

FUES
1503-1506

P438e
1993
EJ. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



TRABAJO DE GRADUACION

"ESTUDIO Y EVALUACION COMPARATIVA DE MODELOS DE DESHIDRATADORES SOLARES DE GRANOS Y PROPUESTA DE UN MODELO MEJORADO"

PRESENTADO POR:

JAIME LUIS PEREZ MINERO

OSCAR HUBER RAMIREZ GOMEZ

SERGIO ANTONIO RAMOS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO



15101059
15101059

FEDERICO ANTONIO GUERRERO HERNANDEZ

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

JUNIO, 1993

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTRO AMERICA

Recibida: 04/ Junio/ 93



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA

SECRETARIO GENERAL

LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

ING. JUAN JESUS SANCHEZ SALAZAR

SECRETARIO

ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

DIRECTOR

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTORA

ING. DELMY DEL CARMEN RICO PERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADOR



Ing. ERNESTO SIGUENZA RAMIREZ



ASESOR



Ing. MIGUEL ALEJANDRO TEVEZ FUNES

ASESOR



Ing. ROBERTO ARVIDIO VILLALTA CARRILLO

DEDICATORIA

- A DIOS Todo Poderoso: Por permitirme llegar a esta altura de mi vida y lograr este triunfo.
- A MIS PADRES: Por su dedicación, comprensión, amor y apoyo.
- A MIS HERMANOS: Por su comprensión y paciencia..

GRACIAS

JAIME LUIS PEREZ M.

DEDICATORIA

- A DIOS TODO PODEROSO: Por todo.

- En memoria de mi Abuela: Antonia Ramírez.

- A mis Padres: Berta Julia Gómez.
Oscar Afrodisio Ramírez.
Por su amor y sacrificio.

- A mis Tios: Victorino Ramírez.
Concepción Ramírez.

Por su apoyo y cariño.

- A mi Novia: Lorena Mena.
Con todo mi amor.

- A mis Profesores, Compañeros y Amigos:
Por su apoyo y amistad.

HUBER RAMIREZ.

DEDICATORIA

A MI MADRE: Con todo el amor que se merece, este trabajo de graduación se lo dedico exclusivamente a la persona que con una huella de amor generó mi vida, que a pesar de las vicisitudes del hado, siempre permaneció atenta a mis necesidades.

Eternamente e infinitamente te estaré agradecido.

GRACIAS MODEST

SERGIO ANTONIO RAMOS

RECONOCIMIENTO

Se hace un reconocimiento a:

Ing. Miguel Alejandro Tevez Funes

Ing. Roberto Arvidio Villalta Carrillo.

Por el apoyo y colaboración para llevar a feliz término este Trabajo de Graduación.

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de una investigación experimental orientada a la recolección de datos que permite identificar un mecanismo de aprovechamiento de energía solar para el secado de granos.

Se incluye la base teórica necesaria para caracterizar los granos que se utilizarón en las pruebas.

Además se presenta una recopilación de datos obtenidos a través de una investigación de campo, sobre tipos de cultivo, áreas de producción, necesidades y problemas del secado de granos.

La parte experimental de este trabajo comprende la comparación de tres tipos de deshidratadores solares utilizados en la etapa de prueba, tomando como parámetros de comparación tiempo de secado, humedad removida, temperatura interna del aire en los deshidratadores. En este estudio se determinó que el deshidratador solar de caja caliente presentó los mejores resultados de secado en los diferentes granos utilizados durante las pruebas, en orden descendente en cuanto a resultados obtenidos se encuentra el deshidratador solar de gabinete y el deshidratador solar artesanal.

Se realizaron tres tipos de prueba utilizando maíz, frijol y arroz. Los datos obtenidos en la fase experimental fueron comparados contra los datos del secado tradicional en cuanto a fibra cruda, proteína, ceniza, grasa y carbohidrato, determinandose que no existe variación significativa entre ellos. La comparación muestra una reducción promedio de 56.7% con respecto al tiempo de secado tradicional.

Se contempló así mismo la validación de un modelo matemático para la predicción del comportamiento de los deshidratadores solares, mediante la comparación de parámetros teóricos y experimentales, resultando un error máximo de 8.6%. Tomando en cuenta el diseño funcional de los deshidratadores su versatilidad y duración, se determinó que el modelo a mejorar es el deshidratador solar de gabinete.

Se incluye una guía de mejoras para el deshidratador solar seleccionado.

INDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCION	ii

CAPITULO I

ANTECEDENTES, IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS DE SECADO Y GENERALIDADES DE LOS GRANOS BASICOS

I.1 Usos de la Energía Solar en El Salvador para Secado	1
I.2 Localización e Identificación de Cultivos en El Salvador y sus Problemas	12
I.3 Generalidades sobre los Granos Básicos	15
I.3.1 Clasificación del Maíz	15
I.3.2 Clasificación del Maicillo	19
I.3.3 Clasificación del Frijol	22
I.3.4 Clasificación del Arroz	24
I.4 Epocas de Cultivo y Recolección de los Granos Básicos.	27
I.4.1 Cultivo del Maíz	29
I.4.2 Cultivo del Frijol	31

I.4.3	Cultivo del Arroz	33
I.4.4	Cultivo del Sorgo	34
I.5	Criterios de Selección de los Granos Básicos a Secar en la Etapa Experimental	34

CAPITULO II

MODELOS DE DESHIDRATADORES SOLARES PARA LA ETAPA EXPERIMENTAL

II.1	Deshidratador Solar Artesanal	36
II.2	Deshidratador Solar de Caja Caliente	39
II.3	Deshidratador Solar de Gabinete	42
II.4	Comparación de los Modelos de Estudio	45
II.4.1	Comparación Térmica	45
II.4.2	Comparación Estructural	46
II.4.3	Estimación de la Vida Util	47

CAPITULO III

MODELOS MATEMATICOS DE ANALISIS

III.1	Análisis del Modelo Matemático para el Colector Solar	49
III.2	Balance de Masa y Energía para	

el Colector Solar	64
III.2.1 Balance de Masa	64
III.2.2 Balance de Energía	64
III.2.2.1 Balance de Energía del Aire en el Volumen de Control	72
III.2.2.2 Balance de Energía en la Gaveta del Producto	75
III.2.2.3 Balance de Energía en la Cubierta Transparente	77
III.3 Descripción del Programa para la Solución del Modelo Matemático.	78

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

IV.1 Variables de Operación Medidas en la Fase Experimental	86
IV.1.1 Variables con respecto al Secado	86
IV.1.2 Variables con respecto a las Condiciones Climatológicas	88
IV.2 Ubicación del Sitio de Pruebas	89
IV.3 Descripción del Equipo Utilizado	90
IV.3.1 Deshidratador Tipo Artesanal	91

IV.3.2	Deshidratador de Caja Caliente	91
IV.3.3	Deshidratador de Gavinete	92
IV.4	Relación de las Pruebas	93
IV.4.1	Datos Obtenidos	94
IV.5	Gráficas de Humedad Absoluta del Aire y Secado por Lotes de los Granos	100
IV.5.1	Análisis de Gráficas de Humedad Absoluta del Aire y Secado por Lote	100
IV.5.2	Análisis de las Gráficas de los Datos Climatológicos.	115
IV.6	Análisis de los Granos Deshidratados en la Etapa Experimental	119
IV.7	Comparación de los Resultados Teóricos y Experimentales del Deshidratador Solar de Gabinete.	124

CAPITULO V

SELECCION Y MEJORAS TECNICAS PARA EL DESHIDRATADOR SOLAR DE MEJOR APROVECHAMIENTO ENERGETICO Y TECNOLOGICO

V.1	Selección del Deshidratador Solar	126
V.2	Adecuación del Modelo Seleccionado	128
V.2.1	Colector Solar	128
V.2.2	Gabinete del Deshidratador	133
V.2.2.1	Cámara de Pleno	133

V.2.2.2	Cámara de Secado	140
V.2.3	Gabeta para Deshidratar Carne y Pescado	151
V.2.4	Gabetas para Deshidratador Frutas y Legumbres	152

Referencias Bibliográficas

Anexos

INTRODUCCION GENERAL

Los grandes avances que el hombre ha dado en materia de ciencia y tecnología, no siempre han aportado el medio más adecuado de desarrollo, ya que la contaminación y el deterioro del medio en que vivimos esta llegando a su límite. El Salvador es uno de los países de Latinoamérica con mayores problemas de esta naturaleza, por tal motivo la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, como ente responsable de buscar soluciones de carácter tecnológico ha realizado una serie de investigaciones para proponer soluciones, tales como la aplicación de la energía solar en diferentes áreas.

La agricultura es la principal fuente de riqueza del país donde los cereales y leguminosas constituyen sus principales cultivos y la producción de estos se ve afectada por los problemas generados por los métodos tradicionales de secado, debido a esto se realiza un vigoroso esfuerzo en la investigación experimental del secado de granos básicos utilizando deshidratadores solares.

Los antecedentes que existen en el país sobre el uso, aplicación y construcción de deshidratadores solares son pocos y realizados por Universidades privadas. Es por eso que el objetivo fundamental de este trabajo es la comparación de dispositivos solares de deshidratación de granos, que de acuerdo con criterios sociales, técnicos, económicos y energéticos, permitan identificar el diseño más adecuado para solventar los posibles problemas que aquejan en la población agrícola del país, de tal manera contar con bases de producción más eficientes.

Para ello, el presente trabajo se ha determinado el siguiente ordenamiento de los capítulos:

En el Capítulo I, se determinan los trabajos precedentes a este, se identifican los lugares y los cultivos de mayor volumen en el país, los problemas de secado de estos cultivos, así como también las generalidades de los granos básicos. El Capítulo II describe los tres tipos de deshidratadores solares utilizados en la etapa experimental. En el Capítulo III, se desarrolla un modelo matemático de análisis, para predecir el comportamiento de los deshidratadores solares. En el Capítulo IV, se realiza un análisis de los resultados teóricos y experimentales obtenidos en la etapa experimental. El Capítulo V presenta una serie de

sugerencias para el mejoramiento técnico del funcionamiento del deshidratador solar. Para finalizar se realiza un análisis comparativo de costos de fabricación y sus respectivas vidas útiles en cada deshidratador.

CAPITULO I

ANTECEDENTES, IDENTIFICACION DE LOS PROBLEMAS DE SECADO Y GENERALIDADES DE LOS GRANOS BASICOS.

I.1 USOS DE LA ENERGIA SOLAR EN EL SALVADOR PARA SECADO.

La energía solar que es la fuente de casi todas las formas de energía existente sobre la tierra, es utilizada en nuestro país en forma directa e indirecta, estas formas de aprovechamiento de energía son utilizadas principalmente en las zonas rurales en forma empírica.

Una forma directa de aprovechamiento de la energía solar es la de secado de granos ya sea para almacenar o para la venta rápida del grano. En este tipo de secado el grano se expone directamente a los rayos solares, colocándolos sobre una superficie lisa, toldos o tarimas, los cuales deben removerse constantemente, este proceso de secado presenta las desventajas siguientes:

- A. Requiere personal permanente para el cuidado y remoción del grano.
- B. Está expuesto a los cambios bruscos de temperatura.
- C. Está expuesto a las aves e insectos.
- D. Está expuesto a la contaminación ambiental.

La forma indirecta de aprovechamiento de energía solar es a través de residuos vegetales, hidrocarburos e hidroelectricidad.

El consumo de medios indirectos de energía solar hasta el año 1986 representaban las siguientes cifras: hidrocarburos 71 %; residuos vegetales 12%; hidroelectricidad 17%. (1)

Los datos anteriores muestran una marcada dependencia de las formas indirectas de energía solar.

Aunque el secado solar es uno de los usos más antiguos de la energía solar, una gran proporción de las cosechas del mundo son todavía preservadas por métodos muy primitivos tal es el caso del secado a exposición directa, si bien es una forma efectiva y barata para muchos productos agrícolas ya que no requiere mucha inversión de capital para equipo, aunque sí de mano de obra.

Para satisfacer los mercados más exigentes en cuanto a calidad y cantidad es imprescindible disponer de secadores de gran volumen y en consecuencia se debe utilizar energía auxiliar en los secadores. Luego se hace más práctico operar estos medios auxiliares en una forma continua por

convección forzada. De ahí el incremento de la instalación de secados de granos es cada vez más importante, lógicamente la disponibilidad de energía eléctrica y demás combustibles contribuyen a la expansión de este tipo de instalaciones que ofrecen una deshidratación más eficiente y rápida en los productos agrícolas.

Pero debido a los altos costos de los combustibles, se busca perfeccionar el secado solar implementando el mejor aprovechamiento de la energía recibida. Mediante la aplicación del conocimiento y técnicas de energía solar se llegó a la construcción de los secadores solares.

Con el fin de identificar el estado actual en el desarrollo que ha tenido la investigación de los secadores solares en El Salvador se presenta la siguiente información:

- Centro Nacional de Tecnología Agrícola (CENTA):

Se mostró un gran interés acerca del tema, debido a que en ésta institución se han desarrollado pruebas de deshidratación solar de productos tales como: maíz, frijol y pescado; estas experiencias se realizaron gracias a un acercamiento entre el Ministerio de Agricultura de Brasil y

el CENTA, por medio de la FAO.

No se encontró la información de los resultados de dichas pruebas, debido a que un movimiento de personal ocasionó el extravío de la información; la única información acerca de los trabajos desarrollados se extrajo del período de almacenamiento CEGRAS, año II, volumen 4, Octubre del 83, informe técnico que se presenta en el anexo I.

- **Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA):**

En esta institución se encontró información técnica (trabajo de graduación), acerca de algunos trabajos realizados en esta área de interés, los cuales se resumen a continuación:

A- Diseño y Construcción de un Secador de Convección Natural, Utilizando Energía Solar.

En este trabajo se presentan las aplicaciones del secador en varios granos como el arroz, maíz y frijol, como también el proceso de secado del pescado, ropa y tabaco. En cada producto a secar se presenta un análisis detallado; en el caso de los granos se presentan las épocas de

recolección, cosecha, contenidos de humedad del grano, temperaturas máximas recomendables para no dañar el producto, porcentajes de humedad recomendados para efectos de almacenaje, regímenes de secado, características particulares que deben cumplir los granos antes de secarlos y los análisis de los resultados de las pruebas. En el secado de tabaco se trabajó únicamente en la etapa de amarilleo. (2)

B- Secado de Granos de Café, con un Secador Solar de Cabina.

Básicamente, en este trabajo de graduación se presenta la comparación de dos métodos de secado: el secado en patio abierto y el secado solar de cabina. El contenido de humedad que se buscaba alcanzar en el café era del 13%. Los parámetros que gobernaron estas pruebas fueron: hora del día, temperatura interna de la cabina, temperatura ambiente, condiciones del viento, nubosidad y porcentaje de humedad del producto. El tiempo que se tardó el secador solar de cabina fue de 3 días con un contenido de humedad de 9.8%, mientras que el proceso de secado de patio abierto se realizó en un período de cuatro días, con un contenido de humedad de 11.3% (3)

- Universidad de El Salvador (UES):

Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Escuela de Ingeniería Mecánica.

En dicha escuela se presentaron dos trabajos:

A- "Diseño, Construcción y Pruebas de un Deshidratador Solar de Productos "Agropecuarios", en el cual se encuentra una análisis matemático a un deshidratador solar de caja caliente, así como pruebas realizadas con frijol. El proceso de deshidratación del frijol se inició con un frijol con un alto contenido de humedad (49.47%), y con un peso de 20.811 Kg. El proceso duró quince y media hora y se obtuvo un peso final de 10.785 Kg. y una humedad del 10%. Para mayor información acerca de dicho proceso de secado solar, consultar la referencia bibliográfica. (4)

B- El segundo trabajo es la construcción de un deshidratador solar de gabinete, el cual consta de un colector solar plano que precalienta el aire antes de entrar a la cabina, que es donde se depositan los productos. El deshidratador no ha sido probado experimentalmente.

- Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL):

Evaluación de un Secador de Maíz utilizando Energía Solar.

Departamento: Fuente no Convencionales de Energía.

Superintendencia: Desarrollo y Conservación de Recursos Naturales.

Gerencia: TECNICEL.

Se encuentra un deshidratador artesanal, que consiste en una cama de madera con una cubierta superior de plástico transparente y las paredes laterales de plástico negro, con una chimenea que es en donde se evacúa el aire caliente después del proceso, manteniendo de esta forma una circulación constante de aire natural. Su construcción se basa en un modelo desarrollado en Brasil.

Además de la información anteriormente presentada que indican estudios ya realizados, se estimó conveniente averiguar en instituciones privadas o públicas, si existen futuros proyectos encaminados al desarrollo de los deshidratadores solares, para lograr tal objetivo se realizaron visitas a dichas instituciones, el resultado fue el siguiente:

1- Asociaciones Profesionales e Instituciones Ecológicas:

- CESTA, (Centro Salvadoreño de Tecnología Apropriada).
- ASIMEI, (Asociación Salvadoreña de Ingenieros Mecánicos, Eléctricos e Industriales).
- AMAR, (Asociación Amigos del Mar).
- FUNDACION ECO-ACTIVO 20-30.
- SIADES, (Sociedad de Ingenieros y Arquitectos de El Salvador).
- ASIA, (Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos).

Algunas de estas instituciones fueron creadas con el objeto de luchar por recuperar y conservar el equilibrio del ecosistema nacional, a fin de lograr la supervivencia ecológica del país. Los organismos no gubernamentales (ONG) se han dedicado específicamente a campañas como: conservación y desarrollo de parques nacionales y programas de educación ambiental a nivel nacional, identificando de esta manera que sus objetivos no son la utilización de nuevas formas de energía para evitar la contaminación.

Algunas de estas asociaciones tienen solamente información teórica básica sobre la utilización de la energía solar como medio no contaminante, sin embargo el

nivel técnico de esta información no contribuye a las perspectivas de este trabajo.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG):

En esta institución se visitó el Departamento de Recursos Naturales en donde se centraliza el manejo de los datos climatológicos y metereológicos para El Salvador. Este centro de investigación metereológico, nunca ha desarrollado investigación en esta área, a la fecha no hay proyectos propuestos.

- Escuela Nacional de Agricultura (ENA):

Se visitó la biblioteca, teniendo acceso a información referente a bibliografía y trabajos realizados; dicha información se revisó y no se encuentra ningún trabajo sobre energía solar.

2) Entidades Comerciales e Instituciones Nacionales que Prestan Servicios y Asesoría al Agro:

- AGROPECUARIA GRANADA:

Institución de carácter privado que presta asesoría específicamente en el área de la ganadería y concentrados, pero podrían interesarse en secadores solares, a pesar de que no tienen ninguna iniciativa en este sentido.

- EL SURCO,
- SEMILLAS S.A.,
- MOTRISA,
- PROTECNO,
- AGROCONSA S.A. DE C.V.
- FARRAR S.A. DE C.V.
- BAYER,
- FERTICA.

Empresas de carácter privado cuyas principales áreas de servicio y asesoría enfocan los agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas, plagicidas, etc.), técnicas y tratamientos de semillas (técnicas de siembra y mejoramiento de especies). No atienden aspectos de procesamiento, cosecha o secado de granos. Además, brindan asesoría y servicios técnicos en cuanto a equipos de fumigación, siembra, riego, bombeo y transporte.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG):

Institución gubernamental que rige el quehacer agropecuario en el país presta servicios de asesoría técnica a los agricultores y ganaderos por medio de una red de oficinas ubicadas en todos los municipios y áreas agropecuarias más importantes del país, así como por medio de sus dependencias como CENTA Y CEGA; la primera dirigida al área agrícola y la segunda al área de la ganadería.

Se limita a la asesoría agrícola en tópicos como preparación de suelos y técnicas de siembra, cultivo y recolección de cosechas. El secado y el almacenamiento nunca han sido investigados y dejan que los agricultores los realicen en forma tradicional.

- Banco de Fomento Agropecuario (BFA) y Financiera Nacional de Tierras Agrícolas (FINATA):

Instituciones gubernamentales cuyos principales campos de acción se limitan a la asesoría legal y al financiamiento de cooperativas y agricultores particulares. Cuenta con departamentos de asesoría técnica, en aspectos no relacionados con energía solar.

I.2 LOCALIZACION E IDENTIFICACION DE CULTIVOS EN EL SALVADOR Y SUS PROBLEMAS DE SECADO.

Con el propósito de conocer las localidades, cultivos y sus respectivos problemas de secado, se realizaron una serie de visitas en algunas asociaciones agrícolas ubicadas en las zonas del país. Para ello se emplearon dos técnicas: la primera, una entrevista con el encargado de la cooperativa o la persona que tuviese mayor conocimiento del tema. La segunda técnica fue la resolución de un cuestionario preelaborado mostrado en el anexo I.

La tabla I.1 presenta los resultados de las visitas realizadas.

TABLA I.1 RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES DE CAMPO.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	NOMBRE DE HACIENDA	GRANO CULTIVADO	PROBLEMA DE SECADO
SONSONATE	CALUCO	PLAN DE AMAYO	MAIZ, FRIJOL, ARROZ, AJONJOLI.	EXCESIVO VIENTO, LLUVIA E INSECTOS.
	IZALCO	LAS LAJAS	CAFE, MAIZ Y FRIJOL.	POCO ESPACIO DE SECADO, EXCESIVOS INSECTOS.
	SAN JULIAN	LOS LAGARTOS	CAFE, MAIZ, FRIJOL, ARROZ, MAICILLO, CAÑA DE AZUCAR.	EXCESIVA CANTIDAD DE INSECTOS Y LLUVIA.
LA LIBERTAD	COLON	ZAPOTITAN	FRIJOL Y HORTALIZAS.	EXCESIVA CANTIDAD DE INSECTOS Y LLUVIA.
	COLON	SAN ANDRES	FRIJOL, MAIZ, SORGO, HORTALIZAS.	NO PRESENTA PROBLEMAS DE SECADO.
	COLON	PASATIEMPO	CAFE, MAIZ.	NO PRESENTA PROBLEMA DE SECADO.
SAN SALVADOR	SAN SALVADOR	APOPA	SORGO	PROBLEMAS DE ESPACIO E INSECTOS.
LA PAZ	SAN LUIS TALPA	ASTORIA	MAIZ, SORGO, FRIJOL.	EXCESIVO VIENTO, INSECTOS Y LLUVIA.
	ZACATECOLUCA	ESCUINTLA	MAIZ, SORGO, ARROZ.	EXCESIVO VIENTO, INSECTOS Y LLUVIA.
SAN VICENTE	SAN VICENTE	LEMPA ACAHUAPA	MAIZ, FRIJOL, ARROZ, HORTALIZAS.	NO PRESENTA PROBLEMAS DE SECADO.
SAN MIGUEL	SAN MIGUEL	SAN FRANCISCO ANCHICO	CAÑA, ALGODON.	LLUVIA, INSECTOS.
	CHAPELTIQUE	SINGALTIQUE	SORGO FORRAGERO	VIENTO, LLUVIA.
	SAN MIGUEL	LA ESPERANZA	MAIZ, FRIJOL.	VIENTO, LLUVIA.

USulután	Jiquilisco	El Tercio	Maíz, sorgo, arroz.	Lluvia, insectos, viento.
	Jiquilisco	Valle de San Juan No 1	Maíz, sorgo.	Lluvia, insectos, viento.
La Unión	San Alejo	La Maltez	Sorgo.	Lluvia, insectos.
	Conchagua	San Ramon	Sorgo forragero, algodón.	Viento, insectos.
	El Carmen	El Guanacastal	Maíz, sorgo.	Lluvia, insectos, viento.

La tabla I.1 muestra que los mayores problemas de secado se dan por excesiva cantidad de insectos que atacan los granos cuando éstos están en el período de secado; el viento y la lluvia hacen más aguda esta situación. Lo anterior conlleva a dos situaciones: una de disminución en la producción, con ello una alza en los precios del producto, y un ineficiente uso de la energía solar, debido a la falta de mecanismos apropiados, ya que la mayoría de haciendas-cooperativas se encuentran en una zona de mucha incidencia solar y el secado se realiza a la intemperie. Se observa además que los cultivos más comunes en las zonas visitadas son: maíz, frijol, arroz y sorgo los cuales representan los granos básicos en El Salvador.

Para tener un mayor conocimiento de la representatividad de la producción de los granos básicos se presentan los volúmenes de producción de los últimos diez

años en el anexo I.

Para conocer más a fondo las características de estos granos se realizó una investigación bibliográfica sobre sus generalidades.

I.3 GENERALIDADES SOBRE LOS GRANOS BASICOS.

Para clasificar un tipo de grano es necesario establecer su tamaño, color, textura, fisiología y composición. A continuación se presentan los datos más importantes que caracterizan a los granos básicos.

I.3.1. CLASIFICACION DEL MAIZ.

Se entiende como maíz desgranado, el conjunto de granos enteros y quebrados procedentes de cualquier variedad de la gramínea "Zea Mays". El maíz se clasifica comercialmente en base a su color y textura. De acuerdo a su color, se agrupa en tres clases: blanco, amarillo y mezclado, y de acuerdo a su textura en tres tipos: dentado, duro (tipo flint) y mixto. (5)

Las definiciones en cuanto a tipo y clase varían de país a país, y de año con año, de acuerdo a políticas o

lineamientos técnicos. Ejemplo: para las normas centroamericanas, el maíz clase blanco será todo lote de granos que presentan dicha característica, un ligero color pajizo claro, cremoso o rosado en los granos no afecta su clasificación como tal. Esta clase no podrá tener más de 6% de maíz de otros colores. En cambio, en las normas norteamericanas, maíz blanco será todo lote de granos que presentan dicha característica y puedan contener no más del 2% de granos de maíz de otros colores. (5)

Otros factores que deben tomarse en cuenta para la clasificación del maíz son: el porcentaje de impurezas, el contenido de humedad, el peso específico, los granos dañados por insectos, roedores, hongos, pájaros y la cantidad de granos no desarrollados. (5)

El maíz dentado tiene un hundimiento en la corona del grano, debido a la continuación natural de una zona del endosperma almidonoso, relativamente blando. El maíz duro tiene una capa córnea del endosperma, más duro en la zona de la corona y disminuye el tamaño durante el secado, de modo que no forma ningún hundimiento. (6)

El maíz está formado generalmente por su propia envoltura, el tejido celular, el endosperma y el germen,

los cuales se detallan a continuación: (6)

1. Envoltura y capa hylar.
2. Pericarpio a) Epidermis, mesocarpio, células cruzadas, células tubiformes.
 b) Región sedosa de enlace.
 c) Capelo.
3. Endosperma. a) Capa celulosa exterior.
 b) Endosperma almidonado.
 c) Eje embrionario.
 d) Cutícula del germen.
4. Germen.

En la tabla I.2 se presentan las variedades de maíz y sus características más importantes. Estas son las que actualmente están a disposición del agricultor y que se recomiendan sembrar.

TABLA I.2 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DE VARIEDADES DE
MAIZ RECOMENDADAS.

CARACTERISTICAS	H-3	H-5	H-101	H-8
COLOR DEL GRANO	BLANCO	BLANCO	AMARILLO	BLANCO
DIAS DE FLOR	56	58	57	57
DIAS DE COSECHA	95	110	110	100
ALTURA DE MAZORCA (cm)	140	155	155	155
ALTURA DE PLANTA (cm)	240	258	258	250
RENDIMIENTO (QQ/Mz)	80	90	90	90

REF. (6).

Todas estas variedades se adaptan a altitudes de 0 a 900 metros sobre el nivel del mar. Los híbridos H-5 y H-8 poseen un buen potencial de rendimiento, ya que en condiciones de buen manejo pueden llegar a producir hasta 100 quintales por manzana. El híbrido H-3 se recomienda para zonas costeras, el H-5 se recomienda para valles intermedios de 450 a 900 metros sobre el nivel del mar; mientras el H-8 se recomienda desde los 400 hasta 1750 metros sobre el nivel del mar. El híbrido amarillo H-101, se adapta a zonas ecológicas de 0 a 900 metros sobre el nivel del mar. (6)

Para el maíz se recomienda que el contenido de humedad para su almacenaje sea del 10% al 13%. (4)

I.3.2 CLASIFICACION DEL MAICILLO.

Maicillo es el conjunto de granos enteros y quebrados procedentes de cualquier variedad granífera del "Sorghum Vulgare". (5)

El maicillo se clasifica por su color en diferentes clases comerciales: blanco, amarillo, rojo, moreno y mezclado; las respectivas proporciones en la masa no podrán ser inferiores al 90% de granos enteros excepto en la clase mezclada; las respectivas producciones en la masa no podrán ser inferiores al 90% de granos enteros excepto en la clase mezclada. La clase mezclada comprende la mezcla de sorgo de diversos colores que tengan más de un 10% de una clase dentro de la otra (normas centroamericanas). (5)

Otros factores que influyen en la clasificación del sorgo son: el contenido de humedad, el porcentaje de impurezas, el grano quebrado, el grano dañado, los granos contrastantes y los granos no desarrollados. El sorgo, son los granos más pequeños entre los cereales, que se utilizan comúnmente para alimento humano y su forma es más o menos esférica. La mayoría de los sorgos son variedades híbridas de dos grupos principales: los sorgos que tienen grano de tamaño mediano, y color blanco, rosado, rojo y los sorgos

"milos" que tienen granos grandes de color blanco salmón. La harina producida por la molienda del grano se oxida fácilmente y por ese motivo es que cuando se le necesita se muele. (6)

Las características agronómicas de las variedades de sorgo que se recomiendan actualmente, se describen en la tabla I.3.

TABLA I.3 CARACTERISTICAS AGRONOMICAS DE VARIEDADES DE SORGO DISPONIBLE PARA LOS AGRICULTORES.

