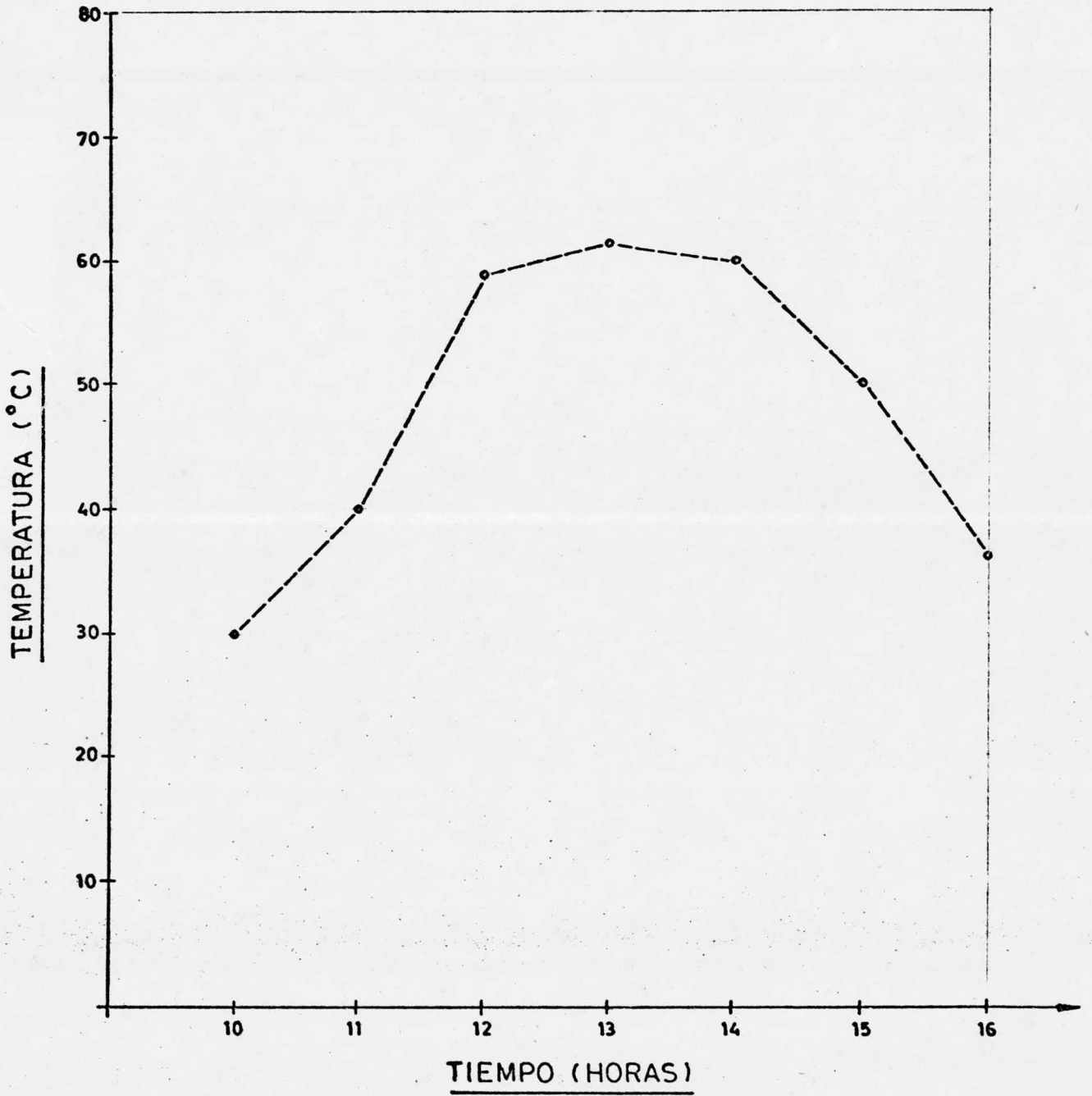


FIGURA No. (8).-TEMPERATURA VS. TIEMPO. SE TRABAJO CON RADIACION DIRECTA.