VARIEDAD	DIAS DE FLORACION	DIAS DE COSECHA	COLOR DEL GRANO	RENDIMIENTO (Tn/Mz)
CENTA S-1	62	90	BLANCO	3.5
CENTA S-2	65	100	BLANCO	3.0
CENTA S-2 (f)	65	70	SALMON	5.5
CENTA SH-500	58	85	ANARANJADO	4.0

REF. (6)

La tabla I.3 presenta las características principales que deben reunir las variedades de sorgo en El Salvador. Los propósitos de uso son los siguientes:

Para grano:

a) Altura de Planta: de 0.90 a 1.70 metros,

consideradas variedades enanas o intermedias, y que faciliten la cosecha y el control de las plagas.

- b) Color del Grano: Rojo, amarillo, si se va a utilizar para la alimentación animal, y blanco o crema para el consumo humano.
- c) Ciclo Vegetativo: de 95 a 100 días, y que permitan cosechas de primera, postrera o de ambas.

Para Forraje:

- a) Altura de Planta: de 2.5 a 3.5 metros, consideradas variedades altas, vigorosas, de alto contenido de azúcar y palatables.
- b) Ciclo Vegetativo: corto o mediano, que permitan dos cosechas de abundante forraje verde.

En este grano el porcentaje de humedad recomendado para almacenaje oscila entre 9% al 11%. (4)

I.3.3 CLASIFICACION DEL FRIJOL.

Se entiende como frijol, el conjunto de granos enteros, quebrados o abiertos longitudinalmente de cualquier variedad de la leguminosa "Phaseolus Vulgaris".(5)

La clasificación del frijol se hace en base a su color y se agrupa en las siguientes clases comerciales: negro, rojo, blanco, mezclado. (5)

Dentro de las principales clases se tienen los guisantes (chícharos), frijoles (alubias), abichuelas, habas y lentejas. Aunque estas semillas son de tamaño y de forma diferentes, su estructura básica es similar. Cada una tiene una cubierta exterior (testa), protectora de la semilla, que es indigerible y tiene poco valor nutritivo. Esta cubierta encierra los cotiledones que envuelven el diminuto embrión vegetal. (6)

Hablando en sentido estricto, los cotiledones son parte del embrión y no hay ninguna reserva extra acumulada de alimentos o endosperma tal como se encuentra en los cereales. Todas las reservas alimenticias proteínicas y de carbohidratos están almacenados en los dos cotiledones. (6)

Otros factores de clasificación del frijol son: el contenido de humedad, las impurezas, los granos partidos, las clases contrastantes, las clases mezclables, el tiempo de cocción, el peso específico, los granos no desarrollados (normas centroamericanas). (5)

Los factores antes expuestos están definidos y limitados por cada país para efecto de transacciones comerciales, extrarregionales o intra regionales. (5)

La tabla I.4, presenta la descripción de las variedades de frijol recomendadas para sembrar.

TABLA I.4 VARIEDADES DE FRIJOL RECOMENDADAS PARA SEMBRAR.

VARIEDAD	DIAS A FLORACION	DIAS DE COSECHA	COLOR DEL GRANO	RENDIMIENTO (QQ/Mz)
SELECCION 184-N	60	70	NEGRO	25
PORRILLO-70	65	75	NEGRO	25
CENTA-CHALCHUAPA	60	70	NEGRO	30
ROJO-70	60	75	ROJO	30
ROJO DE SEDA	60	75	ROJO	25
CENTA-NAHUIZALCO	55	75	ROJO	25
CENTA-NAHUIZALCO	55	60	NEGRO	20

REF. (6)

Estas variedades de frijol cuyo hábito de crecimiento es de semiguía, se adaptan a alturas entre los 400 y 1200 metros sobre el nivel del mar. La tabla presenta algunas variedades de frijol criollo que han sido seleccionados por

su buen potencial de rendimiento, el porcentaje de humedad para almacenaje de éste grano oscila entre 9% al 13%. (4)

I.3.4 CLASIFICACION DEL ARROZ.

Se entiende por arroz cáscara el conjunto de granos procedentes de cualquier variedad, de la gramínea "Oriziza Sativa"; el conjunto de la masa deberá estar formado por más del 98% de granos, sin que les haya removido la cascara (glumas). (5)

El arroz (ya sea en granza, descascarado o elaborado), se clasifica en los siguientes tipos comerciales: largo, extralargo, mediano, corto y mezclado (normas centroamericanas). (5)

- Tipo Largo: estará formado por todas las variedades de arroz, cuyos granos elaborados midan de 6.0 a 6.9 milímetros de longitud. (5)
- Tipo Extra-Largo: estará formado por todas las variedades de arroz, cuyos granos elaborados midan más de 7 milímetros de longitud. (5)
- Tipo Mediano: Estará formado por todas las variedades

de arroz, cuyos granos elaborados midan de 5.0 a 5.9 milímetros de longitud. (5)

- Tipo Corto: Este tipo comprende la mezcla de granos de arroz, cuyos granos elaborados miden menos de 5.0 milímetros de longitud. (5)

- Tipo Mezclado: Este tipo comprende la mezcla de granos de arroz en cáscara de diversos tamaños, que contenga más del 12% de un tipo dentro de otra. (5)

El arroz difiere de los demás cereales porque esta envuelto por hollejo construido por dos cáscaras duras unidas por los bordes. (6)

Este hollejo esta con el germen y las capas de salvado se eliminan durante el proceso de depilado, con el objeto de producir grano limpio, entero y no quebrado. Esta constituido casi en su totalidad por el endosperma. (6)

Debido a la mayoría de los elementos nutritivos están concentrados en el germen y el salvado que se elimina en el pilado, se remoja el arroz con cáscara durante varias horas, acción que permite que algunos elementos nutritivos como la vitamina B1 (tiamina) se difundan en el endosperma,

antes que se elimine el germen, se conoce como arroz precocido, cuyo valor nutritivo es más elevado que el de el producto pulido. (6)

Las características de las diversas variedades de arroz que se recomienda sembrar, se encuentran detalladas en la tabla I.5.

TABLA I.5 CARACTERISTICAS DE LAS VARIEDADES DE ARROZ QUE SE RECOMIENDA SEMBRAR.

VARIEDADES	DIAS DE FLORACION	CICLO VEGETATIVO DIAS	CLASIFICACION GRANO
X-10	90 A 100	120 A 130	LARGO
CICA-4	90	120	LARGO
CICA-6	85 A 90	115 A 125	LARGO
CICA-9	90 A 100	120 A 130	LARGO

REF. (6)

Estas variedades han sido estudiadas en condiciones locales y son las que ofrecen mejores posibilidades de producción. La producción de estas variedades oscila entre 70 y 100 quintales por manzana; además del contenido de humedad para el almacenaje de dicho grano oscila entre 10% al 12%. (4)

I.4 EPOCAS DE CULTIVO Y RECOLECCION DE LOS GRANOS BASICOS.

A continuación se presenta la información referente a los departamentos en donde se identifica el tipo de cultivo, épocas estacionales de siembra y recolección de granos básicos en El Salvador.

TABLA I.6 CULTIVO POR DEPARTAMENTO, EPOCAS DE SIEMBRA Y RECOLECCION DE GRANOS BASICOS.

MESES		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
		N	E	A	B	A	U	U	G	E	C	O	I
DEPARTAMENTO	CULTIVO	E	B	R	R	Y	N	L	O	P	T	V	C
AHUACHAPAN	MAIZ				---	---	---	---	---	---	---	---	
	FRIJOL								---	---	---	---	---
	ARROZ					---	---	---			---	---	---
	SORGO	---							---	---			---
SANTA ANA	MAIZ								---	---	---	---	---
	FRIJOL	---						---	---	---		---	---
	ARROZ								---	---		---	---
	SORGO	---							---	---		---	---
SONSONATE	MAIZ	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	FRIJOL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	ARROZ	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	SORGO	---							---	---		---	---

desarrolla entre los meses de Mayo-Agosto o Junio-Septiembre, siendo la época de recolección entre los meses de Agosto-Noviembre o Septiembre-Diciembre respectivamente. Como se nota en la tabla I.6, en el Departamento de Sonsonate el cultivo del maíz se desarrolla en todo el año.

Es importante mencionar que la mayoría de maíz que se da en apante (por regadillo), es sólo para elote.

Las condiciones óptimas para los cultivos de maíz son temperaturas mayores de 20°C y lluvias de 600 a 1000 milímetros por año. Algunas variedades crecen en 90 días en tanto que otras necesitan el doble de ese tiempo. Agrupadas de acuerdo con las formas de cultivo (maíz temprano, maíz de temporal, maíz de cuarentena, etc.) existen más de 1000 variedades de la preciada gramínea. (6)

En la tabla I.6, muestra que las fechas de siembra del maíz varían de un lugar a otro, dependiendo del ciclo, de la variedad y de las condiciones ecológicas de la zona, sin embargo es recomendable efectuarlas cuando la época lluviosa esté bien establecida. Las épocas de siembra se dividen en: primera (Mayo-Junio), postrera (Junio-Septiembre) y de riego (todo el año).

1.4.2 CULTIVO DEL FRIJOL.

Dentro de las diversas variedades de frijol cultivados en El Salvador, se distinguen tres clases: el frijol rojo de seda, el cual se siembra a una altura entre 400 y 1200 metros sobre el nivel del mar; este grano tiene una mayor producción entre los meses de Octubre y Diciembre, aunque se siembra en pequeñas parcelas por riego, cosechándose en Febrero. El frijol mono es un tipo de cultivo que se siembra en casi todas las tierras salvadoreñas, especialmente en las zonas costeras; el frijol mono tiene una gran producción entre los meses de Febrero-Marzo, encontrándose en grandes cantidades en el mes de Agosto; tal grano se caracteriza por ser consumido fresco, se seca solamente para obtener la semilla para siembra. El frijol blanco se cultiva en la mayoría de tierras del país; este frijol es abundante en la zona costera, debido a lo cual se cultiva en toda época del año, ya sea por riego o por inundación; su máxima producción se da en el mes de Agosto.(6)

Debido a la manera como se desarrolla la planta de frijol, se sabe sembrar en forma paralela al doblado de maíz.(6)

La tabla I.6 muestra que para el cultivo del frijol en El Salvador se reconocen tres épocas de siembra, siendo éstas conocidas de acuerdo al mes en que se inicia la siembra en la estación lluviosa.

Así se tiene que la primera siembra, o sea la de Mayo, se recomienda hacerla en el período comprendido entre el 15 de Mayo al 15 de Junio, o sea cuando ya se han establecido las lluvias; la segunda época es la de Junio-Agosto, se recomienda hacerla en el período comprendido entre el 15 de Agosto al 15 de Septiembre, esta época de siembra está condicionada, generalmente cuando se va a intercalar con maíz, a que el maíz alcance su maduración fisiológica para su doblado y despunte. La tercera la de apante o riego se recomienda hacerla en el período comprendido entre el 15 de Noviembre y el 15 de Diciembre, sembrando en este período se evitará mayores pérdidas por el ataque de plagas y enfermedades de la transición lluviosa-seca, así como también de la estación seca. La siembra de apante se recomienda hacerla solamente en lugares en los que se cuente con facilidades de riego o buena humedad. (6)

I.4.3 CULTIVO DE ARROZ.

Es el tercer grano de importancia en el país. Este cultivo generalmente es producido en las zonas costeras de El Salvador, ya que las variedades de arroz son para cultivo en inundación, así como también se cultiva en algunas zonas aledañas al Río Lempa en el norte del país.

Generalmente el arroz se siembra entre los meses de Mayo a Noviembre, y la época de recolección se lleva a cabo cinco meses después; prácticamente este cultivo se desarrolla en los departamentos que pertenecen a la zona costera del país. (6)

La siembra del arroz en un 95% se realiza en estación lluviosa y la época de siembra esta estrechamente relacionada con el ciclo vegetativo de las diferentes variedades. En términos generales se recomienda sembrar cuando el invierno esta bien establecido, en los meses de Mayo a Junio con las variedades de ciclo largo y hasta finales de Julio con las variedades de ciclo corto. (6)

En la época seca y bajo riego se recomienda sembrar en el mes de Diciembre, en aquellas zonas que mantienen un promedio de temperatura arriba de los 33°C durante el ciclo

de cultivo, dado que las temperaturas bajas afecta el llenado de los granos. (6)

I.3.4 CULTIVO DE SORGO.

Referente a este cultivo se puede deducir que la mayor parte de la producción se utiliza para alimentación animal y como un cultivo secundario para el aprovechamiento de la tierra luego del cultivo del maíz. El sorgo es un cultivo resistente a las sequías y es originario de Africa. En su mayoría se cultiva en la zona costera del país. La tabla I.6 presenta algunos departamentos donde su cultivo es representativo.

La tabla I.6 muestra que es recomendable efectuar la siembra en la época comprendida entre la primera quincena de Mayo y la primera de Septiembre, para obtener un mayor número de cortes. Sin embargo la época depende del propósito de la siembra.

I.5 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS GRANOS BASICOS A SECAR. EN LA ETAPA EXPERIMENTAL.

Para elegir los granos básicos a secar se utilizaron

los siguientes criterios:

- Disponibilidad del grano fresco en la etapa experimental.
- Problemas en el secado.

Tomando en cuenta la información anteriormente presentada acerca de los granos básicos se concluye lo siguiente: Todos los granos básicos presentan problemas de secado, pero solamente el maíz, frijol y el arroz están disponibles para el período de la prueba experimental a realizarse entre Agosto y Septiembre de 1992.

Considerando la necesidad de perfeccionar las técnicas de secado tradicional, es necesario la implementación de equipos que aumenten la eficiencia del aprovechamiento de la energía solar así como el estudio de su funcionamiento para optimizar su uso, con el objeto de minimizar los problemas actuales en el secado.

Para la etapa experimental se cuentan con tres tipos de deshidratadores solares los cuales son: Deshidratador artesanal, de caja caliente y de gabinete, los cuales se describen ampliamente sus características en el Capítulo II.

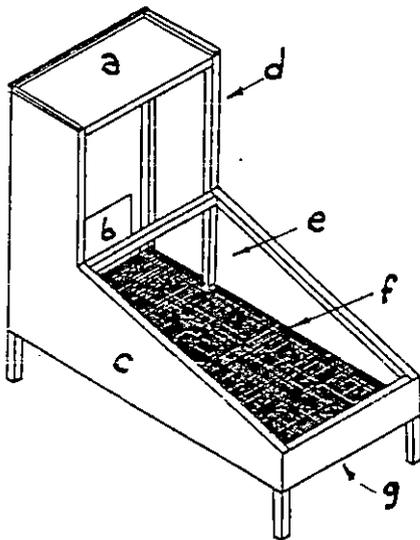
CAPITULO II
MODELOS DE DESHIDRATADORES SOLARES PARA
LA ETAPA EXPERIMENTAL .

II.1 DESHIDRATADOR SOLAR ARTESANAL .

Este deshidratador constituye el equipo más sencillo tanto en funcionamiento, diseño y construcción de los modelos en estudio.

Se clasifica como un deshidratador directo, debido a que la energía solar incide directamente sobre el producto expuesto.

Las partes principales que componen este deshidratador se muestran en la figura II.1



- a. Regulador de aire de salida
- b. Puerta de acceso para el depósito del producto.
- c. Pared lateral (forrada con plástico negro).
- d. Chimenea (forrada con plástico negro).
- e. Plástico transparente para el colector.
- f. Depósito del producto (cedazo metálico).
- g. Agujeros en la pared aislante del fondo, para la entrada de aire fresco.

Fig.II.1 DESHIDRATADOR SOLAR TIPO ARTESANAL.

El fluido del trabajo (aire) ingresa por medio de agujeros situados en la parte inferior del deshidratador, luego éste aumenta su temperatura debido al efecto de invernadero, pasando después a través del producto, arrastrando la humedad que este contiene; el aire abandona el deshidratador por la parte superior del mismo.

Las especificaciones del diseño y construcción de este modelo son las siguientes:

- a. Su estructura principal esta constituida de pino

blanco.

- b. El deshidratador tiene dos metros de largo, un metro de ancho, uno y medio metros de alto, con apoyos de treinta centímetros de alto.
- c. La inclinación de la cubierta del colector es de 13.45° .
- d. El aislante utilizado es viruta de madera, lo cual se encuentra en la parte inferior del deshidratador, entre dos pliegos de plywood, conformando una pared aislante en donde se encuentran sesenta y cuatro agujeros de una pulgada de diámetro unidos por trozos de PVC.
- e. Para el acceso al interior del deshidratador se cuenta con una puerta localizada en la parte trasera inferior del deshidratador.
- f. Para la salida del aire se coloca en la chimenea un regulador de flujo.
- g. El producto se deposita en una gaveta, construida de madera de pino y cedazo metálico, situada a diez centímetros sobre pared aislante.
- h. Para la cubierta del colector y el frente de la chimenea se utilizó plástico común y el resto del deshidratador se forró con plástico negro.
- i. El área de exposición del producto es de 1.9 m^2 y la capacidad de carga recomendada es de 75 lb. de

producto fresco.

Los costos de fabricación de este modelo ascienden a la cantidad de ¢ 890.00.

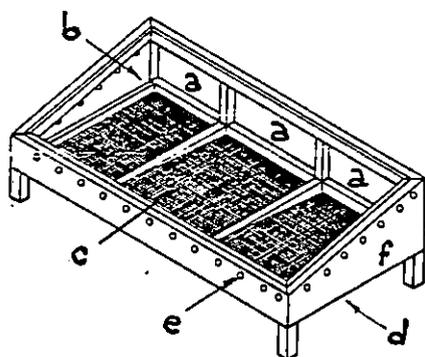
II.2 DESHIDRATADOR SOLAR DE CAJA CALIENTE.

Básicamente este deshidratador posee un funcionamiento similar al artesanal con ciertas variantes de diseño con el propósito de mejorar el secado. Es clasificado como un deshidratador solar directo.

La radiación solar se transmite a través de la cubierta, y es absorbida por una superficie metálica interior pintada de negro. Debido al aislamiento, la temperatura interna se eleva, así como también por el efecto de invernadero.

La caja cuenta con agujeros en el fondo del deshidratador para introducir aire fresco al sistema, que luego pasa por la cámara de precalentamiento, situada entre la base aislada y la placa metálica. Al aumentar la temperatura, el aire caliente sale por los agujeros superiores de salida en la parte superior de los lados y pared posterior de la caja por convección natural, creando

un efecto de vacío e introduciendo aire fresco hacia arriba a través de la base. Como resultado de esto, se produce un flujo de aire ininterrumpido sobre la materia a secar. Las partes principales que componen este deshidratador se muestran en la figura II.2 (4)



a. Puerta de acceso al depósito del producto.

b. Cubierta transparente de vidrio.

c. Depósito del producto (gaveta con cedazo metálico).

d. Agujeros para entrada de aire fresco.

e. Agujeros para salida de aire.

f. Pared Lateral.

Figura II.2 Deshidratador tipo Caja Caliente.

- a) La estructura principal es de madera de pino blanco.
- b) Las dimensiones del deshidratador son de dos metros de largo, un metro de ancho y una altura de sesenta y seis centímetros.
- c) La inclinación de la cubierta transparente es de 13.45° .
- d) El material aislante es de viruta de madera conformando una pared térmica en toda la estructura exceptuando la puerta superior.

- e) La entrada de aire fresco al deshidratador se realiza por medio de dieciocho agujeros de una pulgada de diámetro unidos por trozos de PVC, ubicados en la pared inferior.
- f) En la parte posterior se fijaron tres puertas de acceso distribuidas simétricamente.
- g) Se construyeron tres gavetas, con faldón de 0.05 metros de alto colocando cedazo metálico en la base de cada una de ellas. Cada gaveta se ubica a 0.05 metros sobre la placa negra.
- h) Las paredes lateral, frontal y posterior al interior de la caja están forradas con hojas de papel de aluminio, para evitar que absorban energía.
- i) Para que exista una evaluación de temperatura en el aire fresco que ingresa por la base, se construyó una precámara de calentamiento, que consiste en un espacio de 0.02 metros entre la base del deshidratador y las láminas negras.
- j) La cubierta transparente es un vidrio de cuatro milímetros de espesor, con una longitud de 1.95 metros y un metro de ancho.
- k) Todo el deshidratador ha sido cepillado, lijado y revestido con una capa de pintura de aceite, para prolongar su vida útil.
- l) El área de exposición del producto es de $1,9 \text{ m}^2$ y la

capacidad de carga recomendable es de 75 lb de producto fresco.

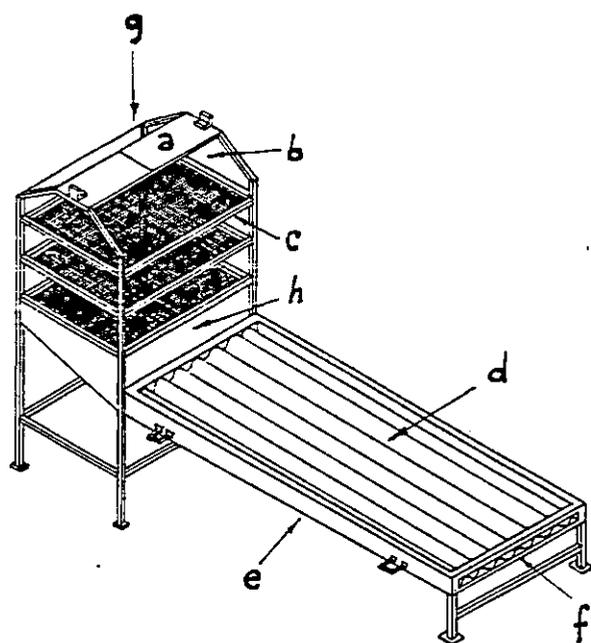
Los costos de fabricación de este modelo ascienden a la cantidad de ϕ 1,450.00.

II.3 DESHIDRATADOR SOLAR DE GABINETE.

Este deshidratador constituye el de mayor complejidad tanto en funcionamiento como en diseño. Se clasifica como un deshidratador mixto de cama fija debido a que el producto esta expuesto directamente a la radiación solar y recibe energía del colector.

El aire eleva su temperatura a su paso por el colector, ingresando luego al gabinete, en el cual se dá un efecto de invernadero, arrastrando la humedad a su paso por el producto.

Las partes principales que componen este deshidratador se muestra en la figura II.3.



a. Regulador de flujo de aire de salida.

b. Cubierta transparente (plástico) del gabinete.

c. Gaveta.

d. Cubierta transparente de vidrio del colector.

e. Colector solar.

f. Entrada de aire fresco.

g. Gabinete de secado.

h. Cámara de pleno.

Figura II.3 Deshidratador tipo de Gabinete.

Las especificaciones de diseño y construcción del modelo son los siguientes:

Las especificaciones de diseño y construcción de este modelo para el colector solar son:

- a) La estructura es de madera de pino blanco.
- b) Las dimensiones son 0.11 x 0.915 x 2.38 metros.
- c) El aislante utilizado en el fondo del colector es de fibra de vidrio.
- d) La placa absorvedora es una lámina acanalada pintada de negro.
- e) La cubierta transparente es un vidrio de 0.004 metros de espesor.
- f) Las paredes laterales están forradas de lámina galvanizada lisa, calibre 32.
- g) El área de entrada del aire es un espacio rectangular de 0.03 x 0.875 metros.
- h) La inclinación de la cubierta es de 13.45°.

Las especificaciones de diseño y construcción de este modelo para el gabinete son:

- a) La estructura principal es de tubo industrial cuadrado de media pulgada.
- b) Las dimensiones son 0.769 x 0.96 x 2.0 metros.
- c) La cámara de pleno esta hecha de plywood, forrada exteriormente con lámina galvanizada calibre 32, y en su interior pintada con pintura plateada.
- d) Para depositar el producto se construyeron tres gavetas de madera de pino blanco, con cedazo metálico

en el fondo. Las gavetas se distribuyen uniformemente en forma vertical.

- e) El acceso al interior del gabinete se realiza por medio de una compuerta con cierre de cremallera. La compuerta esta ubicada en la parte posterior del gabinete.
- f) La cubierta transparente es de plástico común.
- g) Para la salida del aire existe un regulador de flujo, formado por dos láminas móviles.
- h) El área total de exposición solar es de 1.85 m^2 y la capacidad de carga recomendable es de 75 lb de producto fresco.

Los costos de fabricación de este modelo ascienden a la cantidad de ₡ 1,650.00.

II.4 COMPARACION DE LOS MODELOS EN ESTUDIO.

El propósito de este apartado es establecer las diferencias y semejanzas de los deshidratadores solares, desde el punto de vista térmico y estructural.

II.4.1 COMPARACION TERMICA.

El deshidratador artesanal como el de caja caliente

están clasificados como directos, no así el de gabinete que es un deshidratador solar mixto.

En los tres modelos se genera el efecto de invernadero.

II.4.2 COMPARACION ESTRUCTURAL.

La comparación estructural se realizará en base a dos criterios, uno para el aumento de los efectos térmicos y el otro para la durabilidad de los modelos.

El deshidratador solar de caja caliente presenta teóricamente las mejores condiciones para el aumento del efecto de invernadero, debido a que contiene un revestimiento de papel de aluminio en las paredes interiores, está totalmente aislado y posee una lámina lisa pintada de negro en la cámara de precalentamiento.

El deshidratador solar artesanal y el de gabinete presentan las mismas condiciones para el efecto de invernadero, para éste último se incrementa su temperatura de trabajo debido al colector solar.

En cuanto a la durabilidad de los modelos, el

deshidratador de gabinete presenta una mayor vida útil debido a que los materiales con que está construido son más resistentes a la intemperie. En el deshidratador solar de caja caliente se estima una menor vida útil que el primero y una mayor que el artesanal, debido a los materiales de construcción.

II.4.3 ESTIMACION DE LA VIDA UTIL.

Es importante mencionar que existe un grupo de factores que influyen sobre la durabilidad, entre las cuales se tienen:

- a) Temperatura.
- b) Humedad.
- c) Calidad de materiales.
- d) Impacto.
- e) Luz ambiente.
- f) Posición de montaje.
- g) Clima.
- h) Habilidad del operador.
- i) Medio de almacenaje.

Considerando que tales equipos estarán funcionando durante todo el año, y además que la vida útil dependerá

también del mantenimiento adecuado de los modelos; la vida promedio útil estimada para cada uno es:

Deshidratador solar artesanal	1 año
Deshidratador solar de caja caliente	3 años
Deshidratador solar de gabinete	5 años

Tomando como referencia toda la información anterior, se enfoca el estudio del deshidratador solar de gabinete para su análisis teórico en el Capítulo III.

CAPITULO III
MODELOS MATEMATICOS DE ANALISIS PARA EL
DESHIDRATADOR SOLAR DE GABINETE.

III.1 ANALISIS DEL MODELO MATEMATICO PARA
EL COLECTOR SOLAR.

Los colectores solares son dispositivos para el aprovechamiento de la energía solar, el cual convierte la energía solar en energía calorífica, los colectores solares de placa plana para calentadores de aire es el punto de partida para la determinación del modelo matemático del deshidratador en estudio.

Este análisis tiene por objeto determinar la temperatura del aire saliendo del colector (T_D); para ello se aplica un balance de energía en el colector de la siguiente manera:

El producto de la radiación solar instantánea global y el área de colección solar por el producto efectivo de la transmitancia-absorbencia de la cubierta-placa, es igual al flujo de calor absorbido por el fluido de trabajo más el flujo de calor transferido desde la superficie de absorción hacia los alrededores más el flujo de energía almacenada en

el sistema de colección, que matemáticamente se expresa por: (12)

$$G A_p (\tau \alpha) e = Q_u + Q_{\text{Perd}} + \frac{de_c}{dt} \quad (\text{III.1})$$

Con cada uno de los términos en orden de definición.

Los parámetros de entrada del modelo matemático a desarrollar, que corresponden tanto a características geométricas y propiedades físicas de los materiales de construcción del precalentador de aire, están contenidos en la tabla III.1.

TABLA III.1 PARAMETROS DEL COLECTOR SOLAR

Nº	NOMBRE DEL PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDADES
1	AREA DE COLECCION SOLAR	A_p	m^2
2	AREA DE LA CUBIERTA TRANSPARENTE	A_1	m^2
3	AREA DEL PERIMETRO DEL COLECTOR	A_2	m^2
4	ALTO DEL COLECTOR	Y	m
5	ANCHO DEL COLECTOR	b	m
6	ESPESOR DEL AISLANTE DEL FONDO Y PAREDES LATERALES	X	m
7	ESPACIAMIENTO ENTRE PLACA Y CUBIERTA	L'	m
8	LARGO DEL COLECTOR	t	m
9	INCLINACION DEL COLECTOR	β	--
10	ABSORBENCIA DE LA CUBIERTA	α	--
11	CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA PLACA	K_{HIERRO}	$W/m-^{\circ}K$
12	CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA MADERA	K_{MADERA}	$W/m-^{\circ}K$
13	EMISIVIDAD DE LA CUBIERTA	E_c	--
14	EMISIVIDAD DE LA PLACA	E_p	--
15	GRAVEDAD	g	m/s^2
16	TRANSMITANCIA DE LA CUBIERTA	τ	--
17	LATITUD DEL LUGAR DE PRUEBA	L	--

Las variables de control del sistema del colector solar son las siguientes:

- a. Temperatura ambiente (T_a)
- b. Velocidad del viento exterior (V)
- c. Radiación solar instantánea (G)
- d. Fecha o día de prueba (n)
- e. Hora de prueba.

En este modelo de predicción teórico de comportamiento del sistema, no se considera la influencia que las variables nubosidad y brillo solar tienen sobre el mismo.

Los efectos de dispersión y absorción de la radiación de la atmósfera son variables con el tiempo, como lo son las condiciones atmosféricas y los cambios de masa de aire. Estos hechos se emplean para definir en estándar de "cielo claro". (13)

El término a la izquierda de la ecuación III.1, representa la radiación solar instantánea total incidiendo sobre la superficie de absorción, la cual se calcula de acuerdo con las siguientes ecuaciones matemáticas: (13)

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360}{365} n \right) \right] \left[\sin \epsilon \sin \delta + \cos \epsilon \cos \delta \cos H_s \right] \quad (\text{III.2})$$

donde:

G_o : Flujo de radiación solar extraterrestre sobre una superficie horizontal (Kw/m^2).

G_{sc} : Constante solar (Kw/m^2).

δ : Angulo de declinación solar.

H_s : Angulo solar horario.

H_s es el desplazamiento del sol de Este a Oeste y se mide a partir del medio día, debido a que la rotación de la

tierra sobre su eje es aproximadamente 15° por hora. H_s es negativo para las horas de la tarde y positivo para las horas de la mañana. (13)

δ se calcula de la siguiente manera: (13)

$$\delta = 23.45 \text{ Sen} \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (\text{III.3})$$

Luego se aplica el factor geométrico (R_b), que es la relación de la radiación solar sobre una superficie inclinada a la radiación solar sobre una superficie horizontal. (13)

$$R_b = \frac{\text{Cos}(L - \beta) \text{Cos } \delta \text{Cos } H_s + \text{Sen}(1 - \beta) \text{Sen } \delta}{\text{Cos } L \text{Cos } \delta \text{Cos } H_s + \text{Sen } L \text{Sen } \delta} \quad (\text{III.4})$$

Luego:

$$R_b = \frac{G_{on}}{G_o} \quad (\text{III.5})$$

donde: G_{on} es la radiación solar sobre una superficie inclinada (Kw/m^2). Por el método de la transmitancia modificada se obtiene, la transmitancia para radiación directa (σ_b), que se define por la ecuaciones: (13)

$$\sigma_b = \frac{G_{bn}}{G_o} \quad (\text{III.6})$$

Donde:

G_{bn} : Radiación normal directa para cielo claro (Kw/m^2).

σ_b : Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$b = A_o + A_1 e^{(-K/\cos \theta z)} \quad (\text{III.7})$$

Donde: A_o , A_1 y K son constantes para atmósferas estándar y se determinan a partir de las expresiones: (13)

$$A^*o = 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2 \quad (\text{III.8})$$

$$A^*1 = 0.5055 + 0.00595 (6.5 - A)^2 \quad (\text{III.9})$$

$$K^* = 0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2 \quad (\text{III.10})$$

Donde: A es la altitud del observador en kilómetros.

Los factores de corrección que se aplican a las expresiones A^*o , A^*1 y K^* para adecuarlos a los distintos tipos de climas, se definen a continuación: (13)

$$r_o = \frac{A_o}{A^*1} \quad ; \quad r_1 = \frac{A_1}{A^*1} \quad ; \quad r_k = \frac{K}{K^*} \quad (\text{III.11})$$

Los factores de corrección para El Salvador, que posee un clima tropical, son: $r_0 = 0.95$, $r_1 = 0.98$ y $r_k = 1.02$

El coeficiente de transmisión para la radiación solar difusa se calcula de la siguiente ecuación: (13)

$$\sigma_d = 0.2710 - 0.2939 \sigma_b. \quad (\text{III.12})$$

El ángulo de altitud solar (θ_z) se calcula a partir de : (13)

$$\cos \theta_z = \text{Sen } L \text{ Sen } \delta + \text{Cos } \delta \text{ Cos } L \text{ Cos } H_s \quad (\text{III.13})$$

La suma de la radiación directa y la radiación difusa sobre la superficie proporciona la radiación total, que se expresa por medio de: (13)

$$G = G_0 R_b \sigma_b + G_0 R_b \sigma_d \quad (\text{III.14})$$

El producto efectivo de la transmitancia-absorbencia de la placa-cubierta ($\tau\alpha$), se determina a partir de: (12)

$$(\tau\alpha)_e = 1.02\tau\alpha \quad (\text{III.15})$$

donde: τ y α de tablas. (Ver anexo II).

En la misma ecuación el término que representa el almacenaje de energía en el sistema (dec/dt), es en este caso nulo. (13)

El término que representa las pérdidas de energía térmica, desde el colector al ambiente, se expresa mediante la siguiente ecuación: (12)

$$Q_{\text{perd}} = A_p + U_1 (T_p - T_a) \quad (\text{III.16})$$

donde: T_a : Temperatura media de la superficie de absorción ($^{\circ}\text{K}$).

U_1 : Representa el coeficiente total de pérdidas del colector ($\text{W/m}^2 - ^{\circ}\text{K}$). Las pérdidas totales son la suma de las pérdidas del frente, fondo y laterales del colector. (12)

$$U_1 = U_f + U_b + U_l \quad (\text{III.17})$$

El coeficiente de pérdidas frontales (U_f), para cualquier inclinación puede evaluarse a través de una ecuación empírica propuesta por Klein en 1979: (13)

$$U_t = \left[\frac{N}{\frac{c'}{T_p} (T_p - T_a)^{N+f} e'} + \frac{1}{hw} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{(E_p + 0.00591 N hw)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133 E_p}{E_c} - N} \quad (\text{III.18})$$

En donde:

σ : Constante de Stefan Boltzman.

N : Número de cubiertas.

$f = (1 + 0.089 hw - 0.1166 hwE_p) (1 + 0.07866 N)$

$c' = 520 (1 - 0.000051 \beta^2)$, para $0^\circ < \beta < 70^\circ$. Para $70^\circ < \beta < 90^\circ$, usar $\beta = 70^\circ$.

$e' = 0.43 (1 - 100/T_p)$

hw : Coeficiente de transferencia convectivo por corrientes de viento ($W/m^2 - ^\circ K$).

$hw = 5.7 + 3.8 V$ ($W/m^2 - ^\circ K$). (III.19)

El coeficiente de pérdidas de fondo representa la resistencia a la transferencia de calor a través del material de aislamiento del fondo y se determina mediante la siguiente ecuación: (12)

$$U_b = \frac{1}{\Delta X / K_a} = \frac{K_{adere}}{\Delta X} \quad (\text{III.20})$$

Las pérdidas laterales deberán ser referidas al área de placa de la superficie de absorción. De esta manera, las pérdidas laterales pueden ser expresadas por: (12)

$$U_e = \frac{K_{\text{paredes}} (A_2)}{\rho \times (A_1)} \quad (\text{III.21})$$

El flujo de calor absorbido por el fluido de trabajo (calor útil Q_u) que ha sido transferido desde la placa absorbedora, se determina por: (12)

$$Q_u = A_1 Fr [S - U_1 (T_{f_2} - T_a)] \quad (\text{III.22})$$

donde:

T_{f_2} : Temperatura del fluido de trabajo a la entrada del colector ($^{\circ}\text{K}$).

S : Flujo de radiación solar (Kw/m^2)

$$S = G (\tau\alpha), \quad (\text{III.23})$$

Fr : Factor de remoción de calor, definido por: (12)

$$Fr = \frac{m C_p}{A_1 U_1} [1 - e^{-(A_1 U_1 F' / \dot{m} C_p)}] \quad (\text{III.24})$$

donde:

m : Flujo de masa de aire seco (Kg/s).

C_p : Calor específico del aire seco (J/Kg - °K).

F' : Factor de eficiencia del colector.

El cálculo del factor de eficiencia del colector se determina de la siguiente expresión: (8)

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_t}{\frac{h_1 \sin \phi/2}{1} + \frac{1}{\frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_r}}}} \quad (\text{III.25})$$

En la figura III.1 se muestra el esquema del colector, para facilitar el cálculo del factor de eficiencia. (12)

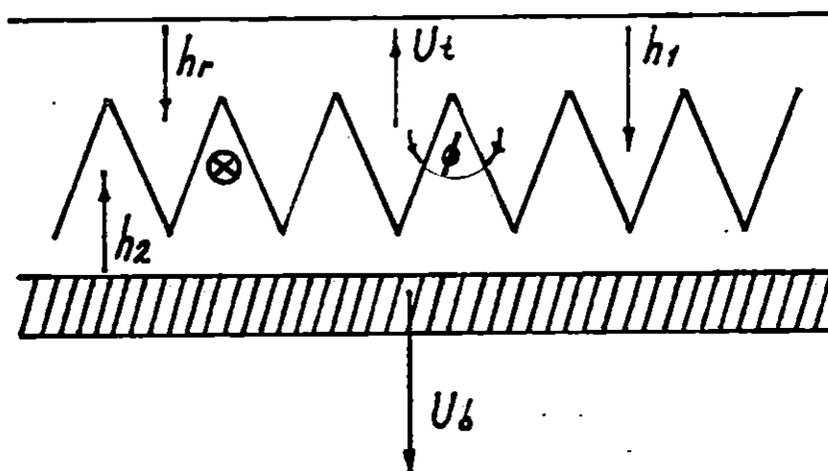


Figura III.1 Esquema del Colector Solar.

donde:

h_1 : Coeficiente de transferencia de calor por convección de la placa a la cubierta. ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

h_2 : Coeficiente de transferencia de calor por convección del fondo a la placa. ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

h_r : Coeficiente de transferencia de calor por radiación de la placa a la cubierta. ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

φ : Angulo del canal.

Los coeficientes de transferencia de calor por convección se determinan de las siguientes expresiones:

(13)

$$h = \frac{Nu \cdot K_{\text{aire}}}{L'} \quad (\text{III.26})$$

donde:

K_{aire} = Conductividad térmica del aire ($W/m - \text{ } ^\circ K$).

Nu = Número de Nussel, definido por: (14)

$$Nu = 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{(\text{Sen } 1.8 \beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \frac{1708}{5830} \right] + \left[\frac{(Ra \cos \beta)^{1/3}}{5830} - 1 \right]$$

(III.27)

donde:

$$Ra : \text{Número de Raleigh} = \frac{g\beta' \Delta T L^3 Pr}{r^2} \quad (\text{III.28})$$

$$\beta : 0^\circ \leq \beta \leq 75^\circ$$

Pr : Número de Prandtl (de tablas). Ver Anexo II

β' : Coeficiente de expansión térmica del medio (1/°K).

ΔT : Diferencia de temperaturas entre placas.

r : Viscosidad cinemática del medio.

Para establecer las propiedades del fluido de trabajo, es necesario primero establecer la temperatura del interespacio entre placa y fondo; aquí se asume que:

$$T_f = 0.6 T_p \quad (\text{III.29})$$

donde:

T_f : Temperatura del interespacio entre placas (°K).

El coeficiente de transferencia de calor por radiación de la placa a la cubierta se determina de las siguientes expresiones: (13)

$$hr = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1}{E_p} + \frac{1}{E_c} - 1} \quad (\text{III.30})$$

donde:

T_c : Temperatura de Cubierta (°K)

Según un balance de energía entre la placa y la cubierta, se obtiene:

$$T_c = T_p - \frac{U_t (T_p - T_a)}{h_1 + h_r} \quad (\text{III.31})$$

Para determinar la temperatura de placa y la temperatura de cubierta se utiliza, necesariamente, un método iterativo que consiste en lo siguiente:

1. Se asumen valores dados para la temperatura de placa y temperatura de cubierta.
2. Con estos valores se evalúan todos los coeficientes de transferencia de calor del sistema.
3. Se reevalúan la temperatura de cubierta por medio de la ecuación III.31 y de la placa por medio de la ecuación III.32.
4. Estos resultados se comparan con la asunción inicial y de no ser iguales se retoman los valores calculados para repetir el método.

Aquí debe tenerse en cuenta que, a falta de información analítica sobre balance de energía para colectores solares planos en operación en convección natural, los cálculos realizados han supuesto un mapeo

para diferentes flujos de masa de aire. Estos servirán como referencia para que en base a la temperatura de salida del aire del colector, identificar el flujo de masa correspondiente.

5. Una vez el valor de la temperatura de placa no varía según el método descrito anteriormente se determina la temperatura del aire saliendo del colector solar plano.

Para determinar la temperatura de la placa se utiliza la ecuación siguiente:

$$T_p = T_a + \frac{Q_u / A_p}{U_1 Fr} (1 - Fr) \quad (\text{III.32})$$

donde:

$$Q_u = A_p [S - U_1 (T_p - T_a)] \quad (\text{III.33})$$

La ecuación que determina la temperatura del aire saliendo del colector solar plano esta dada por:

$$T_1 = T_a + G \left\{ \frac{(\tau\alpha)_e}{U_1} [1 - e^{-\frac{A_p U_1 F' R}{G C_p}}] \right\} \quad (\text{III.34})$$

La temperatura de salida del colector (T_1) representa una variable de entrada para el análisis de la cabina del

deshidratador.

III.2 BALANCE DE MASA Y ENERGIA PARA EL GABINETE DEL DESHIDRATADOR SOLAR.

La realización de un balance de masa y energía en el gabinete del deshidratador solar presenta el comportamiento teórico de la cámara de secado.

III.2.1 BALANCE DE MASA.

Para el desarrollo del balance de masa se considera un sistema de i gavetas ($i = 1, 2, \dots, n$), donde las variables de entrada al sistema son la temperatura de salida del aire del colector (T_1), y la humedad absoluta de entrada del aire al deshidratador (W_1).

Para el análisis de transferencia de masa se considera una capa delgada de producto, como se muestra en la figura III.2

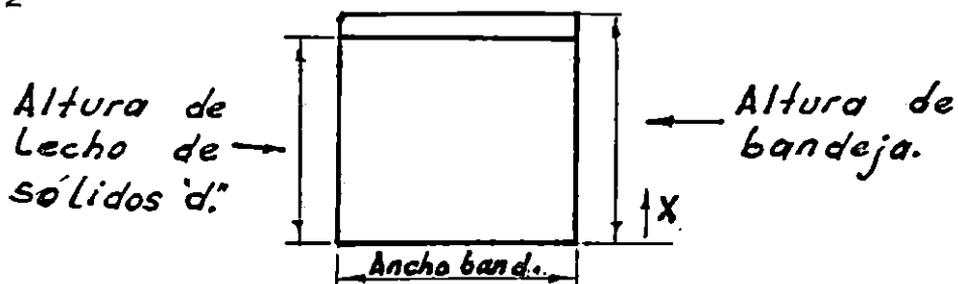


Figura III.2 Corte Transversal de una Bandeja.

El lecho del producto tiene un espesor apreciable con respecto al tamaño de las partículas, el cual se presenta estratificado de acuerdo a la figura III.3: (15)

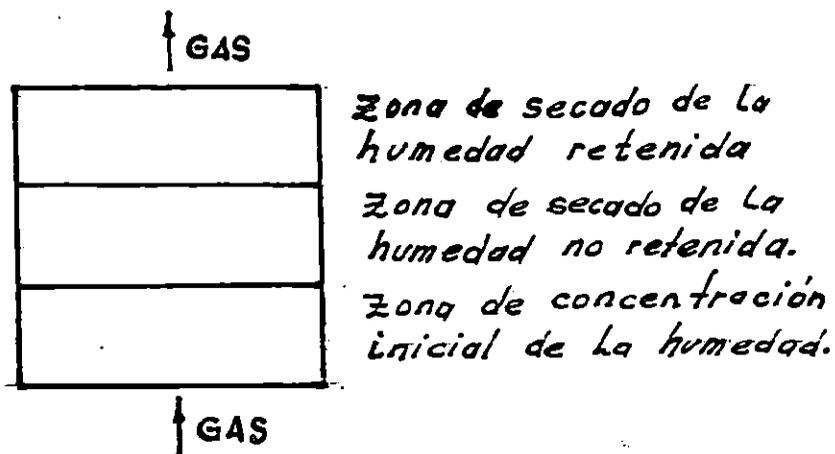


Figura III.3 Secado por Circulación Transversal en Lechos.

La evaporación de la humedad retenida (la humedad que se mueve a través del lecho para llegar al aire), ocurre en una zona relativamente estrecha, ésto se representa en la siguiente ecuación: (16)

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\rho_p A_{pi}}{\dot{m}} \frac{\partial M_i}{\partial t} \quad (\text{III.35})$$

donde:

$\frac{\partial w}{\partial x}$: Variación de la humedad del aire en el espesor del lecho.

ρ_p : Densidad del producto secándose (kg/m^3).

$$\frac{\partial M_i}{\partial t}$$

$\frac{\partial M_i}{\partial t}$: Variación de la humedad del producto respecto al tiempo.

A_{pi} : Area del producto (m^2).

Ya que se está trabajando en el supuesto de una delgada capa de producto, la parte izquierda de la ecuación (III.35), se puede aproximar como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial W}{\partial x} = \frac{(W_{i+1} - W_i)}{d} \quad (\text{III.36})$$

donde:

x : Distancia a través del lecho (m).

d : Profundidad de la capa del producto (m).

Se utiliza la relación de transferencia de masa de Spalding para simplificar el término derecho de la ecuación de la ecuación III.35 mediante la siguiente igualdad: (16)

$$- (\int p d) \frac{\partial M_i}{\partial t} = N_f = Z \ln (1 + B) \quad (\text{III.37})$$

donde los términos no definidos son:

t : Tiempo (s)

Nf : Velocidad de secado. (kg/m - s)

Z : Conductancia de transferencia de masa.

B : Potencial de transferencia de masa.

El potencial de transferencia de masa se obtiene de la siguiente forma:

$$B = \frac{M_{ws} - M_{wb}}{1 - M_{wb}} \quad (\text{III.38})$$

donde:

M_{ws} y M_{wb}: Pueden ser obtenidas del porcentaje de humedad de aire en el volumen de la fase de aire y en la superficie del producto respectivamente.

Así:

M_{wb}: Fracción de masa de agua en la fase gaseosa.

M_{ws}: Fracción de masa de agua en interfase (gas-líquido).

El valor de la conductancia de transferencia de masa (z), esta relacionada con el coeficiente individual de

transferencia de masa por medio de la siguiente ecuación:

(16)

$$\frac{z}{\rho} = \frac{Ky}{c} \quad (\text{III.39})$$

donde los términos no definidos son:

- ρ : Densidad del aire (kg/m^3).
- Ky : Coeficiente individual de transferencia de masa ($\text{mol/m}^2 - \text{s}$).
- c : Concentración molar (mol/m^3).
- Ky : Se determina de la siguiente forma:

A partir de la figura III.3 en la cual se suministra aire de humedad W_i a un flujo G_s . La rapidez máxima de secado ocurrirá si el aire que sale del lecho está saturado a la temperatura de saturación adiabática (esta será la temperatura superficial de lecho). La rapidez máxima de secado viene dado por la siguiente expresión: (15)

$$N_{\text{máx}} = G_s (W_{sa} - W_i) \quad (\text{III.40})$$

donde:

- W_{sa} : Humedad del aire a la temperatura del lecho.
- N_{max} : Rapidez máxima de secado ($\text{kg de agua/m}^2 - \text{s}$)

G_s : Flujo de aire seco ($\text{kg}/\text{m}^2 - \text{s}$).

En general el aire saldrá del lecho a una humedad W_{i+1} y entonces la rapidez instantánea de secado es:

$$N = G_s (W_{i+1} - W_i) \quad (\text{III.41})$$

Para una sección diferencial del lecho, en donde el aire sufre un cambio de humedad dW , la rapidez de secado es:

$$dN = G_s dW = k_y dS (W_{sa} - W_i) \quad (\text{III.42})$$

donde:

ds : Diferencial de la superficie interfacial por unidad de área de la sección transversal del lecho.

dS se calcula de la siguiente forma: (15)

$$dS = a dZ_s \quad (\text{III.43})$$

donde:

a : Superficie interfacial por unidad de volumen (m^2 / m^3).

dZ_s : Diferencial del espesor del lecho (m).

El cálculo de "a" se realiza de la siguiente forma: (11)

$$a = \frac{\text{Superficie del Sólido}}{\text{Volumen de una esfera de igual diámetro que el sólido.}} \quad (\text{III.44})$$

La ecuación III.43 se sustituye en la ecuación III.42, que luego de integrar resulta:

$$\ln \frac{W_{sa} - W_i}{W_{sa} - W_{i+1}} = \frac{k_y a Z_s}{G_s} \quad (\text{III.45})$$

Sustituyendo las ecuaciones III.36, III.37 y III.45 en la ecuación III.35 se obtiene:

$$W_{i+1} - W_i = \frac{[A p_i G_s \ln \left(\frac{W_{sa} - W_i}{W_{sa} - W_{i+1}} \right) + \ln(1+B)]}{\dot{m} A Z_s} \quad (\text{III.46})$$

Debido a la forma logarítmica de la ecuación anterior se hace necesario la utilización del método "prueba y error" par determinar W_{i+1} .

III.2.2 BALANCE DE ENERGIA.

Para facilitar el análisis del balance de energía en

el gabinete se hace necesario definir un volumen de control el cual se presenta en la figura III.4

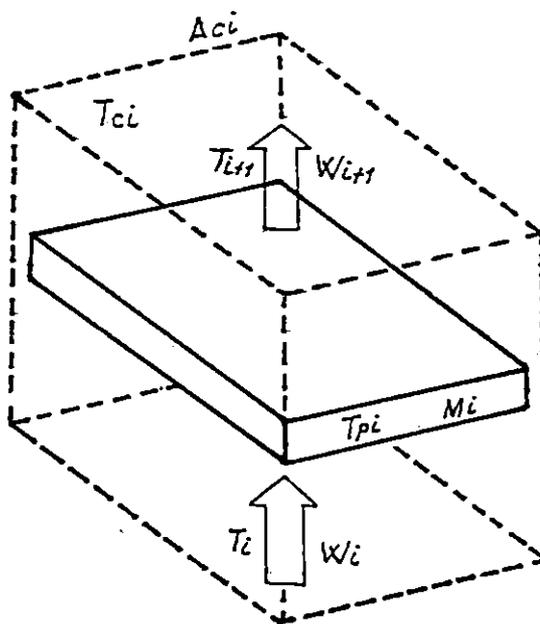


Fig. III.4 Volumen de Control Alrededor de la Gaveta i.

El volumen de control es un sistema abierto formado por:

- i) El fluido de trabajo (aire).
- ii) La gaveta del producto.
- iii) La cubierta transparente.

A continuación se presentará el balance de energía para cada uno de los elementos identificados anteriormente.

III.2.2.1 BALANCE DE ENERGIA DEL AIRE EN EL VOLUMEN DE CONTROL.

El comportamiento térmico del aire en el volumen de control puede ser evaluado por medio de un balance de energía, el cual proporciona: el calor transferido por el aire al producto en la gaveta i más el calor transferido por el aire a la cubierta i es igual al cambio de energía del aire, lo cual matemáticamente se plantea así: (16)

$$Q_{ap} + Q_{ac} = \Delta E_a \quad (\text{III.47})$$

Aquí el aire cambia su humedad de W_i a W_{i+1} cuando se mueve a través del producto en la gaveta i , variando también la entalpía de H_i a H_{i+1} . Pero la humedad es adquirida por el aire como vapor a la temperatura del producto T_{pi} . Por esta razón el cambio de energía del aire es igual al cambio de entalpía del aire menos el cambio de entalpía debido al vapor ganado durante el paso a través de la gaveta i y se expresa de la siguiente manera: (16)

$$\Delta E_a = M_s [(H_i - H_{i+1}) - (W_i - W_{i+1})H_{vi}] \quad (\text{III.48})$$

donde:

M_s : Flujo de masa (kg de aire seco/ seg).

- H_i : Entalpía del aire húmedo por kilogramo de aire seco entrando a la gaveta i (Kj/kg).
 H_{i+1} : Entalpía del aire húmedo por kilogramo de aire seco saliendo de la gaveta i (Kj/Kg).
 H_{vi} : Entalpía de vapor de agua a la temperatura del producto T_{pi} (Kj/kg).

Para calcular los términos anteriores se tiene:

$$M_s = \dot{m} \left(1 - \frac{W_i}{W_i + 1} \right) \quad (\text{III.49})$$

H_i se lee de la carta psicrométrica a la temperatura antes de entrar a la gaveta T_i .

H_{vi} leída de tablas de vapor a la temperatura del producto T_{pi} .

Para el cálculo de las temperaturas involucradas en el balance de energía del aire en el volumen de control se prosigue así: (16)

$$T_{p1} = 0.97 T_1 \quad (\text{III.50})$$

$$T_{i+1} = 1.02 T_{i+1} \quad (\text{III.51})$$

$$T_{i+1} = \frac{T_i + T_{pi}}{2} \quad (\text{III.52})$$

$$T_{fi} = \frac{T_i + T_{i+1}}{2} \quad (\text{III.53})$$

Donde:

T_{pi} : Temperatura del producto en la gaveta i ($^{\circ}\text{K}$).

T_i : Temperatura del aire entrando a la gaveta i ($^{\circ}\text{K}$).

T_{i+1} : Temperatura del aire saliendo de la gaveta i ($^{\circ}\text{K}$).

T_{fi} : Temperatura promedio del aire a la cual se refiere calor en el volumen de control.

Agrupando los términos anteriores y escribiendo la expresión para las relaciones antes dadas, el balance de energía del aire proporciona: (16)

$$h_{pi} A_{pi} (T_{fi} - T_{pi}) + h_{ci} A_{ci} (T_{fi} - T_{ci}) = M_s \{ C_p (T_i - T_{i+1}) + C_{pv} [W_i (T_i - T_{pi}) - W_{i+1} (T_{i+1} - T_{pi})] \} \quad (\text{III.54})$$

donde:

h_{pi} : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el producto y el aire ($\text{Kw}/\text{m}^2 - ^{\circ}\text{K}$).

A_{pi} : Area del producto (m^2).

- h_{ci} : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre el aire y la cubierta (Kw/ m² - °K).
- A_{ci} : Área de la cubierta alrededor de la gaveta (m²).
- h_{fg} : Calor latente de vaporización (kj/kg).
- C_{pv} : Calor específico del vapor de agua (Kj/Kg - °k).

III.2.2.2 BALANCE DE ENERGIA EN LA GAVETA DEL PRODUCTO.

El balance de energía para el producto esta dado como: el calor transferido del aire al producto en el depósito más la energía ganada por la radiación solar sobre el producto, es igual al calor asociado a la vaporización más la radiación de calor intercambiado por el producto en la gaveta hacia sus alrededores, que puede ser expresado matemáticamente así: (16)

$$Q_{ap} + S = Q_v + Q_{ir} \quad (\text{III:55})$$

donde:

- Q_v : Calor asociado a la vaporización (Kw/m²)
- Q_{ir} : Calor perdido por radiación y convección hacia los alrededores. (Kw/ m²).

En la evaporización, el agua contenida en el producto

a la temperatura T_{pi} , sale al flujo de energía siguiente:

(16)

$$M_s(W_{i+1} - W_i) C_1 T_{pi} \quad (\text{III.56})$$

El agua que se vaporiza se integra a la corriente de aire y finalmente sale con la corriente de aire a la temperatura promedio a la cual el aire transfiere calor en el volumen de control, teniendo una entalpía específica la cual se puede definir de la siguiente manera:

$$h_{fg} + C_{pv} T_{fi} \quad (\text{III.57})$$

Del balance de energía en el depósito del producto es útil calcular el calor perdido por radiación y convección hacia los alrededores, con el propósito de comparar el calor que se pierde con el calor útil y minimizar estas pérdidas.

El calor perdido hacia los alrededores se calcula como sigue:

$$Q_{lr} = h_{pi} A_{pi} (T_{fi} - T_{pi}) + A_{xi} S - M_s (W_{i+1} - W_i) [h_{fg} + C_{pv} (T_{fi} - T_{pi}) + (C_{pv} - C_1) T_{pi}]. \quad (\text{III.58})$$

donde:

A_{xi} : Area del producto expuesta a la radiación solar

(m²).

C1 : Calor específico del agua (J/Kg - °k).

III.2.2.3 BALANCE DE ENERGIA EN LA CUBIERTA TRANSPARENTE.

El balance de energía en la cubierta esta dado:

El calor transferido del aire a la cubierta más la energía ganada por la radiación solar sobre la cubierta, es igual al calor perdido por la cubierta a la gaveta del producto más el calor perdido por la cubierta al medio ambiente por radiación y convección; que matemáticamente se expresa:

$$Q_{ac} + S = Q_{cg} + Q_{c - amb.} \quad (III.59)$$

El balance anterior queda expresado así:

$$h_{ci}A_{ci} (T_{fi} - T_{ci}) + A_{ci} S = h_{ca}A_{ci} (T_{ci} - T_a) + \sigma A_{ci}F_{ci} (T_{ci}^4 - T_{pi}^4) + \sigma A_{ci}E_c (T_{ci}^4 - T_{cielo}^4) \quad (III.60)$$

donde:

A_{ci} : Area de la cubierta alrededor de la gaveta i (m²)
 h_{ca} : Coeficiente convectivo de transferencia de calor entre la cubierta y el medio ambiente.

F_{ci} : Factor de vista de la cubierta i. (Ver anexo II).

Con el balance de energía en el gabinete se determina lo siguiente:

a. Calor perdido por el gabinete:

$$Q_{c-amb.} = h_{ca}A_{ci} (T_{ci} - T_c) + A_{ci}E_c (T_{ci}^4 - T_{cielo}^4)$$

b. Calor de Vaporización:

$$Q_v = M_s (W_{iH} - W_i) [(h_{fg} + C_{pv} T_{fi} - C_l T_{pi})]$$

c. Energía solar absorbida por el gabinete:

$$Q_g = S(A_{xi} + A_{pi})$$

III.3 DESCRIPCION DE PROGRAMA PARA LA SOLUCION DEL MODELO MATEMATICO

El programa que se muestra a continuación es una herramienta para el cálculo del diseño de diferentes tipos de deshidratadoers. Está dividido en tres partes principales:

A- Balance de energía en el colector solar.

En esta fase interesa saber si el deshidratador a diseñar poseerá colector, cámara de precalentamiento o carecerá de estos elementos. Al no poseer ninguno de ellos se pasa automáticamente a la segunda parte del

programa; caso contrario se procede al cálculo de la temperatura del colector (T_1), para lo cual es necesario introducir una serie de constantes y variables propias del sistema.