4° DIA

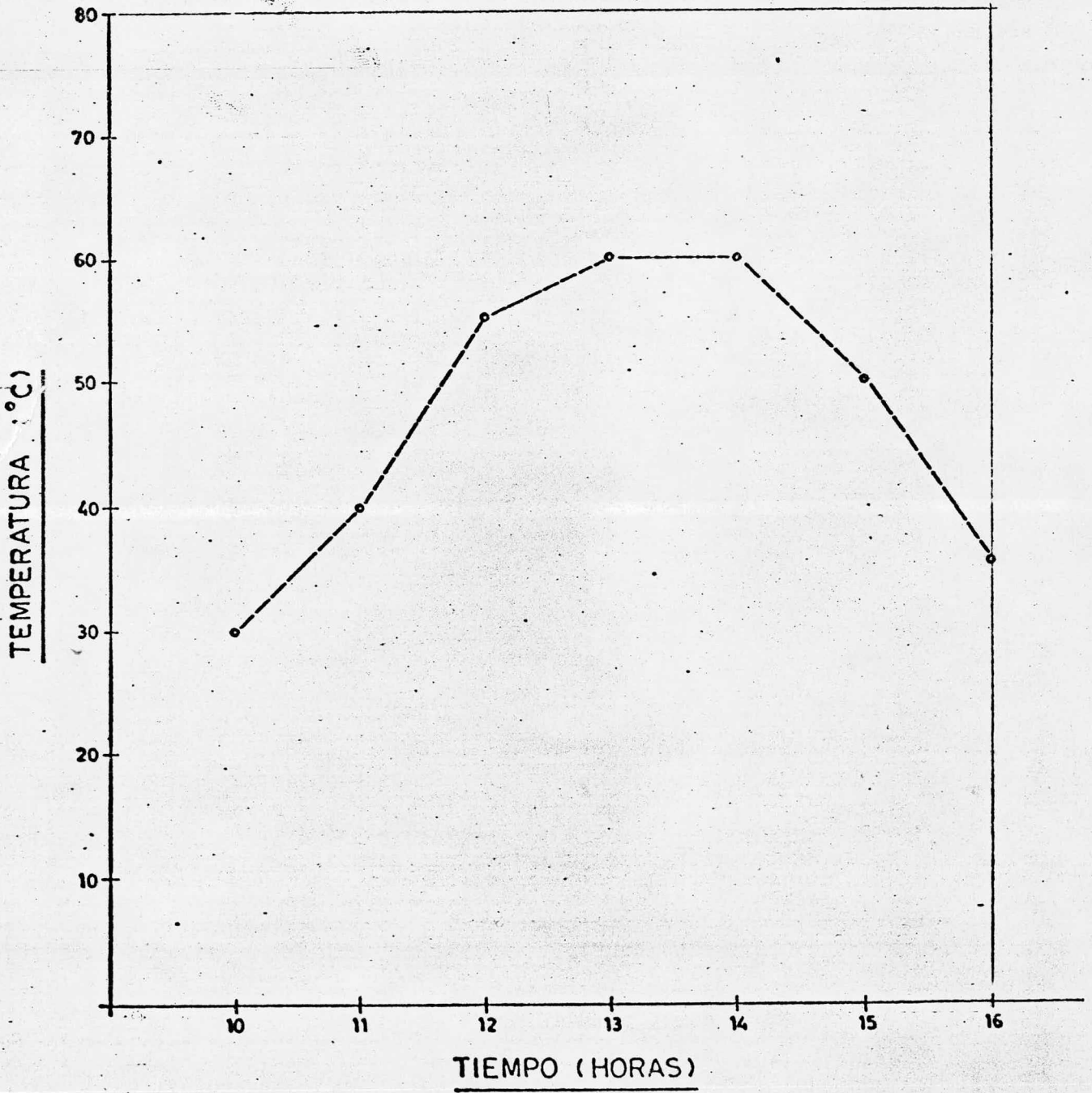


FIGURA No. (9).-TEMPERATURA VS. TIEMPO. SE TRABAJO CON RADIACION DIRECTA.