B- Balance de masa en el gabinete.

Aquí se hace necesario saber para un tiempo dado cuánta humedad removerá el aire a su paso por el lecho de granos en el gabinete. Esto dependerá de varios factores, tales como: Humedad absoluta de entrada del aire, tipo de grano, temperatura del grano, flujo del aire, etc.

C- Balance de energía en el gabinete.

Si se desea saber el aprovechamiento energético del deshidratador, el programa calcula lo siguiente:

- i) Calor total de vaporización.
- ii) Energía perdida al medio ambiente.
- iii) Energía solar ganada por el gabinete.

Para calcular esto se hace necesario conocer las temperaturas de cubierta, coeficientes convectivos de transferencia de calor, calor latente de evaporación, etc., los cuales son calculados o solicitados por el programa, según sea el caso.

Para la solución del modelo matemático se utilizan las tablas de datos que se incluyen en el anexo II.

A continuación se presenta el listado del programa para la solución del modelo matemático.

```

CLS
60 DIM D(29), MM(20), TT(20), TW(20), ZG(10), ZZ(10)
70 DIM PP(20), CC(20), HA(20), EE(20), PX(10)
75 DIM AX(10), BY(10), YF(10), YG(10), GX(10), GZ(10)
80 PRINT "UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR"
90 PRINT: PRINT "FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA"
100 PRINT "ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA"
110 PRINT "ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA"
120 PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT
130 PRINT "MODELO DE PREDICCION PARA DISEÑO DIFERENTES TIPOS DE DESHIFRATADORES SOLARES"
140 PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT
150 INPUT "DESEA CONTINUAR (S/N)"; D$
160 IF D$ = "N" THEN GO 4000
170 CLS
175 PRINT: PRINT: PRINT:
180 PRINT TAB (15); "COLECTOR SOLAR DEL DESHIDRATADOR"
190 PRINT: PRINT: PRINT
200 PRINT "CALCULO DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA DEL COLECTOR (T1)"
210 PRINT: PRINT
220 INPUT "TIENE EL DESHIDRATADOR UN COLECTOR SOLAR (S/N)"; T$
230 IF T$ = "S" THEN GOTO 270
240 INPUT "TIENE EL DESHIDRATADOR UNA CAMARA DE PRECALENTAMIENTO (S/N)"; T$
250 IF T$ = "S" THEN H = 1; GOTO 270
260 GOTO 1240
270 CLS: PRINT: PRINT: PRINT: PRINT: TAB (25), "PARAMETROS A UTILIZAR": PRINT
280 PRINT: PRINT: INPUT "AREA DE COLECTOR SOLAR (M^2)"; D(1): PRINT
290 INPUT "AREA DE CUBIERTA TRANSPARENTE (M^2)"; D(2): PRINT
300 INPUT "AREA DEL PERIMETRO DEL COLECTOR (M^2)"; D(3): PRINT
310 INPUT "ALTO DEL COLECTOR (M)"; D(4): PRINT
320 INPUT "ANCHO DEL COLECTOR (M)"; D(5): PRINT
330 INPUT "ESPESOR DEL AISLANTE DE PAREDES (M)"; D(6): PRINT
340 INPUT "ESPACIAMIENTO ENTRE PLACA Y CUBIERTA (M)"; D(7): PRINT
350 INPUT "LARGO DEL COLECTOR (M)"; D(8): PRINT
360 INPUT "INCLINACION DEL COLECTOR"; D(9): PRINT
370 INPUT "ABSORVENCIA DE CUBIERTA"; D(10): PRINT
380 INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DE LA PLACA (W/M-K)"; D(11): PRINT
390 INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLANTE (W/M-K)"; D(12): PRINT

```

```

400 INPUT 'EMISIVIDAD DE LA CUBIERTA'; D(13): PRINT
410 INPUT 'EMISIVIDAD DE LA PLACA'; D(14): PRINT
420 INPUT 'TRANSMISIVIDAD DE LA CUBIERTA'; D(15): PRINT
430 INPUT 'LATITUD DEL LUGAR DE PRUEBA'; D(16): PRINT
440 PRINT: PRINT "VARIABLES A OCUPAR": PRINT
450 PRINT "TEMPERATURA AMBIENTE (K)"; D(17): PRINT
460 INPUT 'VELOCIDAD DE VIENTO EXTERIOR (M/S)'; D(18): PRINT
470 INPUT 'FECHA O DIA DE PRUEBA (0-365)'; D(19): PRINT
480 INPUT 'HORA DE PRUEBA (0-24)'; D(20): PRINT
490 INPUT 'ALTITUD DEL LUGAR DE PRUEBA (Km)'; D(21): PRINT
500 PRINT "FACTORES DE CORRECCION PARA EL PAIS DE PRUEBA": PRINT
510 INPUT "R0"; D(22): INPUT "R1"; D(23): INPUT "K"; D(24)
520 IF D(20) < 12 THEN D(25) = D(20) - 12: GOTO 555
530 IF D(20) = 12 THEN D(25) = 0: GOTO 550
540 D(25) = D(20) - 12
550 REM CALCULO DE HS Y DELTA
555 FX = ((360/365) * (248 + D(19))); XF = FX - 360
560 D = 23.45 * SIN(XF)
570 HS = D(25) * 15
580 GO 1511 * (1 + .033 * COS((360/365) * D(19))) * (SIN(D(16)) * SIB(D) + COS(D(16)) * COS(D) * COS(HS))
590 REM CALCULO DE RB Y GON
600 RB = ((COS(D(16)) - C(9)) * COS(D) * COS(HS) + SIN(D(16)) - D(9) * SIB(D)) * SIN(D) / (COS(D(10)) * COS(D) * COS(D) *
    COS(HS) + SIN(D(10)) * (SIN(D))))
610 GN = RB + GO
620 AW = .4237 - .00821 * (6 - D(21))^2
630 AY = .5055 + .00595 * (6.5 - D(21))^2
640 AZ = .2711 + .01858 * (2.5 - D(21))^2
650 AD = R0 * AW; AF = AY * D(23); K = D(24) * AZ
660 FA = SIN(D(16)) * SIN(D) + COS(D) * COS(L) * COS(HS)
670 TB = AD + AF * EXP(-K/FA)
680 TD = .271 - .2939 * TB
690 G = GO * RB * (TB + TD)
700 PRINT: PRINT "EL VALOR DE LA RADICACION GLOBAL INSTANTANEA ES"; G
710 REM CALCULO DE LA TEMPERATURA DE PLACA
715 PRINT
720 PRINT "CALCULO DE LA TEMPERATURA DE PLACA": PRINT
730 INPUT "TEMPERATURA DE PLACA ASUMIDA (K)"; TP: PRINT
740 INPUT "NUMERO DE CUBIERTAS DEL COLECTOR"; NC: PRINT
750 INPUT "TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA DEL COLECTOR (K)"; TOC: PRINT
760 INPUT "CALOR ESPECIFICO DEL AIRE SECO (J/Kg-K)"; CD
770 PRINT; INPUT "FLUJO DE AIRE (Kg/s)"; SS: PRINT
780 TF = .6 * TP: PRINT
790 PRINT "PROPIEDADES FISICAS DEL AIRE A"; TF: PRINT
800 INPUT "NUMERO DE PRANDTL"; NP: PRINT
810 INPUT "COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA (1/K)"; CT: PRINT
820 INPUT "DIFERENCIA DE TEMPERATURAS DE PLACAS"; DP: PRINT
830 INPUT "VISCOSIDAD CINEMATICA ( )"; VC: PRINT
840 IF H= 1 THEN GOTO 860
850 INPUT "ANGULO DE FORMACION CANAL"; FI: GOTO 870

```

```

860 FI = 180
870 HW = 5.7 + 3.8 * D(18)
880 F = (1 + .089 * HW - .116 * HW * D(14)) * (1 + .7866 * D(19))
890 CR = 520 * (1 - .000051 * D(19)^2)
900 EM = .43 * (1 - (100 / TP))
910 U = (NC / ((CR / TP) * (TP - TC) / (NC + F) ^ EM + 1 / HW) ^ -1)
920 UT = U + (5.67E-08 * (TP + TC) * (TP + TC) * (TP^2 + TC^2) / ((EP + .00591 * NC * HW) ^ -1 + (2 * NC + (F - 1) * (F - 1) + .133 * EP) / EC - NC))
930 UB = D(12) / D(6); UE = D(12) * D(3) / (D(6) * D(2))
940 S = G * D(15) * D(10) * 1.02
950 RA = (9.8 * CT * DP * D(7)^3 * NP) / VC ^ 2
960 H1 = ((1 + 1.44 * (1 - 1708 / (RA * COSD(19))) * (1 - (SEN(1.8 * D(9)))^1.6 / (RA * COSD(9)))) + ((RA * COSD(9) / 5830)^(1/3) - 1))
970 H2 = H1
980 PRINT: INPUT "TEMPERATURA DE CUBIERTA ASUMIDA (K)"; OT
990 HR = (5.67E-08 * (TP^2 + OT^2) * (TP + OT) / (1 / D(14) + 1 / D(14) + 1 / D(13) - 1))
1000 TI = TP - ((UT * (TP - D(17))) / (H1 + HR))
1010 IF ABS(TI - OT) < .01 THEN GOTO 1025
1020 OT = TI: GOTO 990
1025 UL = UT + UB + UE
1030 FP = 1 / (1 + (UL / ((H1 / SIN(FI / 2)) + (1 / H2 + 1 / HR))))
1040 FR = ((SS * CD) / (D(2) * UL)) * (1 - EXP(-(D(2) * UL * FP) / (SS * CD)))
1050 QU = D(2) * FR * (S - UL * (TF - D(17)))
1060 TZ = TF + ((QU / D(1)) / (UL * FR)) * (1 - FR)
1070 IF ABS(TZ - TP) < .01 THEN GOTO 1090
1080 TP = TZ: GOTO 980
1090 IF H = 1 THEN GOTO 1110
1100 T1 = D(17) + (6 * (((D(15) * D(10) * 1.02) / UL) * (1 - (EXP(-(D(1) * UL * FP) / (SS * CD))))))): GOTO 1120
1110 T1 = TP
1120 HG = HG + 1
1130 PP(HG) = TP; MM(HG) = SS; CC(HG) = TI; TT(HG) = T1
1140 INPUT "DESA OTRO FLUJO DE MASA (S/N)"; D$
1150 IF D$ = "N" THEN GOTO 1170
1160 GOTO 710
1170 PRINT: LPRINT "RESULTADOS OBTENIDOS": PRINT
1180 LPRINT TAB(5); "FLUJO DE AIRE (Kg/s)"; TAB(27); "TP (K)"; TAB(33); "TC(K)"; TAB(38); "T1 (K)": PRINT
1190 FOR I = 1 TO HG
1200 LPRINT TAB(5); MM(I); TAB(28); PP(I); TAB(33); CC(I); TAB(39); TI(I): PRINT
1210 NEXT I
1220 INPUT "ANOTO SU FLUJO DE MASA ESCOGIDO (S/N)"; E$
1230 IF E$ = "N" THEN GOTO 1170
1240 CLS
1250 PRINT "CALCULO DE HUMEDAD ABSOLUTA DE SALIDA DEL AIRE Y TEMPERATURAS DE PRODUCTO": PRINT
1260 INPUT "CUAL FUE SU TEMPERATURA T1 (K)"; TW(1): PRINT
1270 INPUT "HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE DE ENTRADA"; HA(1): PRINT
1280 INPUT "DENSIDAD DEL AIRE A T1 (Kg/m^3)"; DA: PRINT
1290 INPUT "CUANTOS LECHOS TIENE EL DESHIDRATADOR"; ld: print
1300 INPUT "CUAL ES EL ESPESOR DEL LECHO (M)"; EL: PRINT
1310 FOR I = 1 TO LD

```

```

1320 IF I >= 2 THEN GOTO 1340
1330 EE(I) = .97 * TW(I); TW(I+1) = (TW(I) EE(I)) / 2.1; GOTO 1360
1340 EE(I) = 1.02 * TW(I)
1350 TW(I + 1) = TW(I) + EE(I) / 2
1360 NEXT I
1370 CLS
1380 PRINT TAB (10); "FORMA GEOMETRICA APROXIMADA DE SU GRANO": PRINT
1390 PRINT "1.ESFERICO "; " 2.CUBICO": PRINT
1400 PRINT "3.ELIPTICO "; " 4.PARALELEPIPEDO": PRINT
1410 INPUT "QUE OPCION DESEA (1 - 4)" Q: PRINT
1420 IF Q = 1 THEN GOTO 1440
1430 GOTO 1470
1440 PRINT ; INPUT "DIAMETRO (M)"; WM
1450 S1 = 3.1416 * WM ^ 2; V1 = (3.1416 / 12) * WM ^ 3
1460 A = S1 / V1: GOTO 1705
1470 IF Q = 2 THEN GOTO 1490
1480 GOTO 1520
1490 PRINT : INPUT "LADO (M) "; QH
1500 S2 = 6 * QH ^ 2; V2 = (3.1416 / 12) * QH ^ 3
1510 A = S2 / V2: GOTO 1540
1520 IF Q = 3 THEN GOTO 1540
1530 GOTO 1570
1540 PRINT : INPUT "A (M)"; HQ: PRINT: INPUT "B (M)"; HZ
1550 S3 = HQ * HZ; S4 = (HQ + HZ) / 2; V3 = (3.1416 / 12) * S4
1560 A = S3 / V3 : GOTO 1705
1570 PRINT: INPUT "BASE (M)"; BM : PRINT: INPUT "B (M)"; HZ
1580 S5 = 4 * BM * AM; V4 = (BM + AM) / 2; V5 = (3.1416 / 12) * S4 ^ 3
1590 A = S5 / V5
1705 CLS: PRINT: PRIN: PRINT
1700 FOR I = 1 TO LD
1710 PRINT "HUMEDAD ABSOLUTA DE SATURACION A"; EE(I)
1720 INPUT " "; WA
1730 AC = (101300) / (8314 * TW(I))
1735 PRINT
1740 PRINT "CUAL ES LA HUMEDAD ABSOLUTA DE SALIDA DEL LECHO"; I
1750 INPUT " "; HA (I + 1)
1760 LL = HA( I + 1) - HA (I)
1770 B = (((WA / (WA + 1)) - ((HA(I) / (HA(I) + 1)))) / (A * EL)) * (LOG (1 + B)))
1780 KL = ((AC * DA * (LOG(WA - HA(I)) / (WA - HA(I + 1)))) / (A * EL)) * (LOG(1 + B)))
1790 IF ABS(LL - KL) < .00001 THEN GOTO 1810
1800 GOTO 1740
1810 NEXT I
1820 CLS
1830 LPRINT "IMPRESION DE RESULTADOS": PRINT
1840 FOR I = 1 TO LD
1850 LPRINT TAB(15); "BANDEJA NO"; I: PRINT
1860 LPRINT TAB(5); "TEMPERATURA DE AIRE DE ENTRADA"; TW(I)
1870 LPRINT: LPRINT TAB(5); "TEMPERATURA DE AIRE DE SALIDA"; TW(1 + I)
1880 LPRINT: LPRINT TAB(5); "TEMPERATURA DE PRODUCTO"; EE(I):LPRINT

```

```

1890 LPRINT TAB(5); "HUMEDAD ABSOLUTA DE ENTRADA"; HA(I); LPRINT
1900 LPRINT TAB(5); "HUMEDAD ABSOLUTA DE SALIDA"; HA(1 + I)
2000 NEXT I
2010 CLS
2020 PRINT : PRINT : PRINT
2030 PRINT TAB(30); "CALCULO DE ";
2040 PRINT TAB(5); "I. CALOR DE VAPORIZACION"
2050 PRINT TAB(5); "II. ENERGIA SOLAR GANADA POR EL GABINETE"
2060 PRINT TAB(5); "III. ENERGIA PERDIDA POR EL GABINETE AL MEDIO AMBIENTE"
2070 PRINT: PRINT: PRINT
2080 PRINT "CALCULO DE LAS TEMPERATURAS DE CUBIERTA"
2090 FOR I = 1 TO LD
2100 PRINT: PRINT: PRINT "TEMPERATURA DE CUBIERTA AL REDEDOR DEL LECHO"; I
2110 INPUT "AREA DE LA CUBIERTA (M^2); J1
2120 PRINT: INPUT "FACTOR DE VISION ENTRE EL PRODUCTO Y LA CUBIERTA"; J2
2130 PRINT: INPUT "EMISIVIDAD DE LA CUBIERTA" J3
2140 J4 = (TW(I) + TW(I + 1) / 2
2142 PRINT: PRINT "CALCULO DEL COEFICIENTE CONECTIVO ENTRE EL AIRE Y LA CUBIERTA"
2150 PRINT: PRINT "PROPIEDADES DEL AIRE A TEMPERATURA"; J4; "K"
2160 PRINT: INPUT "NUMERO DE PRANDTL"; J5
2170 PRINT: INPUT "VISCOSIDAD CINEMATICA (M)"; J6
2180 PRINT: INPUT "DELTA DE TEMPERATURA"; J7
2190 PRINT: INPUT "LONGITUD DE CARACTERISTICAS (M)"; J8
2200 PRINT: INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AIRE (W/M-K)"; J9
2210 JA = J5 * (JB ^ 3 * 9.8 * (1 / J4) * J7) / J6
2220 PRINT: PRINT "CON(NPR * NGR)="; JA; "BUSCAR EN TABLA 1 DE ANEXO 3, EL VALOR DE M Y A"
2230 INPUT "M="; JB: PRINT: INPUT "A="; JC
2240 JD = (J9 / J8) * JC * (JA) ^ JB
2250 AX(I) = JD
2260 PRINT: PRINT "CALCULO DEL COEFICIENTE CONVECTIVO ENTRE LOS ALREDEDORES Y LA CUBIERTA"
2270 PRINT: PRINT "PROPIEDADES DEL AIRE A TEMPERTAURAS"; TC; "K"
2280 PRINT: INPUT "NUMERO DE PRANDTL"; U1
2290 PRINT: INPUT "VISCOSIDAD CINEMATICA(      )"; U2
2300 PRINT: INPUT "DELTA DE TEMPERATURA"; U3
2310 PRINT: INPUT "LONGITUD CARACTERISTICA"; U4
2320 PRINT: INPUT "CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AIRE (W/M-K)"; U5
2330 PRINT: INPUT "DELTA DE TEMPERATURA"; U7
2340 U6 = U1 * ((U4 ^ 3 * 9.8 * (1 / TC) * U7) / U2)
2350 PRINT; PRINT "CON (NPR*NGR)="; U6; "BUSCAR EN TABLA 1 DE ANEXO 3, EL VALOR DE M Y A"
2360 INPUT "M="; U8: PRINT: INPUT "A="; U9
2370 JF = (U5 / U4) * U9 * (U6) ^ U8
2380 BY(I) = JF
2390 PRINT: PRINT: INPUT "CUAL ES LA TEMPERATURA DE CUBIERTA ASUMIDA (K)"; QX
2400 XL = JD * J1 * (J4 - QX) + J1 + G
2405 HM = 1.05 * TC ^ 1.5
2410 XK = JF*J1*(QX-TC)+(5.67E - 08*J1*J2*( QX ^4 - EE(I)^ 4))+(5.67E-08*J1*J3*(QX ^ 4-HM ^ 4))
2420 IF ABS (XL - XF) < .001 THEN GOTO 2440
2430 GOTO 2390
2440 YF(I) = QX

```

```

2445 NEXT I
2450 PRINT: PRINT "CALCULO DEL CALOR DE VAPORIZACION"
2460 FOR I = 1 TO LD
2470 PRINT: PRINT "CALOR LATENTE DE VAPORIZACION A" ; EE(I)
2480 INPUT "HFG"; VG
2490 VG(I) = SS*(HA (I + 1) - HA (I))*(VG + 1860 ((TW(I) + TW(1 + I)) / 2 - EE(I)) - 2320*EE(I))
2500 LZ = LZ + VG(I)
2510 NEXT I
2520 PRINT: PRINT "CALCULO DE LA ENERGIA SOLAR GANADA POR EL GABINETE"
2530 FOR I = TO LD
2540 PRINT "AREA TOTAL DEL PRODUCTO Y LA CUBIERTA ALREDEDOR DEL LECHO": I
2550 INPUT " "; PX (I)
2560 GX (I) = PX(I)
2570 PRINT: PRINT "AREA TOTAL DEL PRODUCTO Y LA CUBIERTA ALREDEDOR DEL LECHO"
2580 INPUT " "; ZZ(I)
2590 GZ (I) = ZZ(I) * S
2600 XA = (GZ(I) + GX(I)) + XA
2610 NEXT I
2620 PRINT: PRINT "CALCULO DE LA ENERGIA PERDIDA AL MEDIO AMBIENTE"
2630 FOR I = 1 TO LD
2640 ZG(I) = AX(I) * PX(I) *(YF(I) - TC) + 5.67E - 08 * J3 * (PX(I) * YF(I) ^ 4 - HM ^ 4)
2650 HK = HK + ZG(I)
2660 NEXT I
2670 CLS
2680 LPRINT: LPRINT: LPRINT
2690 LPRINT "CALOR TOTAL DE VAPORIZACION ES:"; LZ; "WATRS": PRINT
2700 LPRINT "ENERGIA PERDIDA AL MEDIO AMBIENTE"; HK; "WATTS": PRINT
2710 LPRINT "ENERGIA SOLAR GANADA POR EL GABINETE:" XA; "WATTS"
4000 END

```

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

IV.1 VARIABLES DE OPERACION MEDIDAS EN LA FASE EXPERIMENTAL.

Para una mejor presentación e interpretación de los datos obtenidos en la fase experimental, las variables de operación se dividen en dos grandes grupos:

1. Variables con respecto al secado.
2. Variables con respecto a las condiciones climatológicas.

IV.1.1 VARIABLES CON RESPECTO AL SECADO.

Los parámetros que se involucran en la medición de las variables con respecto al secado en cada uno de los deshidratadores, excepto el literal 6 que corresponde al deshidratador de gabinete son:

1. Temperatura de entrada del aire (Bulbo seco y bulbo húmedo).
2. Temperatura de salida del aire (Bulbo seco y bulbo húmedo).

3. Porcentaje de humedad del grano.
4. Peso de las muestras.
5. Tiempo de exposición del producto a la radiación solar.
6. Temperatura de producto.

Los parámetros anteriormente enumerados se utilizan para establecer las variables que a continuación se presentan:

- A. Humedad absoluta de entrada y salida del aire.

Para obtener la humedad absoluta en cada uno de los casos, se obtuvo basándose en la carta psicrométrica (17) y para lo cual se utilizan los parámetros identificados como los literales 1 y 2.

- B. Variación del contenido de humedad con respecto al tiempo.

La medición de esta variable se obtiene de la siguiente forma:

- Lecturas directas en un aparato electrónico medidor de porcentaje de humedad de agua en los granos utilizados para aquellos granos cuyo porcentaje de humedad sea menor del 35%.
- Para los granos cuyas humedades se encuentran arriba

del 35% se calcula auxiliándose del seguimiento de la pérdida de peso de las muestras, explicado en el anexo IV.

C. Tiempo de exposición del grano al secado solar.

Esta variable es de medición directa y se obtiene tomando el tiempo desde que se cargan los deshidratadores con el producto hasta que uno de ellos presenta la humedad recomendada en literatura (4) para cada uno de los granos en estudio.

IV.1.2. VARIABLES CON RESPECTO A LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.

En la medición de estas variables se involucran criterios de apreciación y se describen de una manera cualitativa.

A. Brillo solar.

Para esta variable existen dos condiciones:

Si: Cuando el sol no está oculto en ningún manto de nubes.

No: Cuando el sol se encuentra atrás de un manto de nubes.

B. Nubosidad.

La medición consiste en observar cada uno de los cuatro puntos cardinales de la porción de cielo visible para el observador y determinar el porcentaje de nubosidad, tomando en cuenta que el rango de la escala es de cero (completamente despejado) a cien (totalmente nublado).

C. Velocidad de viento.

Para la medición de esta variable se utiliza la escala empírica de Beufort. (18)

D. Temperatura ambiente.

Esta medición es directa en un termómetro de alcohol de escala de -10°C a 50°C . Temperatura ambiente bajo sombra.

IV.2. UBICACION DEL SITIO DE PRUEBAS.

Para determinar el lugar de instalación de los modelos de deshidratadores, se toman en cuenta los siguientes criterios:

1. Que las condiciones climatológicas se aprovechen de la mejor manera posible.

2. Facilidad de acceso y manejo del equipo.
3. Lugar cercano al sitio de almacenamiento del equipo y producto para disminuir costos.
4. Lugar no muy frecuentado por personas, para evitar problemas de variación en los datos obtenidos, debido al efecto de sombra sobre los equipos.
5. Un lugar completamente libre de árboles y edificaciones que obstruyan el paso de la energía solar.

Tomando en cuenta los criterios de selección para la ubicación del sitio de pruebas, se procede a delimitar el sitio de trabajo en el campus de la Universidad de El Salvador, específicamente en la parte norte de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

En la selección del lugar de pruebas el criterio predominante es el numeral tercero, considerando que los deshidratadores están diseñados para funcionar a una latitud de 13° .

IV.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO.

A continuación se proceden a mencionar el equipo

utilizado en cada uno de los deshidratadores solares.

IV.3.1 DESHIDRATADOR TIPO ARTESANAL.

Este deshidratador se presenta en la Fig. II.1 (ver Capítulo II), el cual cuenta con el equipo presentado en la tabla IV.1.

TABLA IV.1 EQUIPO UTILIZADO EN EL DESHIDRATADOR TIPO ARSENAL.

EQUIPO	CANTIDAD	PARAMETROS A MEDIR	UBICACION
TERMOMETRO	2	T.B.S. T.B.H.	CHIMENEA
	2	T.B.S. T.B.H.	ORIFICIOS DE ENTRADA DEL AIRE.

Donde:

T.B.S. : Temperatura de bulbo seco.

T.B.H. : Temperatura de bulbo húmedo.

IV.3.2 DESHIDRATADOR DE CAJA CALIENTE.

La figura II.2 del capítulo II, presenta el esquema de este deshidratador. La tabla IV.2 describe el equipo utilizado para realizar la etapa experimental.

TABLA IV.2 EQUIPO UTILIZADO EN EL DESHIDRATADOR DE CAJA CALIENTE.

EQUIPO	CANTIDAD	PARAMETRO A MEDIR	UBICACION
TERMOMETRO	2	T.B.S. T.B.H.	AGUJEROS DE SALIDA DEL PRECALENTADOR
	2	T.B.S. T.B.H.	AGUJEROS LATERALES PARA EL AIRE DE SALIDA.

IV.3.3. DESHIDRATADOR DE GABINETE.

Este deshidratador se presenta en la Fig. II.3 (Capítulo II), el cual es provisto del equipo que se presenta en la tabla IV.3.

TABLA IV.3 EQUIPO UTILIZADO EN EL DESHIDRATADOR DE GABINETE.

EQUIPO	CANTIDAD	PARAMETRO A MEDIR	UBICACION
TERMOMETRO	2	T.B.S. T.B.H.	CAMARA DE PRECALENTAMIENTO
	2	T.B.S. T.B.H.	SUJETADORES DEL REGULADOR DE FLUJO DE AIRE DE SALIDA
	3	TEMPERATURA DEL GRANO	EN CADA UNA DE LAS BANDEJAS DEL GABINETE, CON SU BULBO CUBIERTOS POR GRANOS.

Como equipo común utilizado en las mediciones de parámetro para los tres modelos de deshidratadores se mencionan:

- Balanza granataria.
- Aparato electrónico medidor de porcentaje de humedad en los granos.
- Termómetro para medir temperatura ambiente.

IV.4 REALIZACION DE LAS PRUEBAS.

A fin de realizar las pruebas comparativas de comportamiento de los modelos de deshidratadores en estudio y las características de secado en los tres tipos de granos básicos (frijol, maíz y arroz), se inician simultáneamente las pruebas de los deshidratadores solares con un mismo tipo de grano, igual carga e igual área de entrada y salida de aire en los modelos.

A continuación se describe el procedimiento general empleado para cada una de las pruebas realizadas con los diferentes granos en estudio.

1. Selección del producto.
2. Identificación de muestra del producto para facilitar

el seguimiento de la variación de humedad. En el muestreo realizado se pesan cinco cantidades de granos, ubicándolos en pequeños depósitos en el interior de cada gaveta.

3. Pesar el producto y colocar en cada uno de los deshidratadores.
4. Colocar el equipo de medición en los deshidratadores.
5. Verificar condiciones semejantes de trabajo.
6. Hacer las mediciones respectivas.

Los literales 1 al 3 corresponden al inicio de las pruebas, no así los literales 4 al 6; que corresponden a la actividad diaria durante la duración de la prueba.

IV.4.1 DATOS OBTENIDOS.

En esta sección se presenta como se recaban los datos experimentales para cada una de las pruebas de los diferentes granos.

A. Prueba de maíz. (Variedad H-5).

Se utiliza maíz fisiológicamente maduro, seleccionando 75 mazorcas para cada deshidratador con un peso aproximado de 30 libras. La prueba se inicia el 20 de Agosto y finaliza el 26 de Agosto de 1992, con un

promedio de 8 horas diarias de exposición del producto a la radiación solar.

B. Prueba de frijol.

La prueba se realiza con frijol fresco, pesando 75 libras por deshidratador. Se inicia el 5 de Septiembre y finaliza el 7 de Septiembre de 1992, las horas promedio diarias de exposición solar son de 7, debido a las lluvias que se presentaron en este período.

C. Prueba de arroz. (Variedad CENTA-4)

Se experimenta con arroz en granza colocando 70 libras de arroz en cada deshidratador, distribuido uniformemente. La prueba da inicio el 17 de Septiembre y finaliza el 19 de Septiembre de 1992, con un promedio de 8 horas diarias de exposición solar.

La medición de las variables anteriormente establecidos (ver sección IV.1.1), en cada una de las pruebas y para cada uno de los diferentes deshidratadores, genera un volumen de datos de tal forma que su presentación en forma tabular resulta inapropiada. Razón por la cual en la sección IV.5.1 se presentan las variables seguidas durante el desarrollo experimental por medio de gráficas. Sin embargo, es necesario mostrar los formatos bajo los

cuales se recaban, para esto se hace uso de tablas-muestras, las cuales corresponden a un día de prueba seleccionando para cada grano en estudio y para cada deshidratador.

La estructura de las tablas utilizadas durante el período de pruebas, es similar para los deshidratadores de caja caliente y tipo artesanal, teniendo variaciones la tabla utilizada en el deshidratador de gabinete que corresponden a cada uno de los lechos en los cuales se deposita el producto. Las variables medidas durante la etapa experimental se realizan en forma simultanea en 3 modelos de deshidratador, tomando lecturas a intervalos de 15 minutos, con excepción del peso de la muestra que se realiza a intervalos de 2 horas para detectar la variación de pérdida de peso.

Se realiza un promedio de 30 lecturas diarias para cada uno de los deshidratadores y cada grano deshidratado. El número de lecturas es correlativo para cada prueba. Las tablas IV.4, IV.5 y IV.6 presentan los formatos en las cuales se anotan las lecturas.

TABLA IV.4 TABLA MUESTRA PARA EL MAIZ
DESHIDRADOR: ARTESANAL FECHA: 23/08/92

NUMERO DE MEDICION	TIEMPO HORAS	TEMPERATURA ENTRADA DEL AIRE		TEMPERATURA SALIDA DEL AIRE		TEMPERATURA AMBIENTE	BRILLO SOLAR	NUBOSIDAD	VELOC. DE VIENTO ESC. B	PESO DE MUESTRA GRAMO	
		°C		°C							°C
		BULBO SECO	BULBO HUMEDO	BULBO SECO	BULBO HUMEDO						
116	9:30	33	26	40	30	25	SI	15	BRISA	213.9	
117	9:45	33	27	40	32	26	SI	15	BRISA		
118	10:00	33	27	43	30	26	SI	20	BRISA		
119	10:15	34	27	44	31	28	SI	20	BRISA		
120	10:30	35	28	44	31	29.50	NO	30	BRISA		
121	10:45	36	27	45	31	30	SI	25	BRISA		
122	11:00	36	26	44	31	30	SI	25	BRISA		
123	11:15	38	27	45	32	30	SI	25	BRISA	211.9	
124	11:30	41	28	45	32	28	SI	20	BRISA		
125	11:45	41	26	44	30	28.50	SI	25	BRISA		
126	12:00	44	27	46	31	28.50	SI	25	BRISA		
127	12:15	45	28	46	31	29	SI	35	BRISA		
128	12:30	45	29	46	31	30	SI	30	BRISA		
129	12:45	45	26	46	32	29.50	SI	30	BRISA		
130	1:00	47	28	50	32	29	SI	20	BRISA		
131	1:15	45	28	46	31	29	SI	20	BRISA	201.8	
132	1:30	46	27	45	30	29	NO	25	BRISA		
133	1:45	46	26	46	31	30	SI	25	BRISA		
134	2:00	47	25	46	28	31	SI	15	BRISA		
135	2:15	46	25	47	29	31	SI	15	BRISA		
136	2:30	47	24	46	29	31	SI	15	BRISA		
137	2:45	47	25	48	30	30.50	SI	15	BRISA		
138	3:00	46	26	47	29	33	SI	--	BRISA		
139	3:15	44	25	47	29	33	SI	5	BRISA	198.1	
140	3:30	41	25	47	29	34.50	SI	5	BRISA		
141	3:45	39	25	46	29	34	SI	5	BRISA		
142	4:00	37	25	46	29	31	SI	5	BRISA		
143	4:15	36	25	45	28	32	SI	5	BRISA		
144	4:30	35	24	44	28	31.50	SI	--	-----	197.2	
145	4:45	35	24	42	28	31	SI	--	-----		

TABLA IV.5 TABLA MUESTRA PARA EL FRIJOL
 DESHIDRATADOR: GAVINETE FECHA: 06/09/92

NUMERO DE MEDIC.	TIEMP	TEMPERATURA DE ENTRADA		TEMP LECH 1	TEMP LECH 2	TEMP LECH 3	TEMPERATURA SALIDA		TEMP. ANB.	BRILL SOLAR	NUBOSIDAD	VELOCIDAD VIENTO	PESODE LA MUESTRA
		°C		°C	°C	°C	°C						
		HORA	BS	BH	°C	°C	°C	BS					
31	9:00	57	33	32	35	41	43	37	31	SI	50	BRISA	I= 350.5 II= 372.20 III= 323.70
32	9:15	63	34	34	37	45	47	40	29	SI	50	BRISA	
33	9:30	64	34	34	38	45	48	40	28	SI	50	BRISA	
34	9:45	67	35	35	39	47	50	42	29	SI	50	BRISA	
35	10:00	73	37	36	41	47	50	42	29	SI	60	BRISA	
36	10:15	74	36	37.5	42	48	51	43	30	SI	70	BRISA	
37	10:30	74	36	37.5	42	48	51	43	29	SI	70	BRISA	
38	10:45	70	35	37	41	45	48	41	30	NO	70	BRISA	
39	11:00	67	34	37	41	45	48	41	30	NO	80	BRISA	
40	11:15	65	34	37	41	45	47	40	30	NO	80	BRISA	
41	11:30	60	32	36	41	44	45	40	31	NO	80	BRISA	
42	11:45	62	33	36	41	45	46	40	31	SI	90	BRISA	
43	12:00	62	33	36	40	44	46	40	31	NO	90	BRISA	I= 320 II= 361.90 III= 298.30
44	12:15	53	30	35	38	39	41	37	30	NO	90	BRISA	
45	12:30	49	30	33	38	39	40	36	30	NO	90	BRISA	
46	12:45	53	31	34	38	41	42	38	30	NO	90	-----	
47	1:00	50	30	31	32	37	40	35	28	NO	100	-----	
48	1:15	41	29	30	31	35	37	34	28	NO	100	-----	
49	1:30	38	27	33	35	35	35	34	29	NO	90	-----	
50	1:45	50	30	32	37	40	40	36	29	SI	90	BRISA	
51	2:00	63	35	33	37	43	45	39	29	SI	80	BRISA	I= 307.90 II= 352.50 III= 285.3
52	2:15	67	35	35	39	46	48	41	30	SI	80	BRISA	
53	2:30	70	35	36	40	46	49	41	30	SI	70	BRISA	
54	2:45	69	34	36	41	45	49	41	31	NO	80	BRISA	
55	3:00	50	30	35	39	39	39	36	29.50	NO	90	-----	
56	3:15	48	29	33	37	38	39	35	29.50	NO	90	BRISA	
57	3:30	47	29	32	36	37	39	35	30	NO	90	-----	I= 287.50 II= 346 III= 268.50
58	3:45	50	30	32	37	39	41	38	30.50	SI	90	-----	
59	4:00	48	28	32	36	37	39	35	30	NO	90	-----	

TABLA IV.6 TABLA MUESTRA PARA EL ARROZ
 DESHIDRATADOR: CAJA CALIENTE FECHA: 18/09/92

NUMERO DE MEDICION	TIEMPO HORAS	TEMPERATURA ENTRADA DEL AIRE		TEMPERATURA SALIDA DEL AIRE		TEMPERATURA AMBIENTE	BRILLO SOLAR	NUBOSIDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO	PESO DE MUESTR			
		°C		°C							°C	ESC. 8	GRAMOS
		BULBO SECO	BULBO HUMEDO	BULBO SECO	BULBO HUMEDO								
30	8:45	32	28	41	38	25	SI	60	BRISA	230.3			
31	9:00	37	29	51	44	25.5	SI	60	BRISA				
32	9:15	38	31	50	43	25	NO	60	BRISA				
33	9:30	47	35	60	50	25.5	SI	60	BRISA				
34	9:45	50	37	63	50	26	SI	60	BRISA				
35	10:00	52	40	65	52	26.5	SI	50	BRISA				
36	10:15	55	44	65	53	27	SI	50	BRISA				
37	10:30	59	46	68	54	27	SI	50	BRISA				
38	10:45	60	44	70	55	28	SI	50	BRISA	227.1			
39	11:00	64	42	71	57	27	SI	50	BRISA				
40	11:15	65	42	72	55	28	SI	50	BRISA				
41	11:30	65	41	68	54	28	SI	50	BRISA				
42	11:45	64	41	67	53	28	SI	50	BRISA				
43	12:00	68	42	65	53	28	SI	50	BRISA				
44	12:15	60	45	62	50	30	SI	50	BRISA				
45	12:30	69	48	68	51	29	SI	50	BRISA				
46	12:45	71	49	70	51	29	SI	50	BRISA	220.0			
47	13:00	65	47	59	48	29	SI	50	BRISA				
48	13:15	68	46	62	49	29	SI	50	BRISA				
49	13:30	69	44	64	49	29	SI	50	BRISA				
50	13:45	65	45	64	48	29	NO	60	BRISA				
51	14:00	70	45	64	49	29.5	SI	60	BRISA				
52	14:15	60	44	54	48	28.5	NO	60	-----				
53	14:30	68	45	55	47	29	SI	60	BRISA				
54	14:45	64	45	54	45	29	NO	60	-----	217.6			
55	15:00	64	45	52	43	29	NO	60	BRISA				
56	15:15	63	45	50	42	29	SI	60	BRISA				
57	15:30	65	45	51	42	29	SI	60	-----				
58	15:45	62	44	50	42	29.5	SI	60	BRISA				
59	16:00	50	40	43	38	29.5	NO	70	BRISA				
60	16:15	45	38	37	33	28.5	NO	70	BRISA				
61	16:30	40	35	29	27	28.5	NO	80	BRISA	217.0			

IV.5 GRAFICAS DE HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE Y SECADO POR LOTES DE LOS GRANOS.

La cantidad de humedad removida en función del tiempo muestra el funcionamiento práctico de los deshidratadores. La humedad absoluta del aire de salida en los diferentes deshidratadores es comparado con la humedad absoluta del aire de entrada que representa el parámetro comparativo de los diferentes gráficas.

Las curvas de secado por lote de los diferentes granos en cada uno de los deshidratadores, muestra la cantidad de humedad en el producto en función del tiempo. El porcentaje de humedad de las gráficas de secado por lote esta dado en base seca (kilogramos de humedad / kilogramos de materia seca).

IV.5.1 ANALISIS DE GRAFICAS DE HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE Y SECADO POR LOTES.

Para facilitar el análisis de las gráficas se dividen en:

- a) Gráficas de humedad absoluta del aire.
- b) Gráficas de secado por lote.

a. Gráficas de humedad absolutas del aire:

La humedad absoluta de entrada del aire en los deshidratadores está representada por una línea continua, debido a que es una humedad promedio diaria, los alti-bajos representan los diferentes días de prueba. Ejemplo: la figura V.1 muestra 7 líneas horizontales continuas que representan los 7 días de prueba realizados.

La humedad absoluta de salida del aire en su comportamiento diario, puede observarse en las gráficas IV.1, IV.3 y IV.5, las cuales presentan la misma característica, la humedad absoluta del aire de salida comienza y termina con los valores más bajos; los valores más altos se generan en las horas medias del día (de 11:00 a 14:00 horas), ya que a estas horas se dá la mayor incidencia solar, cielo poco nublado, etc., y se obtiene una mayor remoción de la humedad del grano. Las disminuciones considerables de humedad con respecto al intervalo de tiempo en que se dan, son las consecuencias de que la fuente de energía para los deshidratadores no es constante e igual para cada día de prueba, teniendo sus incrementos y decrementos respectivos los cuales afectan la velocidad de secado de los granos.

En las curvas de humedad para el maíz, se puede observar que a medida que transcurre el tiempo de secado, las humedades absolutas del aire de salida van disminuyendo con respecto a su comportamiento del días anterior de una forma general, lo cual coincide con la disminución de la remoción de humedad del grano, ya que éste va teniendo cada vez menos humedad que aportar al aire. Este comportamiento no se puede generalizar a la experiencia con frijol y arroz, ya que se observa que experimentan un tiempo menor de secado, además el primer día de secado no es el que arroja la máxima remoción de humedad en todos los casos. Considerando con esto que la disposición del grano (tamaño, forma, envoltura, etc.) es determinante para marcar la velocidad y particularidad del secado solar.

b. Gráficas de secado por lote:

Todas las gráficas presentan la misma tendencia (en menor o mayor grado), de disminución del contenido de humedad del grano con respecto al tiempo. Las curvas de secado por lote para los deshidratadores de caja caliente y artesanal, muestran la cantidad total de humedad en base seca que tiene el producto a un determinado tiempo.

En relación a las curvas de secado para el

deshidratador de gabinete se tiene que:

a. Para el frijol y arroz, se da el siguiente resultado:

En orden decreciente de efectividad de secado, las bandejas se comportaron en el orden siguiente:

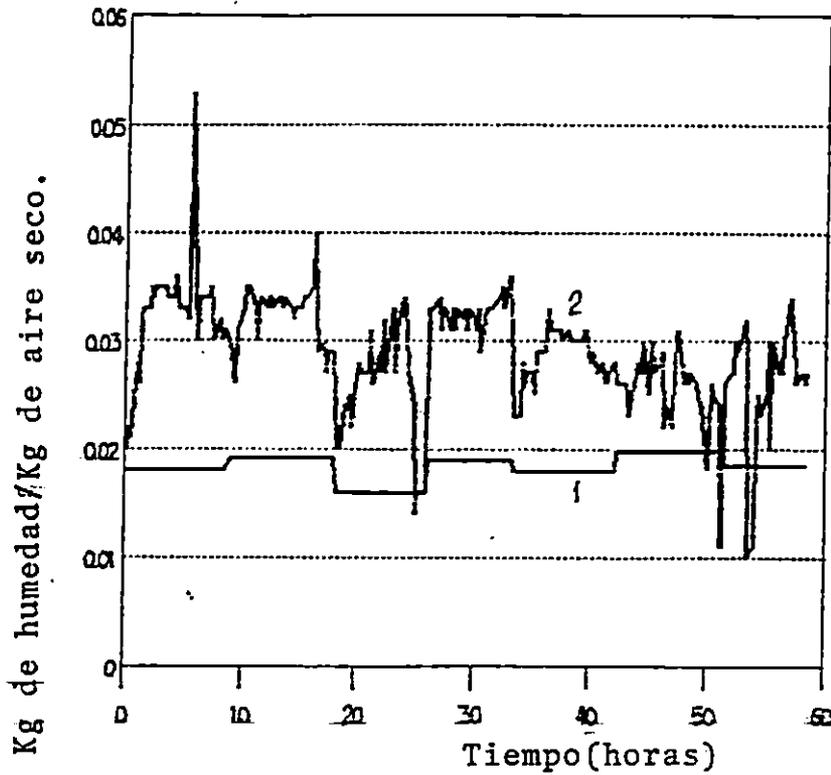
- Gaveta 3 (superior).
- Gaveta 1 (inferior).
- Gaveta 2 (media).

Se considera que la gaveta III es la más eficiente, debido que es sobre ésta en la que la radiación solar incide de manera directa. La gaveta I, que le sigue en efectividad, es afectada por la alta temperatura a que entra el aire proveniente del colector solar. Estos dos factores (radiación y temperatura de aire) se ven disminuidos considerablemente en la gaveta II, dando como resultado un secado a una velocidad menor.

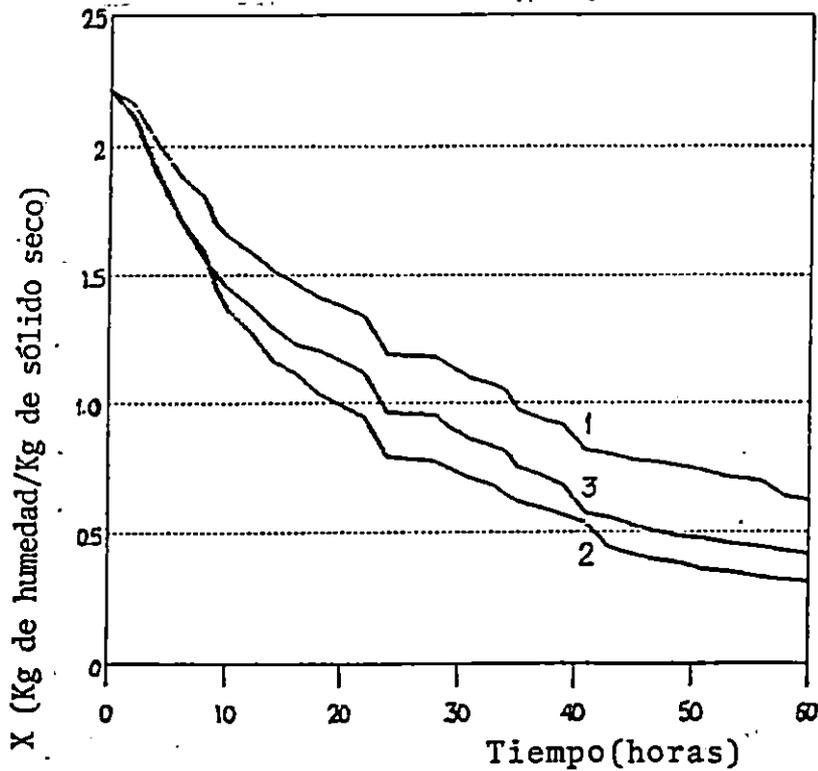
b. Para el maíz el cual se coloca en mazorcas y por lo tanto difiere de una capa uniforme en las gavetas (dejaba grandes huecos para circulación del aire y paso de radiación solar), el resultado en orden decreciente de efectividad de secado es:

- Gaveta II (media).
- Gaveta III (superior).
- Gaveta I (inferior).

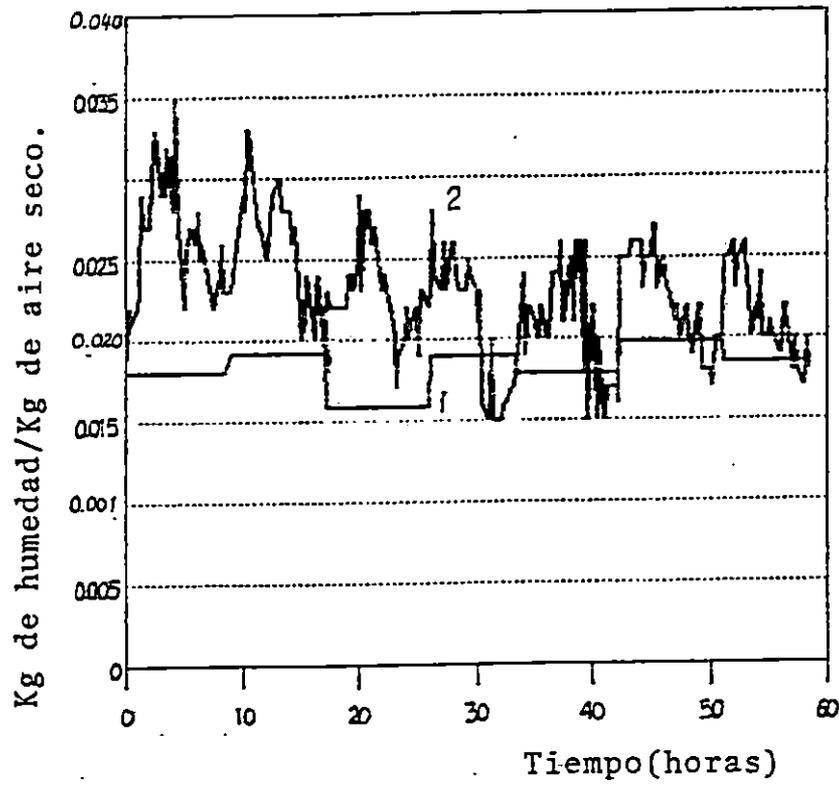
Los gráficos de secado por lotes muestran que el deshidratador de caja caliente remueve más humedad en cualesquiera de los granos, ya sea maíz, arroz o frijol, luego el deshidratador de gabinete remueve en mayor cantidad que el deshidratador artesanal.



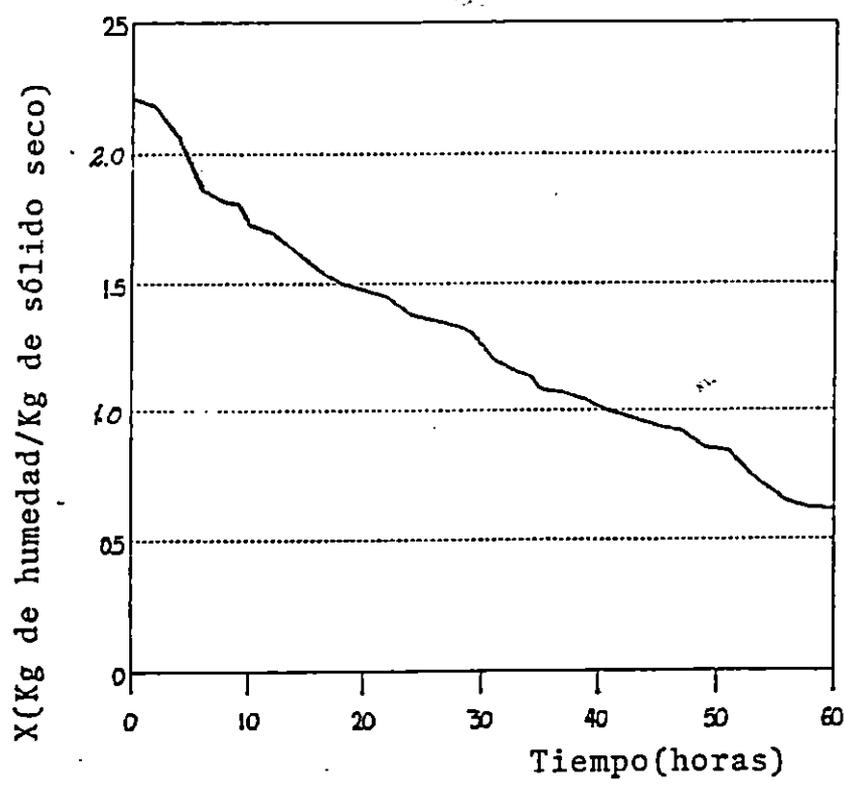
Graf. IV.1 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de gabinete para la prueba con maíz.
Entrada: 1, Salida: 2.



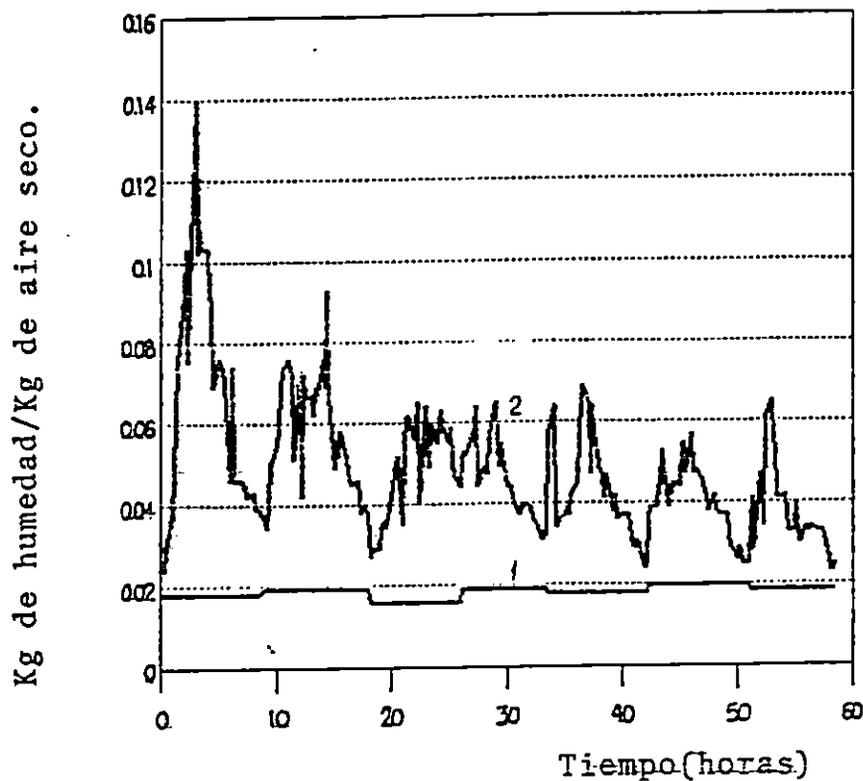
Graf. IV.2 Curva de secado por lotes para maíz en un deshidratador de gabinete.
1er. Gaveta: 1, 2da. Gaveta: 2, 3er. Gaveta: 3



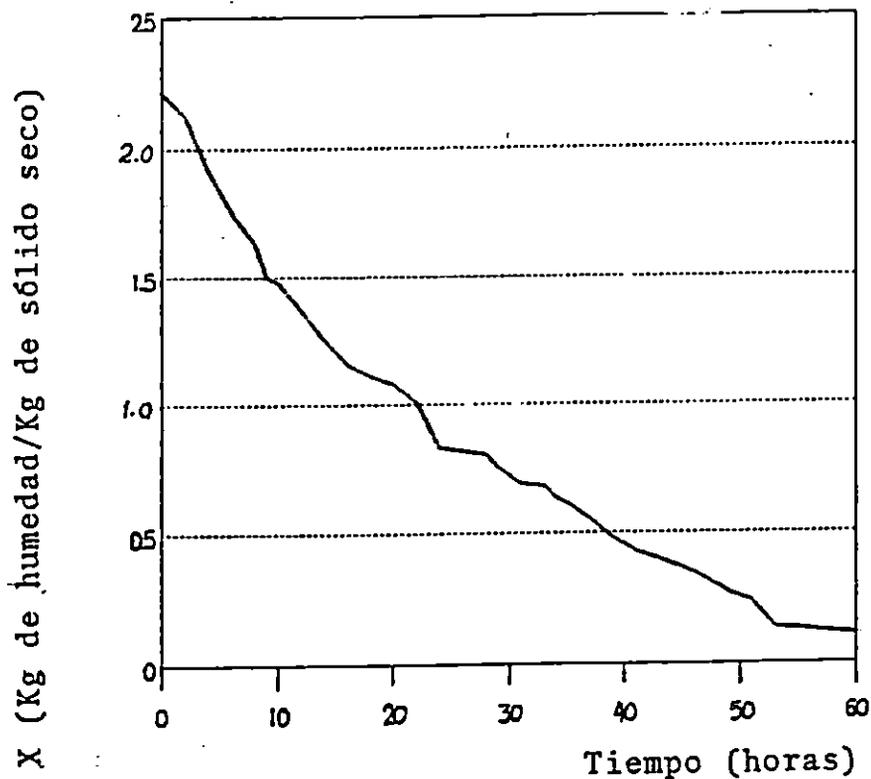
Graf. IV.3 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de tipo artesanal para la prueba con maíz.
Entrada: 1, Salida: 2.



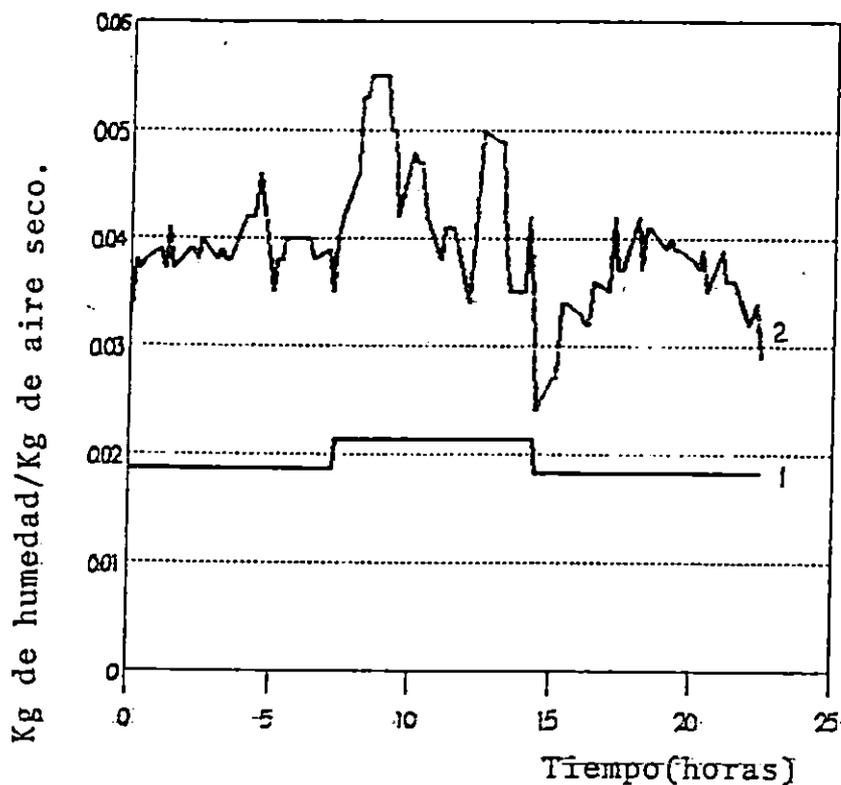
Graf. IV.4 Curva de secado por lotes para maíz en un deshidratador tipo artesanal.