Como era de esperarse la pérdida de humedad al principio fué rápida; a pesar de tener dos días nublados, lo cual no favorece el secado, incluso se observó condensación de agua en la superficie del vidrio. A medida que la humedad disminuye, el agua remanente en el grano, es más difícil eliminarla debido a que se encuentra combinada con las proteínas y está sometida a fuerzas de atracción molecular. En la figura No. 10 se muestra la variación de humedad durante los días de prueba.

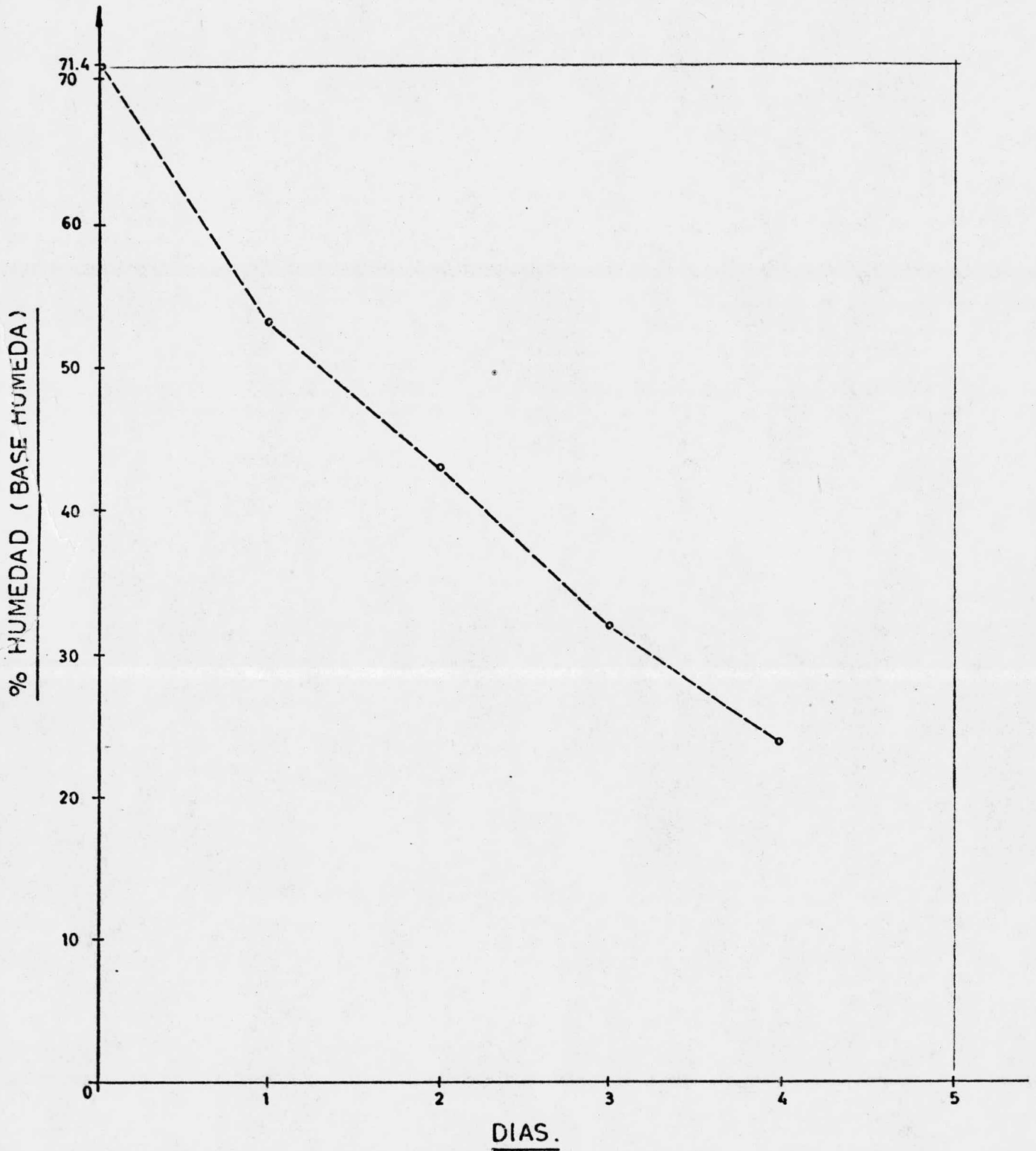


FIGURA No. (10).-PERDIDA DE HUMEDAD DEL GRANO DURANTE EL TRANCURSO DE CUATRO DIAS DE EXPOSICION A LA RADIACION SOLAR.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en el inicio de este trabajo y los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones.

Se lograron reunir todas las características que se requieren de un secador de grano aprovechando la radiación solar a escala de laboratorio. Se realizaron con éxito diferentes ciclos de secado obteniéndose grano con una humedad conveniente para conservarlo manteniendo sin alterar la calidad de sus productos finales, como harinas, por ejemplo.

Se adquirió un equipo versátil tanto en su construcción como en sus aplicaciones, el cual cumple con las condiciones de seguridad contra infestación de insectos y la acumulación de polvo en el grano. Además de cumplir con los objetivos del presente estudio tiene la capacidad para ser usado en pruebas de secado de otros tipos de productos agrícolas.

Tomando como base los resultados obtenidos se recomienda desarrollar un estudio en diferentes granos bajo condiciones climatológicas distintas, con la finalidad de extrapolar su aplicabilidad en diversas zonas del país.

Del estudio realizado se puede concluir además, que la energía solar en contraste con otras fuentes terrestres es limpia y no ocasiona contaminación y debido a su amplia gama de aplicaciones pueden ser aprovechadas en zonas con climas tropical, seco y húmedo, en calentamiento de agua, calefacción, ventilación de viviendas, destilación de aguas salobres, generación de electricidad y secado.

CAPITULO 8

B I B L I O G R A F I A .

- (1).- AMBRIZ G.J.J. Y GUERRERO C.H.R. " DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN ENFRIADOR NOCTURNO APROVECHANDO EL FENOMARO DE -- RADIACION SOLAR ", TESIS PROFESIONAL, FACULTAD DE QUIMICA, U.N.A.M., 1976.
- (2).- BRIAN J.B., " SOLAR ENERGY FOR MAN ", Mc. GRAW-HILL. - 1972.
- (3).- CHEREMISINOFF P. Y REGINO T., " PRINCIPLES AND APLICATION OF SOLAR ENERGY ", ANN ARBOR SCIENCE PUBLISHERS, INC. --- 1978.
- (4).- DANIELS F., " USO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR ", H. BLUME EDICIONES. 1978.
- (5).- DUFFIE J. AND WILLIAM B., " SOLAR ENERGY THERMAL ---- PROCESSES ", WILEY INTERSCIENCE PUBLICATIONS. 1970.
- (6).- " HOW TO MAKE A SOLAR CABINET DRYER FOR AGRICULTURAL -- PRODUCE ", BRACE RESEARCH INSTITUTE, MC. GILL UNIVERSITY, MARCH, 1965.
- (7).- KUDRETSELKUKM, ONER E. AND ARYURT M., " DEVELOPMENT, --- THEORICAL ANALYSIS AND PERFORMANCE EVALUATION OF SHELL-TYPE SOLAR DRIERS ", SOLAR ENERGY, VOL. 16 No. 2 PAGES. 81-88. OCTUBRE, 1974.
- (8).- MEINEL B.A. AND MEINEL P.M., " APPLIED SOLAR ENERGY ", ADDISON-WESLEY PUBLISHIG COMPANY. 1977.

- (9).- " PROGRAMA SOLAR TONATIUH ", SUBSECRETARIA DEL MEJORA-
MIENTO DEL AMBIENTE, S.A.P.
- (10).- RAMIREZ GENEL M., " ALMACENAMIENTO Y CONSERVACION DE -
GRANOS Y SEMILLAS ", CIA. EDITORIAL CONTINENTAL. 1968.
- (11).- SIEGEL R. AND HOWELL J., " THERMAL RADIATION HEAT ---
TRANSFER ", MC. GRAW-HILL KOGAKUSHA, LTD. 1972.