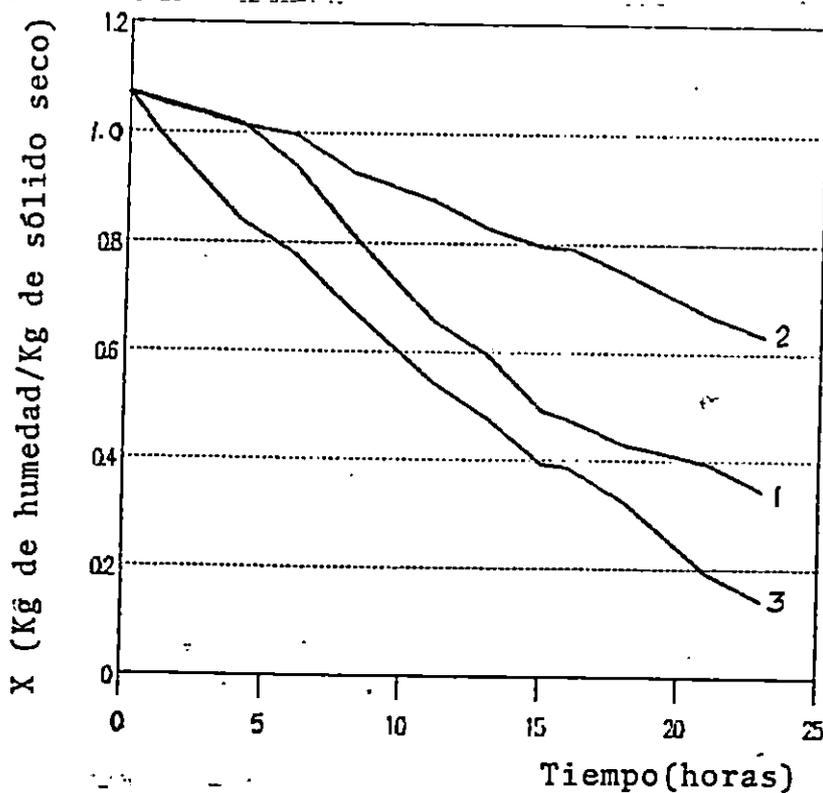
Graf. IV.5 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de caja caliente para la prueba con maíz.
Entrada: 1, Salida: 2.



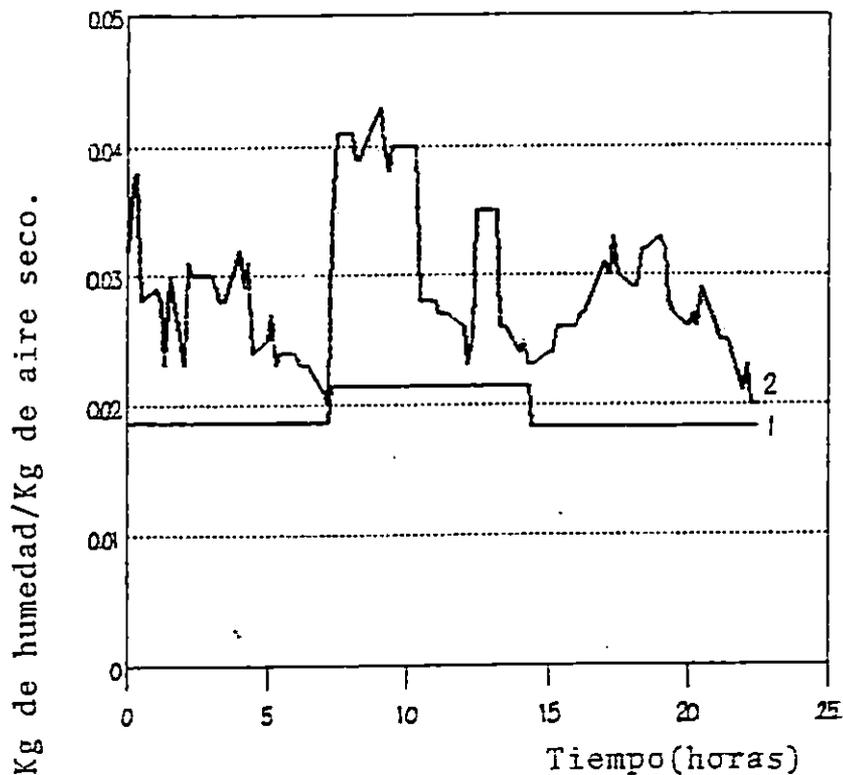
Graf. IV.6 Curva de secado por lotes para maíz en un deshidratador de caja caliente.



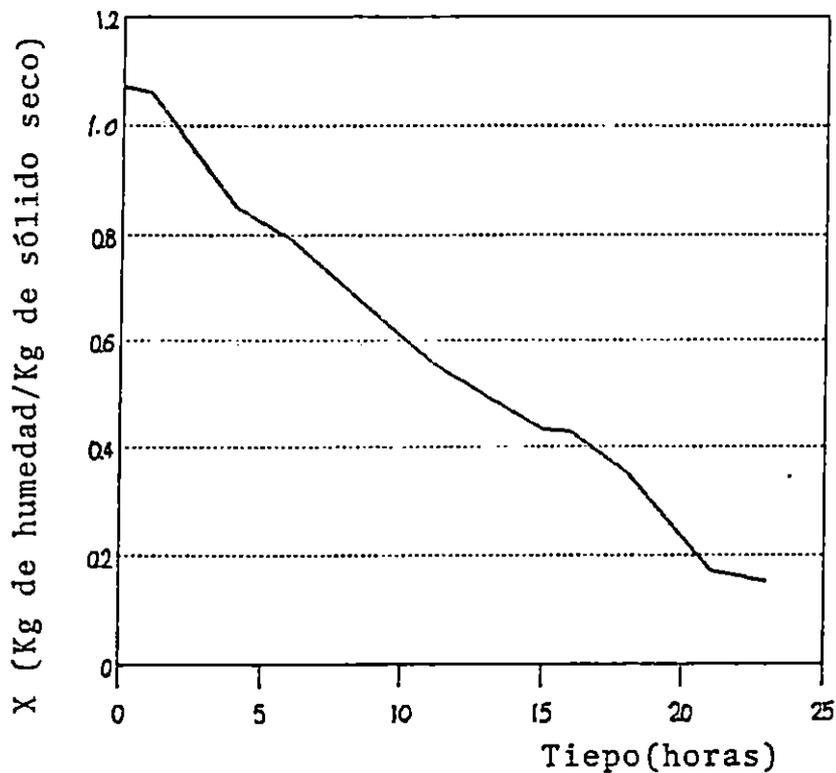
Graf. IV.7 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de gabinete para la prueba con frijol. Entrada: 1, Salida: 2.



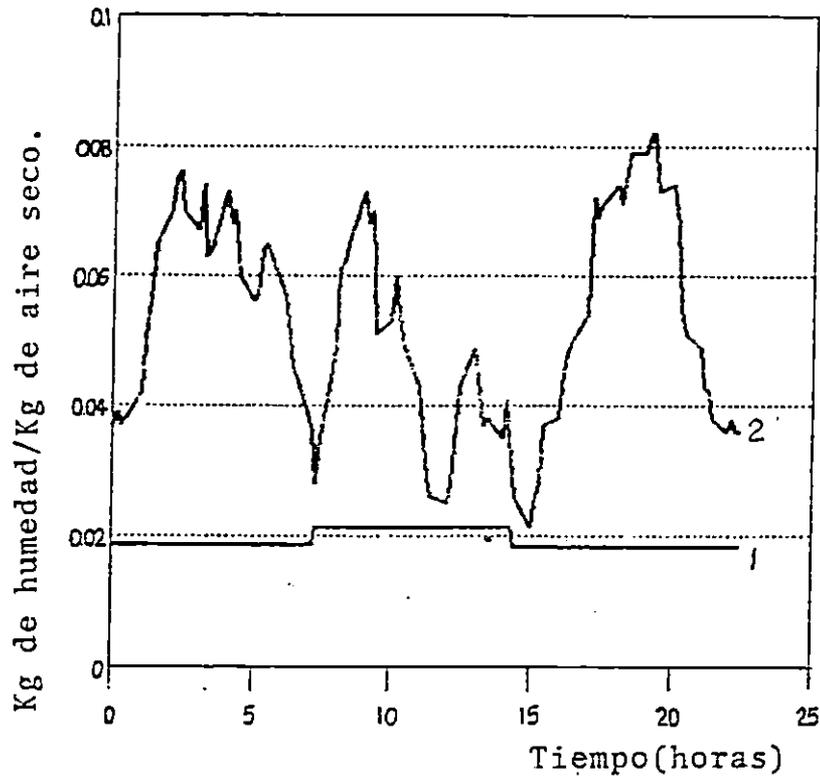
Graf. IV.8 Curva de secado por lotes para frijol en un deshidratador de gabinete. 1er. Gaveta: 1, 2da. Gaveta: 2, 3a. Gaveta: 3



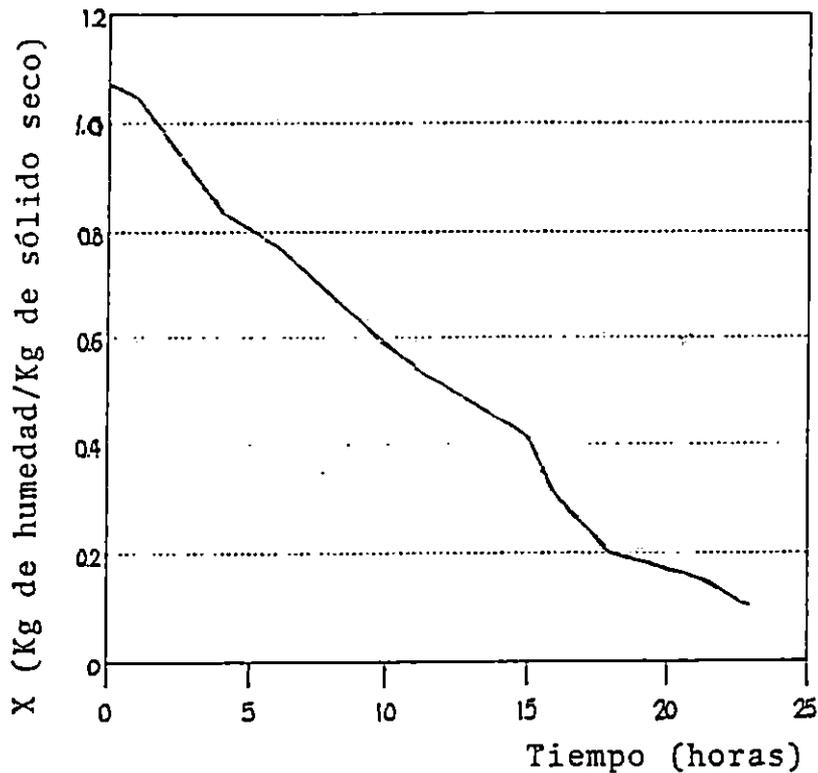
Graf. IV.9 Humedad absoluta de entrada y salida en el deshidratador tipo artesanal para la prueba con frijol.
Entrada: 1, Salida: 2.



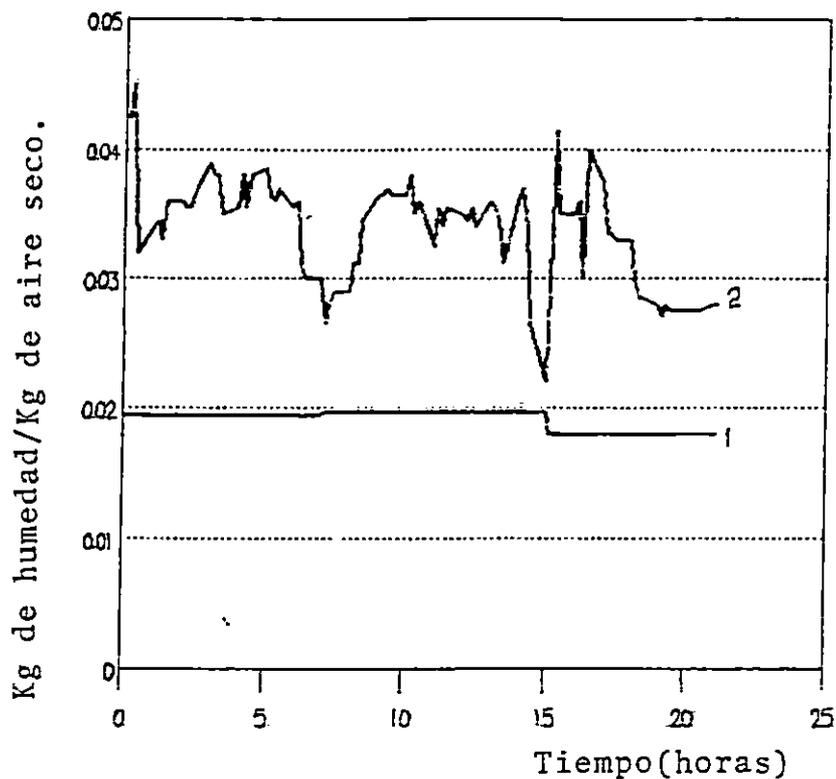
Graf. IV.10 Curva de secado por lotes para frijol en un deshidratador tipo artesanal.



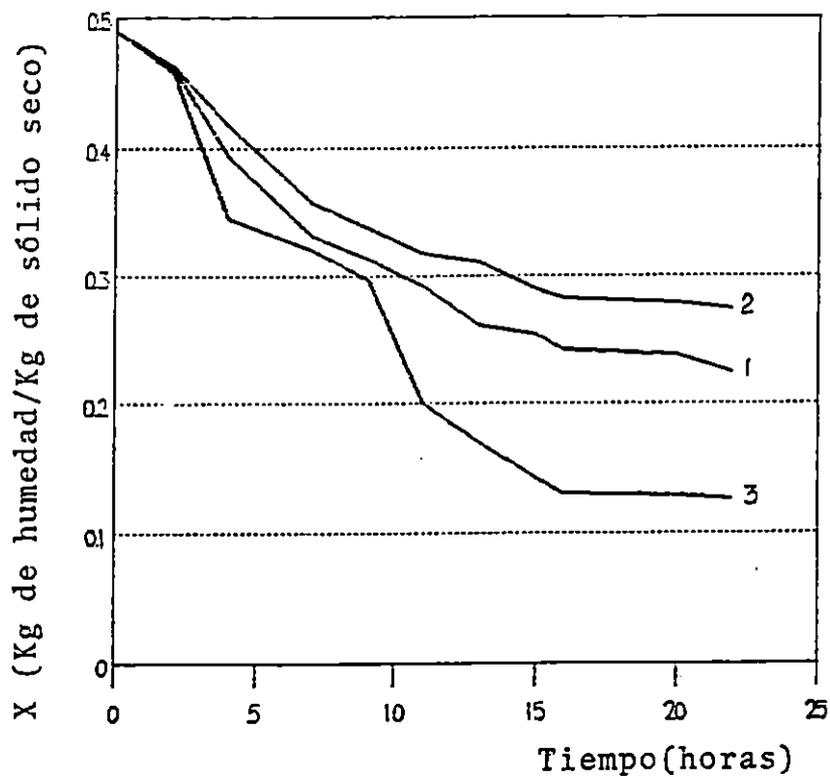
Graf. 11 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de caja caliente para la prueba con frijol.
Entrada: 1, Salida: 2.



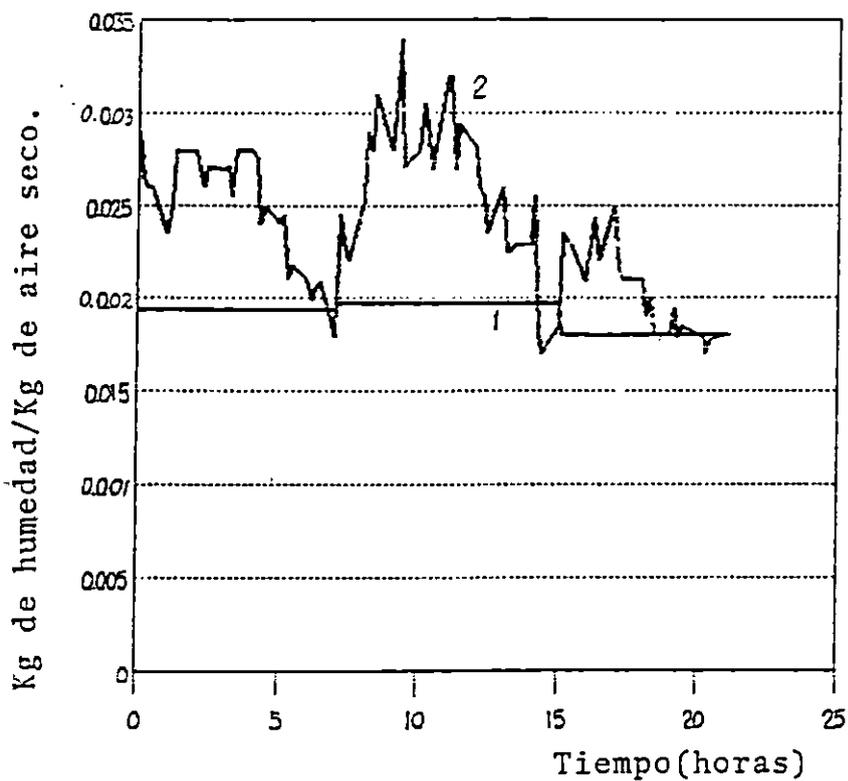
Graf. IV.12 Curva de secado por lotes para frijol en un deshidratador de caja caliente.



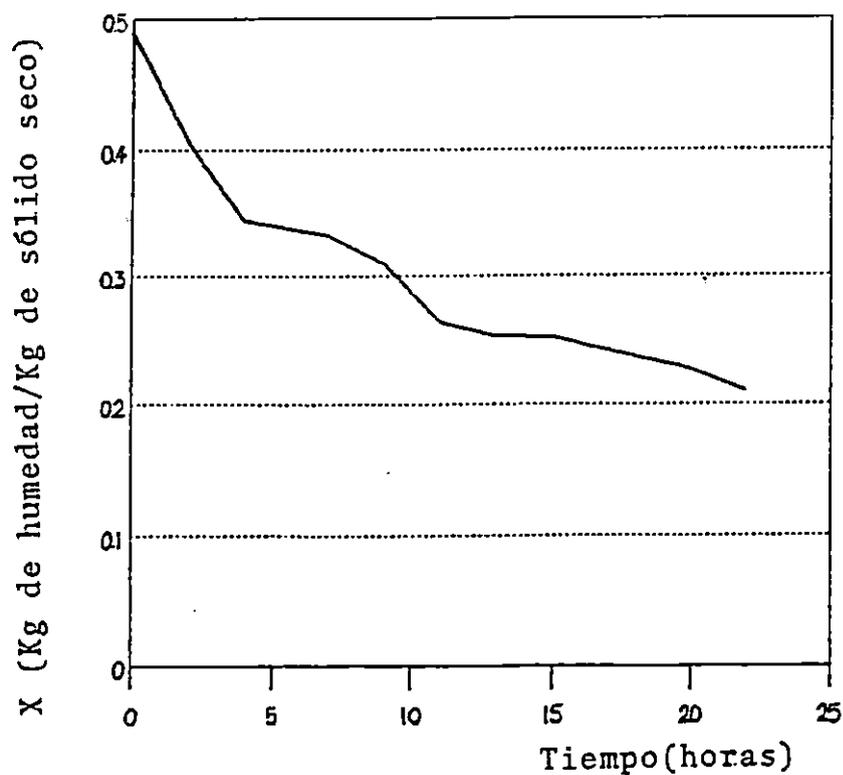
Graf. IV.13 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de gabinete para la prueba con arroz.
Entrada: 1, Salida: 2.



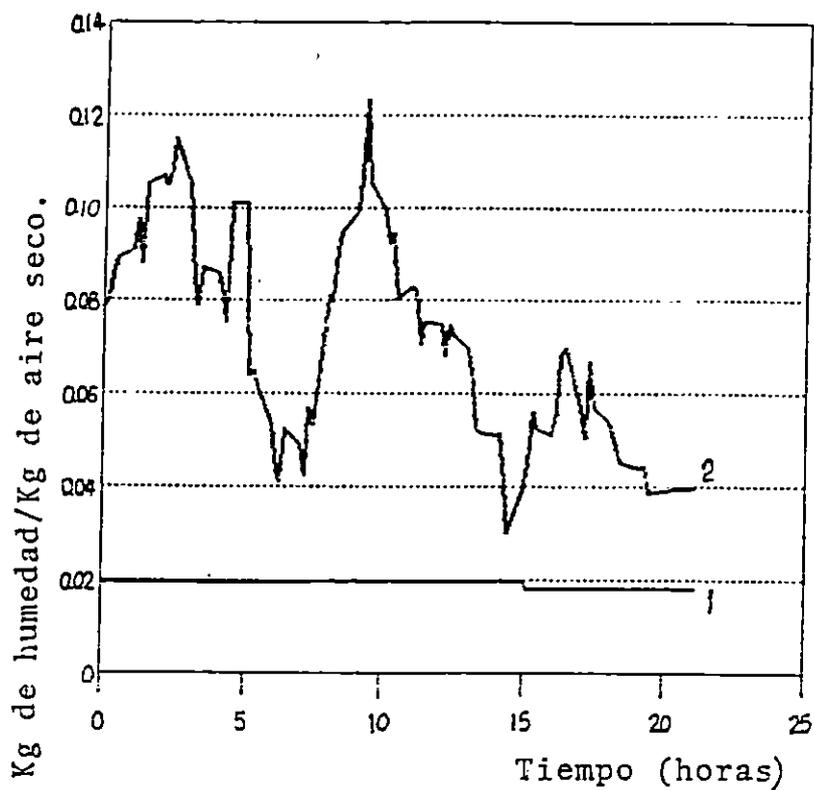
Graf. IV.4 Curva de secado por lotes para arroz en un deshidratador de gabinete.
1er. Gaveta: 1, 2da. Gaveta: 2, 3a. Gaveta: 3



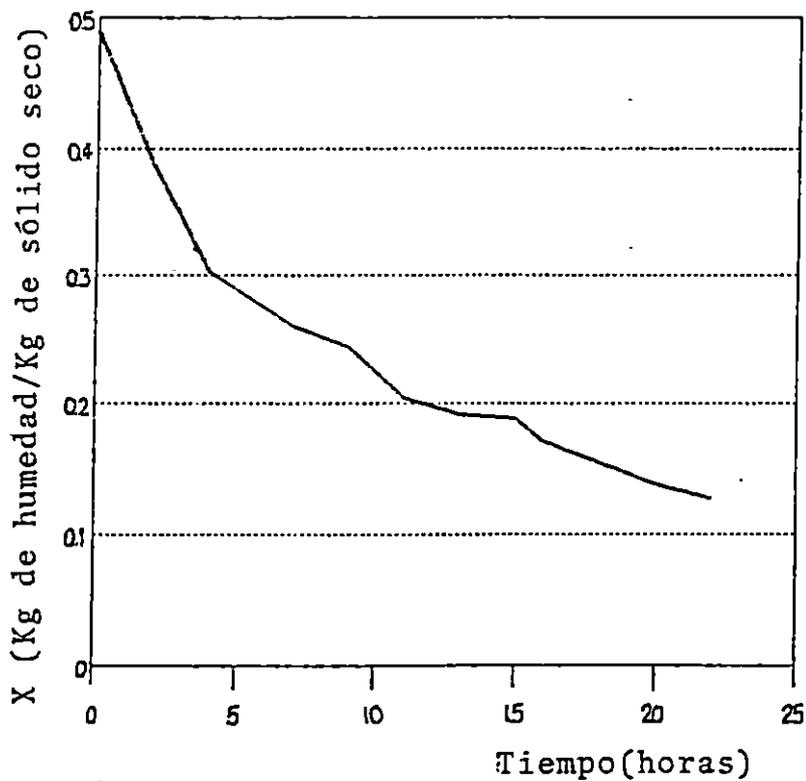
Graf. IV.15 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador tipo artesanal para la prueba con arroz.
Entrada: 1, Salida: 2.



Graf. IV.16 Curva de secado por lotes para arroz en un deshidratador tipo artesanal.



Graf. IV.17 Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de caja caliente para la prueba con arroz.
Entrada: 1, Salida: 2.



Graf. IV.18 Curva de secado por lotes para arroz en un deshidratador de caja caliente.

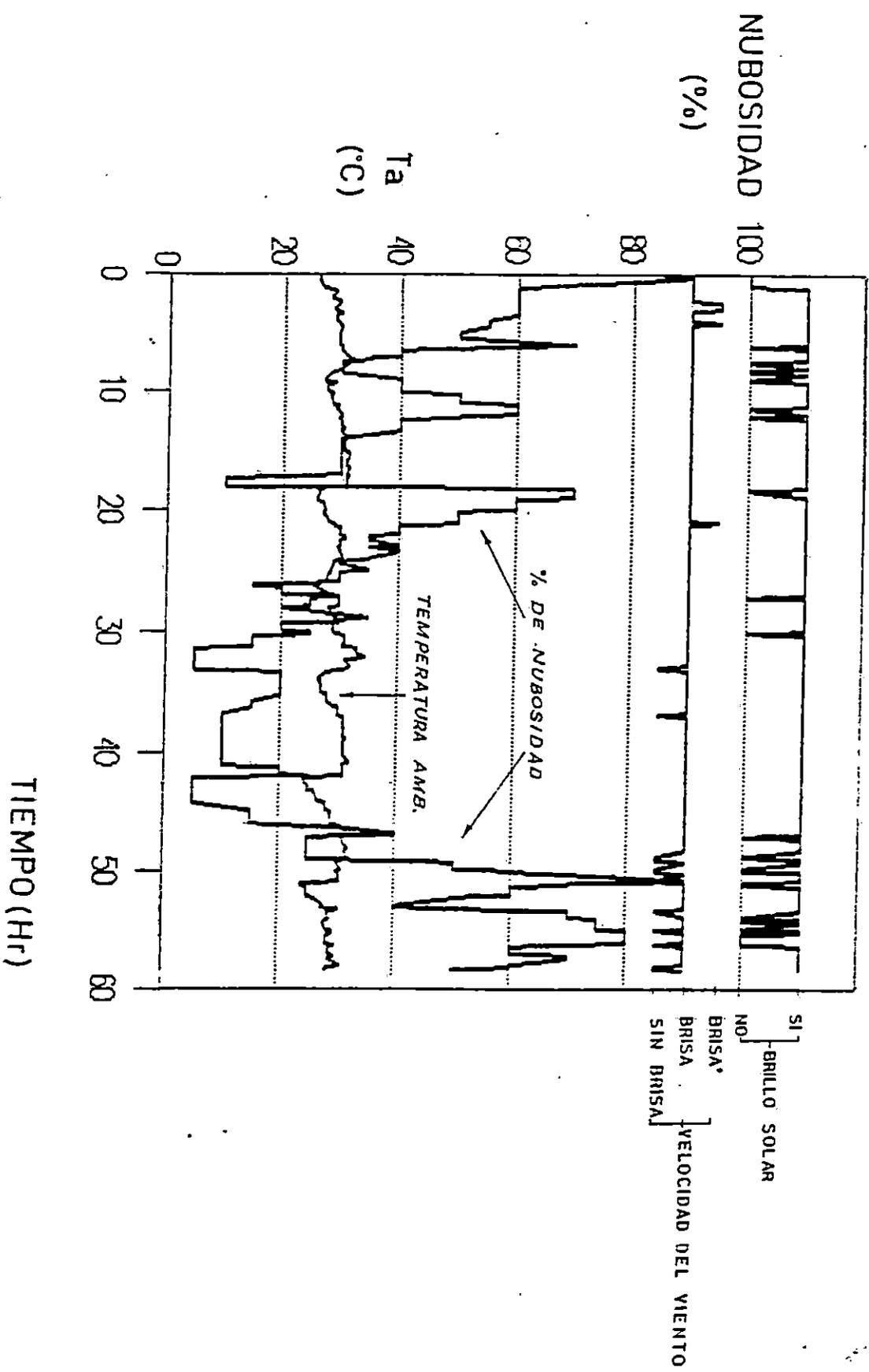
IV.5.2 ANALISIS DE LAS GRAFICAS DE LOS DATOS CLIMATOLOGICOS.

En las gráficas IV.19, IV.20 y IV.21 se presentan el tiempo de insolación que duran las pruebas para cada producto en particular.

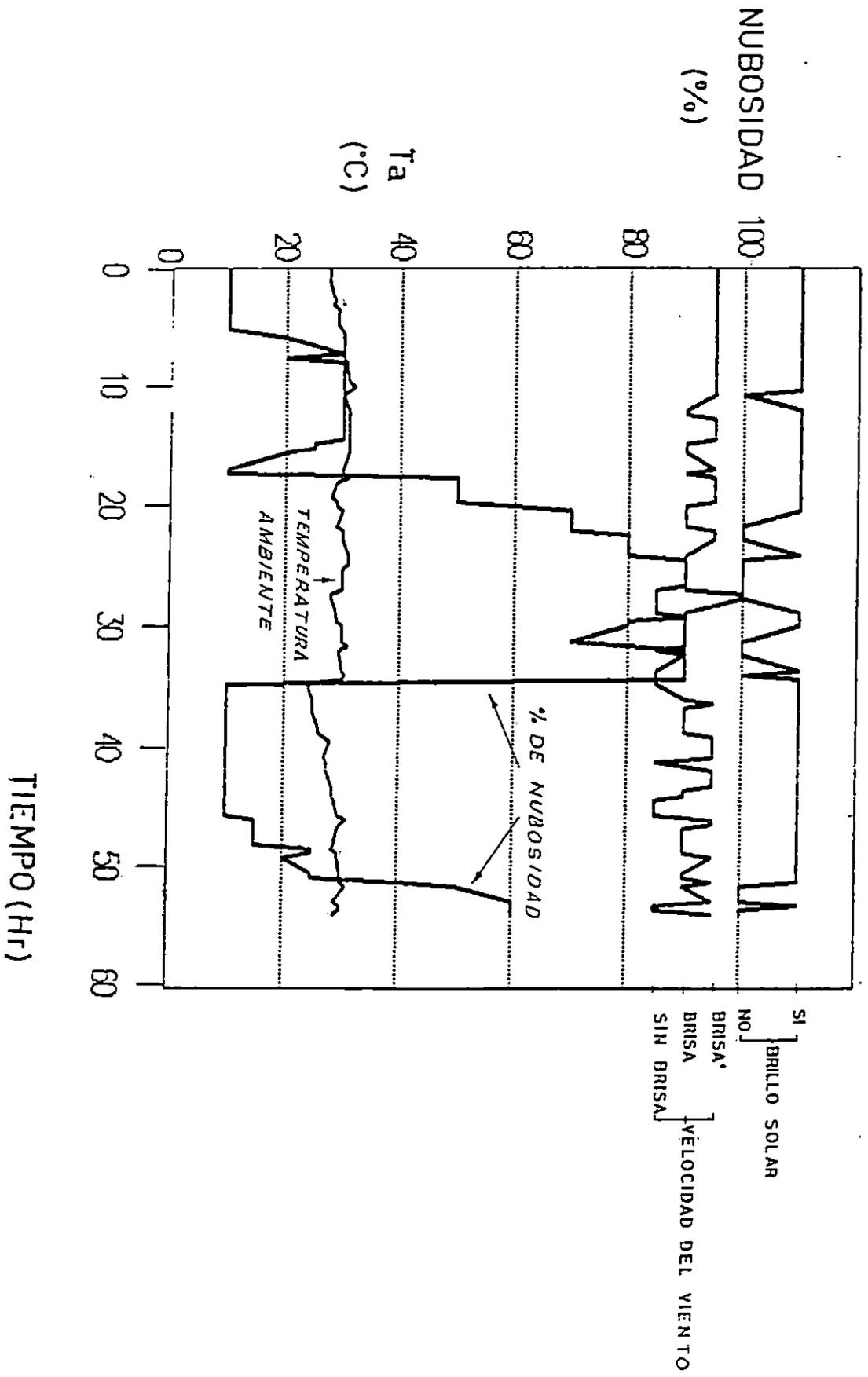
Como se observa en las gráficas no se hace referencia a ningún tipo de deshidratador, debido a que todos trabajan a iguales condiciones climatológicas secando a la vez un mismo producto.

A manera de ejemplo, se analiza la gráfica correspondiente al arroz, cuando el producto tiene 30 horas efectivas de insolación, no había brillo solar, sin brisa y el cielo tiene un 60% de nubosidad, por lo que la temperatura ambiente T_a experimenta un decremento aproximadamente hasta 29°C .

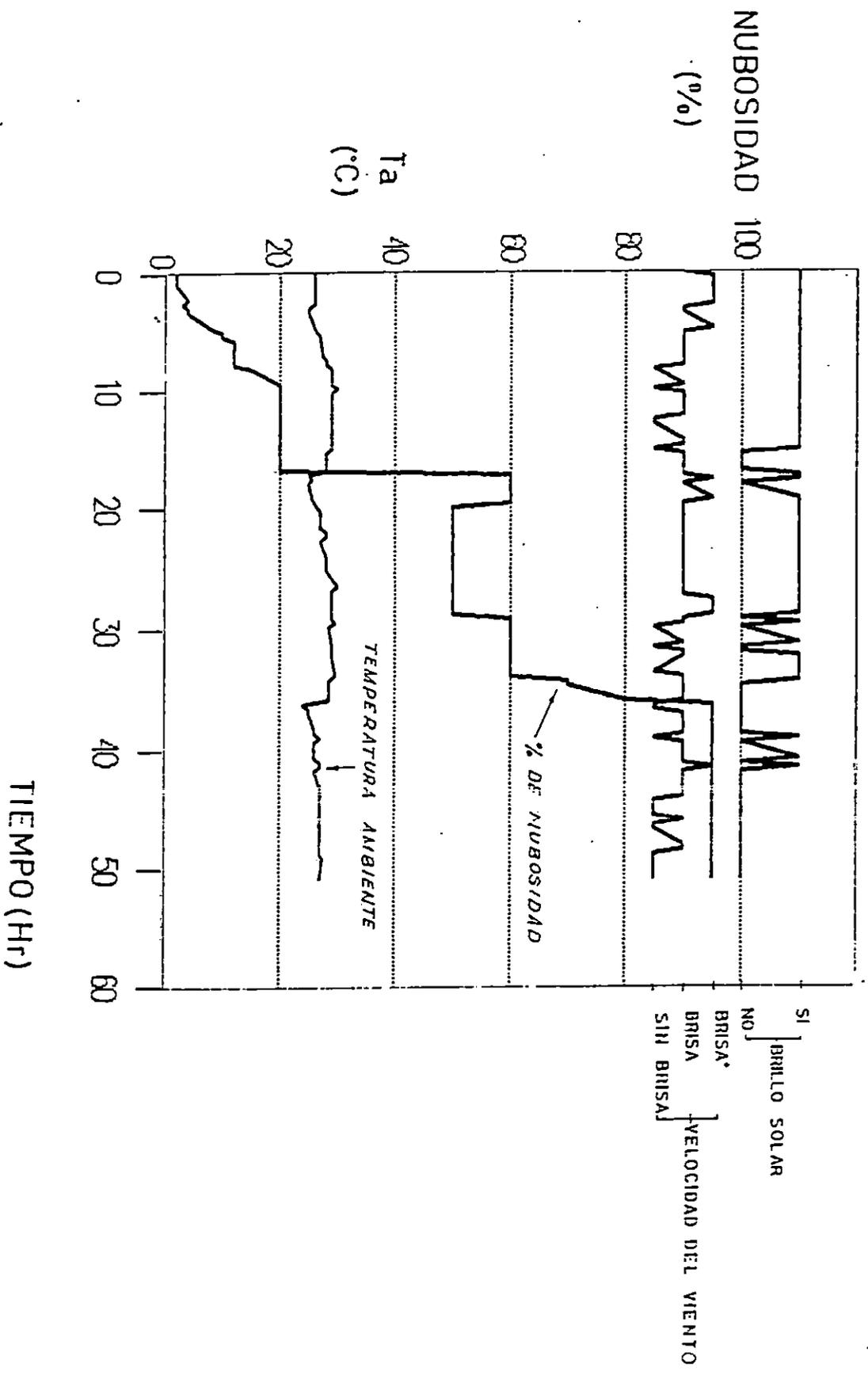
El brillo solar, velocidad del viento y el porcentaje de nubosidad afectan particularmente la temperatura T_a .



Graf. IV.19 Datos climatológicos en el periodo de pruebas con el maíz.



Graf. IV.20 Datos climatológicos en el periodo de pruebas con el frijol.



Graf. IV.21 Datos climatológicos en el periodo de pruebas con el arroz.

IV.6 ANALISIS DE LOS GRANOS DESHIDRATADOS EN LA ETAPA EXPERIMENTAL.

La temperatura del aire tiene un efecto significativo en la calidad de los granos. Las temperaturas máximas permisibles dependen del uso a que el grano va a ser sometido, del contenido de humedad en los granos, del tipo de granos, ya sea destinados a semillas, consumo humano y animal. (5)

Tener temperaturas altas en los granos mata el germen, así que éste no puede ser secado a condiciones altas de temperatura (1). Por ejemplo, la excesiva temperatura en el grano de maíz incrementa su rompimiento (producido por la concentración de los esfuerzos internos), su decoloración y decrece la separación de almidón, recuperación del aceite y calidad en las proteínas. (5)

Tomando como base lo anterior, se muestra un cuadro comparativo en la tabla IV.7, en el cual se exponen las temperaturas máximas promedio del aire de acuerdo a la vocación de uso que se desee (5), y las temperaturas promedio del aire alcanzada en cada uno de los deshidratadores solares.

TABLA IV.7 TABLA COMPARATIVA DE TEMPERATURAS DE AIRE PARA SECADO DE GRANOS.

CLASIFICACION DEL GRANO	TEMPERATURA MAXIMA °C	DESHIDRATADOR	TEMPERATURA PROMEDIO	
			ENTRADA °C	SALIDA °C
SEMILLA CERTIFICADA	40	ARTESANAL	32.50	45.20
CONSUMO HUMANO	44	CAJA CALIENTE	58.60	51.90
CONSUMO ANIMAL	60	GABINETE	58.80	53.40

De la tabla IV.7 se puede concluir lo siguiente: tanto el deshidratador de caja caliente como el de gabinete, poseen altas temperaturas del aire para secado, en el primero, debido a que se encuentra térmicamente mejor aislado y su diseño estructural aumentó el efecto de invernadero. En el deshidratador de gabinete las altas temperaturas se generan debido a la presencia de un precalentador de aire. Esto da como resultado una velocidad de secado mayor con respecto al deshidratador artesanal.

Los resultados muestran que el deshidratador de caja caliente y de gabinete están destinados para secado de granos para consumo animal.

En lo que respecta al deshidratador artesanal, no se aprovecha la alta temperatura del aire porque el fluido de trabajo alcanza su mayor temperatura a la salida del deshidratador y no en el depósito del producto, dando como resultado una menor velocidad de secado y bajas temperaturas en el producto. Debido a esto su uso se destina al secado de granos para consumo humano y semilla certificada.

El uso de los deshidratadores de caja caliente y de gabinete no es limitado debido a que se pueden adaptar para secar granos para consumo humano y semilla certificada, aumentando para ello las áreas de salida del aire.

Una de las ventajas que posee el secado no tradicional utilizando deshidratadores solares, es que disminuye el tiempo de secado de los granos como se observa en la tabla IV.8.

TABLA IV.8 TIEMPO DE SECADO PARA GRANOS.

GRANO	SECADO TRADICIONAL (DIAS)	SECADO NO TRADICIONAL (DIAS)		
		DESHIDRATADOR ARTESANAL	DESHIDRATADOR DE CAJA CALIENTE	DESHIDRATADOR DE GABINETE
MAIZ	20 10-13% HUMEDAD	11.00 13% HUMEDAD	7.50 13% HUMEDAD	9.13 13% HUMEDAD
FRIJOL	8 10-12% HUMEDAD	4.00 10-20% HUMEDAD	3.25 10-20% HUMEDAD	3.60 10-20% HUMEDAD
ARROZ	8 10-12% HUMEDAD	3.40 11.50% HUMEDAD	2.74 11.50% HUMEDAD	3.10 11.50% HUMEDAD

Ref. (5)

El tiempo de secado en la tabla IV.8 está basado en ocho horas diarias efectivas de insolación. Como se puede observar, en esta misma tabla, el tiempo de secado que se tarda en cualquier deshidratador solar, siempre es menor que el secado tradicional.

El porcentaje promedio de disminución del tiempo de secado para el deshidratador solar artesanal es de un 50.8%, para el de caja caliente 62.5% y para el de gabinete es de 56.9%

La alta velocidad de secado que proporciona la forma no tradicional no afecta las propiedades fisicoquímicas de los granos, lo cual se demuestra comparando los análisis proximales de granos secos por medio del secado tradicional

y los análisis proximales hechos a los granos secos por la forma no tradicional, mostrados en las tablas IV.9 y IV.10 respectivamente.

TABLA IV.9 ANALISIS PROXIMAL DE GRANOS DEL SECADO TRADICIONAL (BASE SECA)

GRANO	PROTEINA	GRASA	CENIZA	CARBOHIDRATOS	FIBRA CRUDA
ARROZ	9.03	1.30	0.92	97.90	1.41
MAIZ	10.73	4.04	1.18	82.15	1.90
FRIJOL	31.36	1.12	5.26	70.52	5.80

Ref. (19), (20), (21).

TABLA IV.10 ANALISIS PROXIMAL DE GRANOS DEL SECADO SOLAR (BASE SECA) DE LA FASE EXPERIMENTAL.

GRANO	DESHIDRATADOR	PROTEINA	GRASA	CENIZA	CARBOHIDRATOS	FIBRA CRUDA
ARROZ	ARTESANAL	9.00	1.25	0.90	90.00	1.30
	GABINETE	8.12	1.30	0.95	93.00	1.45
	CAJA CALIENTE	7.93	1.23	0.83	98.00	1.18
MAIZ	ARTESANAL	10.78	3.98	1.15	75.34	1.90
	GABINETE	10.24	4.10	1.03	80.10	1.78
	CAJA CALIENTE	8.91	3.95	0.99	83.90	1.45
FRIJOL	ARTESANAL	31.26	1.10	5.23	70.48	4.90
	GABINETE	27.48	1.09	5.10	72.33	5.24
	CAJA CALIENTE	24.95	1.18	-5.14	75.39	5.03

De la tabla IV.10 se observa una disminución del contenido proteínico de los granos, ésto es debido a las diferentes temperaturas con que trabaja cada deshidratador (ver tabla IV.7), por lo que, entre mayor es la temperatura de trabajo, menor es el contenido proteínico, contrario a lo que sucede en los carbohidratos, la grasa, ceniza y

fibra no se ven afectados por la temperatura.

IV.7 COMPARACION DE LOS RESULTADOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES DEL DESHIDRATADOR SOLAR DE GABINETE.

Como parte fundamental de este estudio se hace necesario realizar la comparación entre los resultados teóricos del funcionamiento del deshidratador solar de gabinete con sus resultados experimentales.

Los datos seleccionados utilizados para desarrollar el modelo matemático presentado en el Capítulo III, son los siguientes:

Prueba	:	Frijol
Año	:	1992
Mes	:	Septiembre
Día	:	06
Hora	:	12:00 M.
Temperatura ambiente	:	29°C
Humedad relativa promedio diaria del día	:	78%
Velocidad del viento	:	10 km/h
Latitud	:	13.45°
Altitud	:	660 m.

TABLA IV.11 RESULTADOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES.

RESULTADOS TEORICOS		RESULTADOS EXPERIMENTALES	
T1	= 331.00 °k	T1	= 335.00 °k
Tp1	= 315.07	Tp1	= 309.00 °k
Tp2	= 316.00 °k	Tp2	= 313.00 °k
Tp3	= 319.00 °k	Tp3	= 317.00 °k
T4	= 322.70 °k	T4	= 319.00 °k
W4	= 0.032 <u>Kg de humedad</u> Kg de aire seco	W4	= 0.035 <u>Kg de humedad</u> Kg de aire seco

En la tabla IV.11 se obtiene un error relativo máximo de 8.6% de la comparación entre los resultados teóricos y experimentales, dicho valor se encuentra por debajo del 10% el cual es el error máximo permisible para trabajos de investigación, por lo tanto se valida el uso del modelo matemático para la predicción del comportamiento de deshidratadores solares.

CAPITULO V
SELECCION Y MEJORAS TECNICAS PARA EL DESHIDRATADOR
SOLAR DE MEJOR APROVECHAMIENTO ENERGETICO Y
TECNOLOGICO.

V.1 SELECCION DEL DESHIDRATADOR SOLAR.

Con el propósito de mejorar la eficiencia y versatilidad de usos de un deshidratador solar, se realiza un estudio en base a criterios para seleccionar un deshidratador solar al cual se le harán las mejoras correspondientes; este escogitamiento se llevará a cabo en base a los siguientes criterios de selección:

- a) El uso de este tipo de sistema debe orientarse para ser utilizado por el sector agrícola, debido a la falta de mecanismos útiles al alcance del pequeño agricultor.
- b) El funcionamiento del deshidratador debe ser tal que, pueda ser utilizado para el secado de granos de consumo para alimento humano, animal y semilla certificada.
- c) Que la tecnología para su construcción sea sencilla.

- d) Mejorar el aprovechamiento de la energía solar para el proceso del secado.

- e) Costo económico de acuerdo a su vida útil. Se pretende obtener un deshidratador solar que no incremente sustancialmente los costos de producción de secado de granos con su costo de producción anual.

La selección se hará combinando los criterios y los resultados de la etapa experimental.

En base a los resultados de la etapa experimental, el de mejor funcionamiento es el deshidratador de caja caliente, pero su diseño presenta limitaciones para convertirlo en un secador versátil; por otro lado, el deshidratador artesanal presenta los más bajos resultados de la etapa experimental y su diseño actual requiere un cambio estructural total para mejorar su funcionamiento.

El funcionamiento del deshidratador de gabinete en la etapa experimental es muy bueno pero se hace necesario realizar ciertas mejoras para convertirlo en un deshidratador versátil.

En base a lo anterior se selecciona el deshidratador

de gabinete debido a que:

- La tecnología necesaria para su construcción es accesible.
- Presenta una mejor tecnología para el aprovechamiento de la energía solar.
- El gabinete de secado y el colector solar son desmontables, por lo que se pueden realizar mejoras separadamente en cada parte.
- Presenta una mayor vida útil aunque su costo de inversión inicial es mayor.

V.2 ADECUACION DEL MODELO SELECCIONADO.

Al deshidratador solar de gabinete se le deben hacer ciertas modificaciones que conlleven a mejorar el proceso de secado.

Para una presentación ordenada de las modificaciones a realizar, se llevarán a cabo en cada elemento en particular.

V.2.1 COLECTOR SOLAR.

Las modificaciones que se proponen hacer al colector

solar son las siguientes:

- 1) Para una mayor fluidez de aire a la entrada del colector, teniendo en cuenta los terrenos no muy planos y para evitar la salpicadura de agua lluvia, se recomienda aumentar la altura a los apoyos aproximadamente 20 cm, para que quede a una altura adecuada del piso. Los apoyos delanteros no deben ser desmontables, con ésto se evita el problema de estar armando esta parte. Es importante recordar que el ángulo de inclinación del colector se debe respetar.

Para esta modificación se necesita:

- 1/2 tubo cuadrado industrial de 1/2".
- 1/4 libra de electrodo 6013 de 3/32".
- 4 tornillos golosos de 3/16" x 3/4".

Los tornillos golosos son para sujetar los apoyos delanteros al colector. Los detalles de esta modificación se muestran en la Fig. V.1.

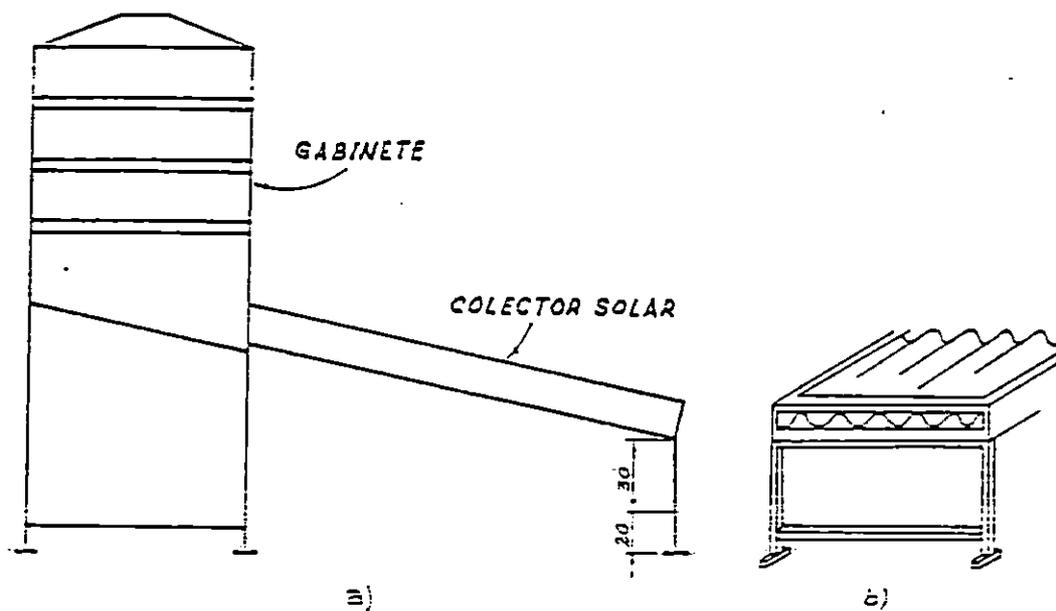


Fig. V.1 Modificación de los apoyos del deshidratador de gabinete. a) Detalle de los apoyos del deshidratador y colector. b) Detalle de los apoyos delanteros del colector. (Cotas en cm).

- 2) El período de pruebas se realiza durante la época lluviosa, observando que el deshidratador presenta la filtración de agua lluvia por la entrada de aire al colector; para evitar dicho problema, se recomienda colocar una pestaña de lámina galvanizada en dicho lugar, la cual presenta la forma de un triángulo; no interrumpiendo la entrada de aire y evitando eficazmente la penetración de agua, pero además, se recomienda colocar un cedazo metálico a la entrada para evitar el ingreso de insectos al interior del colector, el diseño de la pestaña se muestra en la Fig. V.2.

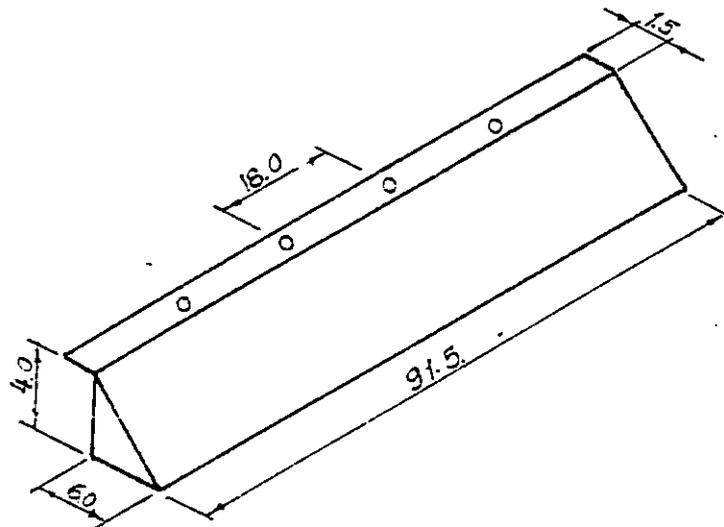


Fig. V.2 PESTAÑA PARA ENTRADA DEL COLECTOR. (Cotas en cm)

NOTA: Al colocar la pestaña se puede sujetar el cedazo metálico con los mismos tornillos en la parte superior.

Para proteger la entrada se necesita:

- 1/2 yarda de cedazo metálico.
- 6 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".

Para la construcción de la pestaña se necesitan de los siguientes materiales:

- 1/8 de lámina galvanizada lisa calibre 32.
- 4 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".

3) Para mejorar el hermetismo del colector con el vidrio,

este se debe hacer por medio de un empaque de asbesto laminado y sellado con silicón azul para altas temperaturas, debido a las pequeñas filtraciones de agua durante las lluvias y evitar el escape de aire caliente, esta modificación se muestra en la Fig. V.3.

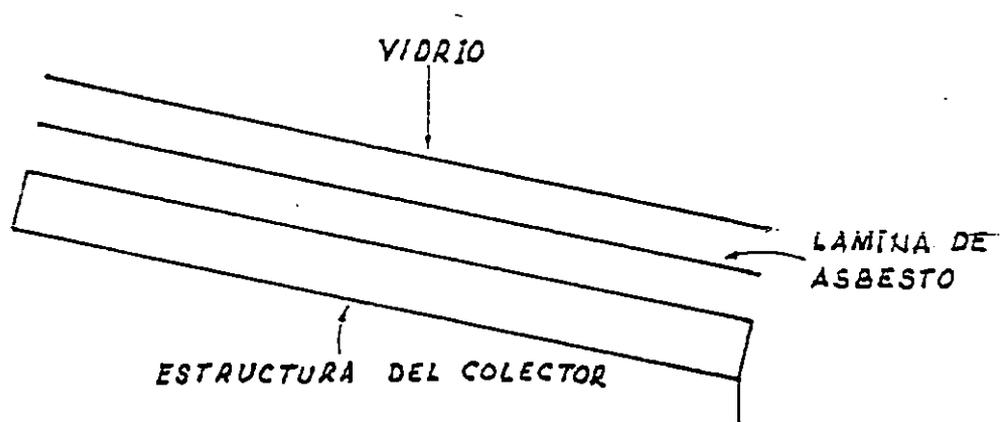


Fig. V.3 Colocación del empaque entre el vidrio y la estructura del colector.

Para llevar a cabo esta mejora se necesita de la siguiente cantidad de materiales:

- 1 pie de pliego de asbesto laminado de 1.5 mm.
- 1 tubo de pegamento silicón azul 3M hace-empaque.

Cortar el asbesto laminado en tiras de 2 cm de ancho para formar un rectángulo de 2.38 x 0.915 m y aplicar el pegamento (hace-empaque) entre el empaque de asbesto, la estructura y el vidrio.

V.2.2 GABINETE DEL DESHIDRATADOR.

La cámara de pleno y la cámara de secado son las principales partes del gabinete y para efecto de modificación se considera cada una independientemente.

V.2.2.1. CAMARA DE PLENO.

Esta cámara se encuentra en la parte inferior del gabinete y debe estar térmicamente aislada, además es la parte donde se necesita que aumente el volumen de aire, la velocidad de éste y también que contenga la menor cantidad de humedad posible, por estas razones se deben hacer las siguientes mejoras:

- 1) Se recomienda construir una pared térmica a fin de mantener la temperatura del aire en esta cámara. La pared se construye por medio de dos cubiertas, una exterior y la otra interior, y entre el espacio que queda entre éstas colocar aislante, ya sea fibra de vidrio, viruta de madera u otro aislante como se muestra en la Fig. V.4. En este caso se recomienda utilizar viruta de manera ya que no tiene ningún costo adquisitivo.

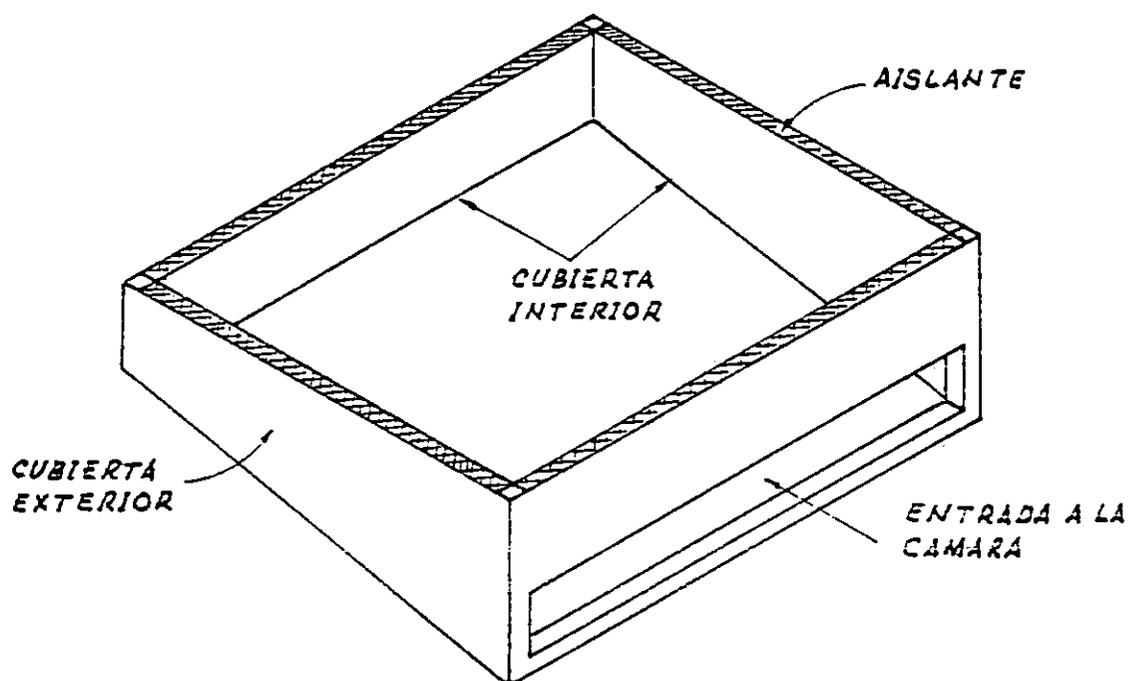


Fig. V.4 Aislamiento térmico de la cámara de precalentamiento.

Los materiales a utilizar son los siguientes:

- 3/4 pliego de lámina galvanizada lisa calibre 32.
- 50 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".
- Viruta o aserrín de madera.

Los tornillos golosos sirven para sujetar la lámina galvanizada a la estructura metálica.

- 2) Para evitar la entrada de agua lluvia al gabinete y al colector se sugiere construir una pestaña como se

muestra en la Fig. V.5.

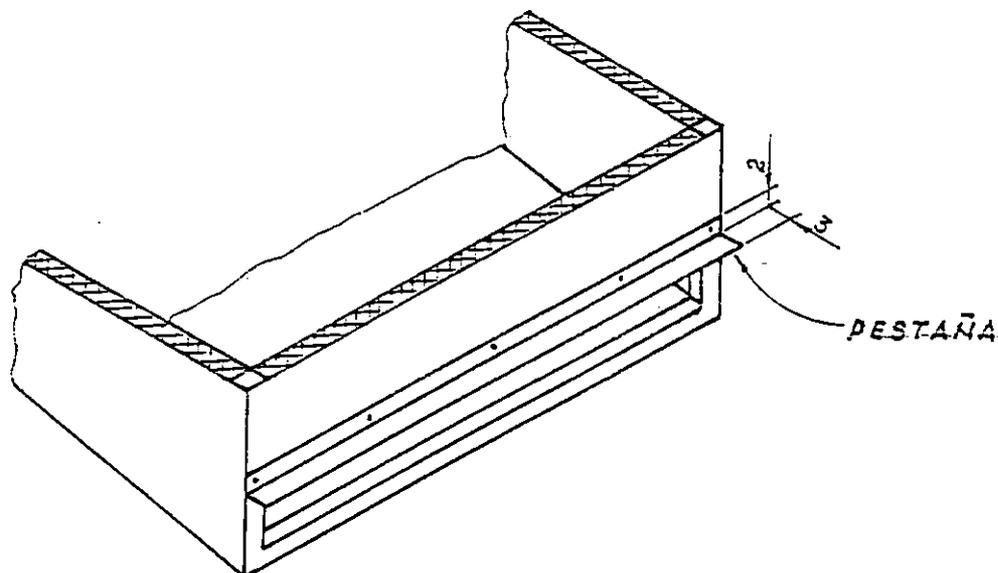


Fig. V.5 Pestaña de escurrimiento de agua. (Cotas en cm).

Para dicha modificación se necesita de los siguientes materiales:

- 1/8 de lámina galvanizada lisa calibre 32.
- 4 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".

3) Con el objeto de obtener mezclas de aire fresco caliente y aumentar el flujo de aire se diseña una toma de aire para colocarla en la parte inferior de la cámara de pleno. Como se nota en la Fig. V.6, esta

toma de aire tiene una sección convergente para generar un efecto de vacío que acelere el flujo de aire hacia la cámara de secado. La entrada del aire es regulable como se muestra en la Fig. V.6.

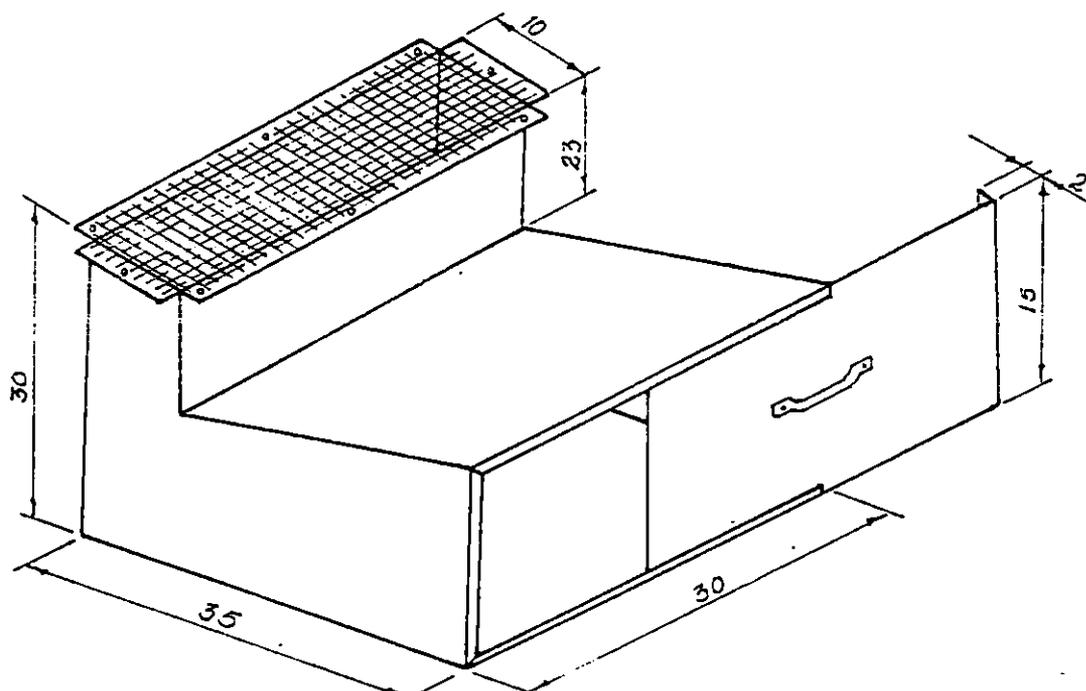


Fig. V.6 Toma de aire fresco para la cámara de precalentamiento. (Cotas en cm).

Para la construcción de esta modificación se necesita:

- 1/2 pliego de lámina galvanizada lisa.
- 1/4 yarda cedazo metálico.
- 1/2 libra estaño para soldar.
- 2 onzas de brea para soldar.
- 1/2 botella de ácido muriático.
- 8 tornillos golosos 1/8" x 1/2".

No se debe olvidar colocar el cedazo metálico en el lugar que se muestra en la Fig. V.6. En la figura V.7 se muestra la ubicación de la toma de aire en el gabinete.

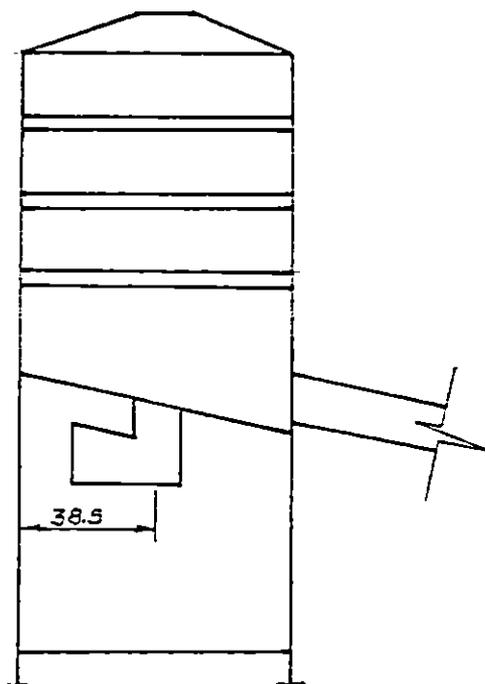


Fig. V.7 Ubicación de la toma de aire. (Cotas en cm).

- 4) Con el propósito de obtener aire más fresco más seco a la salida de la cámara de pleno se diseña una gaveta con sílica gel con indicador de humedad para colocarla a la salida de esta misma cámara, según se muestra en la Fig. V.8. Con esto se espera acelerar el proceso de secado. El dimensionamiento de la gaveta se muestra en la Fig. V.9.

Para procesos de secado de gases, la sílica gel presenta un rango de temperaturas óptimas de trabajo entre 30 y 50°C, y cuando se encuentra saturada cambia su color de azul a rojizo, removiendo la humedad de ella a 160°C durante una hora. (22)

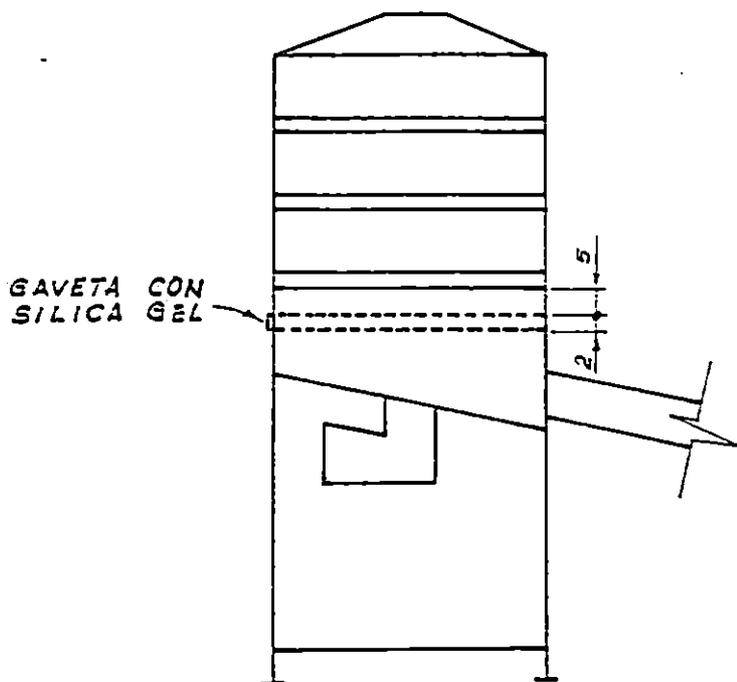


Fig. V.8 Ubicación de la gaveta con sílica gel.

(Cotas en cm).

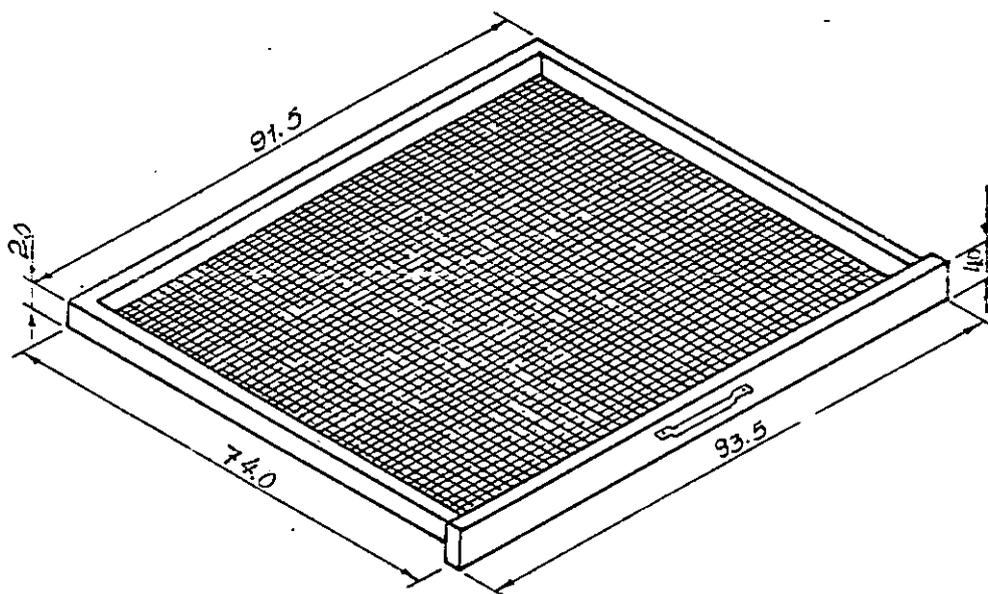


Fig. V.9 Dimensionamiento de la gaveta para sílica gel.
(Cotas en cms).

Para la construcción de la gaveta se necesitan los siguientes materiales:

- 6 libras de sílica gel.
- 3 varas de costanera
- 1 yarda de cedazo metálico.
- 1/10 pliego de lámina lisa galvanizada calibre 32.
- 1 haladera.
- 1/2 libra de clavos 1/2".
- 1/6 de galón de cola de zapato.
- 1 empaque de hule (hule de neumático).
- 16 tornillos golosos 1/8" x 1/2".

La parte frontal de la gaveta debe ser forrada con lámina galvanizada y además en esta parte colocar el empaque de hule para evitar la fuga de aire caliente; al final se coloca la sílica gel en la gaveta para que cumpla la función para la cual es diseñada esta parte.

V.2.2.2 CAMARA DE SECADO.

En la etapa experimental se observaron ciertas deficiencias en esta cámara y con el propósito de mejorar su funcionamiento se propone lo siguiente:

- 1) El plástico común o poliethileno de baja densidad usado para la cubierta de la cámara de secado no es el adecuado, ya que por el aumento de la temperatura se

deforma creando un efecto de sombra. Para resolver este problema se sugiere usar una mejor calidad de cubierta transparente. A continuación se presentan un listado de materiales transparentes con sus características principales, algunas propiedades físicas y la denominación con que se encuentra en el mercado.

- Vidrio: Está entre los mejores transmisores de luz, tiene una alta resistencia térmica comparada con la de los plásticos, es un buen aislante y no cambia su textura al encontrarse en la intemperie, además de fácil de trabajar, altamente frágil y de mayor peso que los plásticos. Se encuentra en el mercado en diferentes espesores y se vende por m^2 en cualquier vidriería del país.

- Fenol-Formaldehido: Comercialmente se conoce como baquelita, es de gran resistencia a los impactos y a las rayaduras, tiene muy baja absorción de agua, es un plástico quebradizo y por lo tanto difícil de trabajar, se encuentra en espesores de 1/8" y 1/4" en láminas de 2.10 x 1.5 m, pero no se encuentra a la venta en el mercado nacional en la forma requerida.

- Urea-formaldehido: Muy parecido al anterior y comercialmente se conoce como plástico acrílico, presenta gran resistencia, es muy transparente, así como buena transmisión a la luz difusa, tiene poco peso comparado con el vidrio, buena resistencia al choque, es químicamente inerte y tiene favorable termoresistencia, muy frágil de trabajar. Se encuentra en el mercado en espesores de 1/8" y 1/4" en láminas de 4x6 m de venta en centros comerciales del país. (23)

- Polipropileno: Comercialmente conocido como Holstalen pp, Novelen y vestolen pp (24), material que sigue en rigidez y composición química al anterior, es mucho más liviano que el plástico común, pero más rígido y termoresistente que éste y se utiliza mucho para la construcción de material escolar y pequeños estuches transparentes; se puede trabajar muy bien ya que responde a dobleces y se talla bien por su propiedad de resistencia a la tensión. (23)

En el mercado se encuentra en espesores desde 1 mm hasta 2 mm, en lienzos de 210 x 1.5 m².

- Poliestireno: Comercialmente conocido como Polystyrol,

Hostyren, vestirón, styroflex (24). Este tipo de plástico es duro, presenta buen aislamiento, pero no transmite bien la luz, es termoresistente y de gran resistencia al choque.

En el país se encuentra a la venta en lienzos de color blanco en espesores de 1/8". (23)

Por sus características no es una buena opción.

- Poliethileno de alta densidad: es un plástico que se utiliza para hacer bolsas de plástico, se comporta como papel, pero más resistente; no es difícil de trabajar y no se encuentra a la venta en el mercado nacional en la forma requerida. (23)

Los plásticos presentados, excepto el Fenol-formaldehido y el Urea-formaldehido, presenta muy poca resistencia a la pérdida de su transparencia, pero siempre el vidrio tiene una duración ilimitada a la pérdida de ésta, por lo tanto se elige éste como una alternativa para la cubierta transparente.

- 2) Debido al problema de accesibilidad el interior de la cámara de secado, se debe construir otro tipo de puerta que no se presente ningún obstáculo de movimiento durante su función, por tal razón se diseña

para que se abra hacia abajo, el tipo de puerta se muestra en la Fig. V.10.

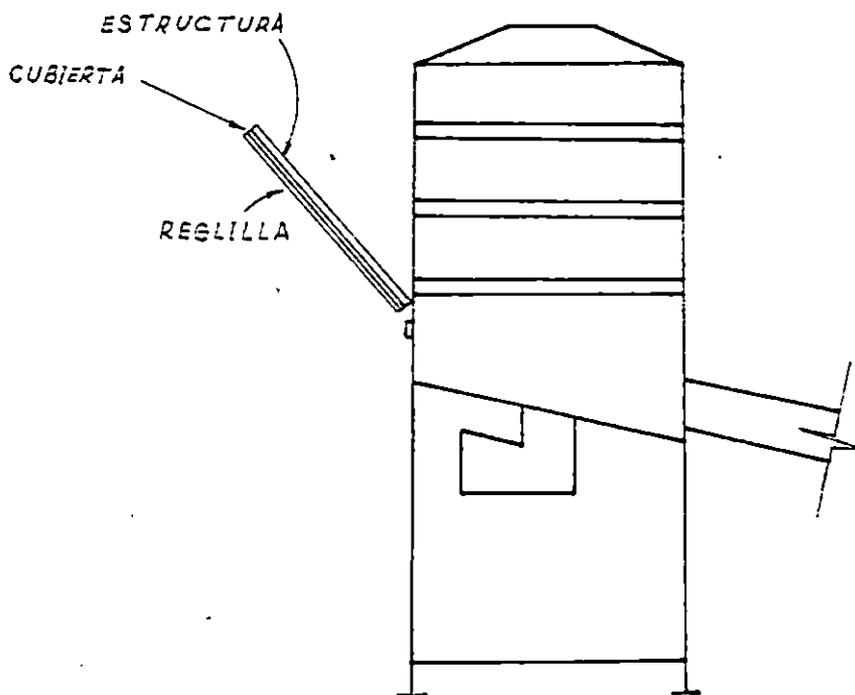


Fig. V.10 Puerta de la Cámara de Secado.

Los materiales para la construcción de la puerta son los siguientes:

- 1 Tubo cuadrado industrial de 1/2".
- 3 varas de regla riostra.
- 2 bisagras de 1 1/2".
- 1 haladera.

- 1/4 libra de electrodo E6013 de 3/32".
- 16 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".
- 1/6 galón de pega de contacto.
- 2 seguros para puerta.
- 1 empaque de hule (hule de neumático).
- 1/4 galón de pintura negra mate anticorrosiva.

El material transparente debe ser colocado mediante la regla riostra asegurado con los tornillos golosos a la estructura de la puerta. El empaque de hule se coloca con fines herméticos.

- 3) Las gavetas no son lo suficientemente rígidas y el material con que están construidas (madera) no es el más apropiado, debido a las temperaturas que se manejan en el interior de la cámara de secado. Se propone un diseño para la construcción de estas gavetas, con mejores materiales que las hacen más resistentes y de mejor aprovechamiento energético según se muestra en la Fig. V.11.

El objetivo del nuevo diseño de esta gaveta es proporcionar una mayor incidencia solar sobre el producto y una mayor remoción de humedad. Además se han colocado los trozos de ángulos para un mejor

deslizamiento de las gavetas, con ésto se resuelve el problema de movimiento que se tiene con las gavetas actuales.

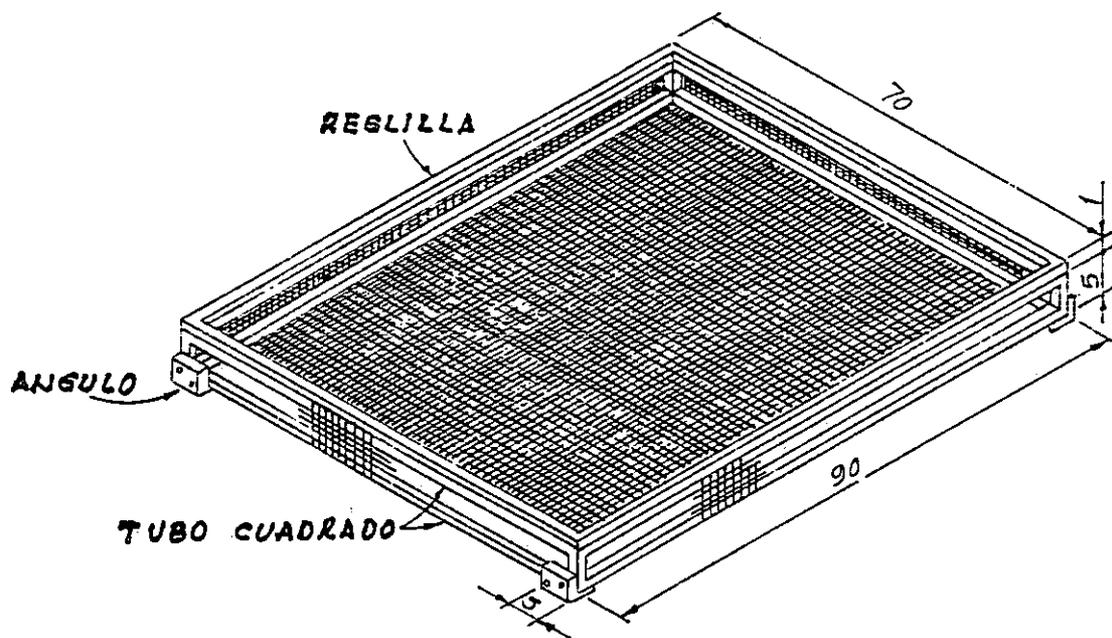


Fig. V.11 Diseño de gaveta para deshidratar granos.
(Cotas en cm).

Los materiales que se utilizan para este diseño son:

- 3 tubos cuadrados industriales de 1/2"
- 6 yardas de cedazo metálico.
- 9 varas de regla riostra.
- 60 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".
- 1/2 libra de electrodo E6013 de 3/32".
- 1/4 galón de pintura negra mate anticorrosiva.

- 1/4 ángulo de 1/2".

- 4) Para evitar el ingreso de insectos a la cámara de secado por la parte superior, donde se encuentra la regulación de aire de salida, se sugiere colocar cedazo metálico.

Los materiales que se ocupan para esta modificación son:

- 1/2 yarda de cedazo metálico.
 - 8 tornillos golosos de 1/8" x 1/2".
-
- 5) Se recomienda recubrir con una capa de pintura blanca los apoyos del deshidratador de gabinete, para evitar el ascenso de insectos rastreros.

El costo de las mejoras asciende a ₡ 2,210.50 colones (US \$ 251.20) y el costo total del deshidratador de gabinete mejorado es de ₡ 3,860.50 (US \$ 438.70).

Para efectos de evaluación económica se compara el valor económico del deshidratador de gabinete mejorado y su respectiva vida útil contra los deshidratadores restantes.

Los costos de los materiales que se proponen para las mejoras del deshidratador solar del gabinete se muestran en la tabla V.1. Los precios fueron cotizados en Enero de 1993.

TABLA V.1 COSTOS DE MATERIALES PARA LA MODIFICACION.

CANTIDAD	MATERIAL	COSTO UNITARIO (COLONES)	COSTO TOTAL (COLONES)
5	TUBO INDUSTRIAL CUADRADO DE 1/2"	21.00	105.00
2	LAMINA GALVANIZADA LISA CALIBRE 32 (3 X 3M).	82.00	164.00
8	YARDAS DE CEDAZO METALICO (TELA MOSQUITO)	15.00	120.00
170	TORNILLOS GOLOSOS DE 1/8" X 1/2"	0.17	30.00
1	LIBRA DE ELECTRODOS 6013 DE 3/32".	17.00	17.00
6	VARAS DE COSTANERA	6.00	36.00
3	PIES DE ASBESTO LAMINADO DE 1.5 mm DE ESPESOR	34.00	102.00
1	TUBO DE SUPER-SILICON AZUL 3M (HACÉ-EMPAQUE)	46.00	46.00
1/2	BOTELLA DE ACIDO MURIATICO	10.00	5.00
1/2	LIBRA DE BREA PARA SOLDAR	7.00	3.50
1/2	LIBRA DE ESTAÑO	46.00	23.00
2	METROS DE ANGULO DE 1/2" X 1/2"	6.00	12.00
2	BISAGRAS DE 1 1/2"	3.00	6.00
2	SEGUROS PARA PUERTA	2.00	4.00
2	HALADERAS	6.00	12.00
1/4	GALON DE PINTURA BLANCA	92.00	23.00
1	BOTELLA DE THINNER	27.00	27.00
	VIRUTA DE MADERA		
	HULE DE NEUMATICO		
6	LIBRAS DE SILICA GEL CON INDICADOR DE HUMEDAD	160.00	980.00
3	M ² VIDRIO DE 4 mm DE ESPESOR	165.00	495.00
	TOTAL	¢	2,210.50

En la tabla V.2 se observa que el deshidratador solar

artesanal presenta mayor costo anual de inversión, por lo tanto no es una buena opción. Comparando los costos de inversión anuales de los deshidratadores solares restantes,

TABLA V.2 EVALUACION ECONOMICA DE LOS DESHIDRATADORES SOLARES.

DESHIDRATADOR	COSTO (COLONES)	VIDA UTIL (AÑOS)	COSTO POR AÑO (COLONES/AÑO)
ARTESANAL	390.00	1	390.00
CAJA CALIENTE	1,450.00	3	483.35
DE GABINETE COMPLETAMENTE MEJORADO	3,860.50	5	772.10

el de caja caliente presenta un costo menor aparentemente, debido a que dentro de tres años se debe realizar una reinversión aún cuando el deshidratador solar de gabinete todavía se encuentre funcionando, por lo que éste último representa la opción mas viable para el desarrollo de un sistema de secado solar económico eficiente, versátil y duradero. El manual de construcción del deshidratador solar de gabinete se presenta en el Anexo III.

V.2.3. GAVETA PARA DESHIDRATAR CARNE Y PESCADO
(ACCESORIO).

Para deshidratar estos productos, se proponen dos diferentes diseños de gavetas. Un diseño es el que se muestra en la Fig. V.12a. Esta gaveta es la que se utilizará en la parte inferior de la cámara de secado, con el propósito de evitar el escurrimiento de la mezcla agua-sal a la cámara de precalentamiento.

Las dos gavetas restantes, se construyeron como parrillas, construidas con varillas según se muestra en la Fig. V.12.b.

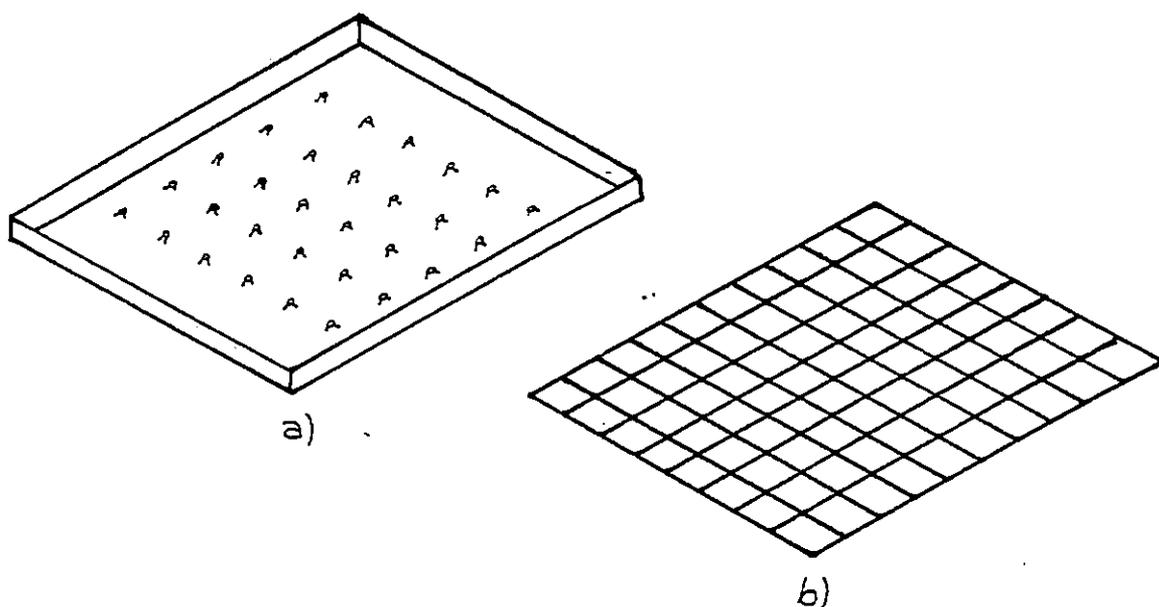


Fig. V.12 Diseño de las gavetas para deshidratar carne y pescado.

- a) Diseño de gaveta para la parte inferior.
- b) Diseño de las dos gavetas superiores en forma de parrillas.

V.2.4 GAVETAS PARA DESHIDRATAR FRUTAS Y LEGUMBRES.

(ACCESORIO)

El diseño de estas gavetas son en forma de parrillas y se deben dimensionar de acuerdo al tamaño de la fruta a deshidratar. Para efectos de forma se recomienda el mismo diseño que el de la Fig. V.12.b.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa
Gerencia de Planificación Estratégica
Primer Plan Nacional de Desarrollo Energético
Integrado 1988 - 2000.
San Salvador, República de El Salvador, Centro
América.
Enero 1988

- 2- Diseño y Construcción de un Secador de Convección
Natural, utilizando Energía Solar.
Trabajo de Graduación
Luis Alonso Figueroa
Mario Edgardo Lemus
Hamilton Federico Palacios
Manuel Antonio Guandique
Escuela de Ingeniería Mecánica.
UCA, 1985.

- 3- Secado de Granos de Café con un Secador Solar de
Cabina.
Trabajo de Graduación
Ricardo Edmundo Colorado Torres
Escuela de Ing. Mecánica.
UCA, 1981.

- 4- Diseño, Construcción y Pruebas de un Deshidratador
Solar de Productos Agropecuarios.
Humberto Baños Serrano
Jaime Luis Pérez Minero
Oscar Huber Ramírez Gómez
Sergio Antonio Ramos

Escuela de Ingeniería Mecánica
UES, 1992.

- 5- Manual de Almacenamiento y Conservación de Grano y Semillas.
FAO - IRA - FOO
Ing. Gabriel Rengifo
Ing. Ricardo Machado de Toledo.
- 6- Guía Técnica Agropecuaria. Documento Preliminar.
CENTA. Departamento de Información y Documentación,
1991.
- 7- Planificación de las Asociaciones Cooperativas del Sector Agropecuario en El Salvador.
Trabajo de Graduación
Facultad de Ciencias Económicas.
UES, 1985.
- 8- Instituto Salvadoreño de Recursos Naturales.
Anuario Forestal (1980 - 1981).
- 9- Reunión Anual de Programa Cooperativo Centroamericano.
Maíz y Sorgo.
1971.
- 10- Reunión Anual del Programa Cooperativo Centro Americano.
Frijol
1971.
- 11- Evaluación de Cuatro Fechas de Siembra en Dos Variables de Arroz (Isletas, Zacatecoluca).

Facultad de Ciencias Agronomicas.
UES, 1987.

- 12- Solar Engennering and Thermal Proceses.
Duffie J.A. and Beckman W.A.
John Willeyd and Sons.
New York (1980).
- 13- Diseño de una Planta Piloto para Investigación
Experimentales de Sistemas de Aprovechamiento de
Energía Solar y de un Sistema de Termosifón para
Calentamiento de Agua.
Trabajo de Graduación.
Finar O. Gonzalez Jimenez
Raúl Alfredo Planas
Escuela de Ingeniería Mecánica.
UES, 1990.
- 14- Fundamentals of Fluid Mechanics and Heat Transfer.
F. Kreinth / J. Kreider
McGraw - Will
1978.
- 15- Operaciones de Transferencia de Masa
Robert E. Treybal
McGraw - Will (2ª Edición)
México (1981).
- 16- Artículo de la Revista: International Survival for
Scientists Engineers and the Techonologist in Solar
and its Aplications.
1988. Volumen 41.
S. CHIRARATTANANON.

- 17- Principios y Cálculos Básicos de Ingeniería Química.
David Mimmenblao
Editorial Limusa
México (1980).
- 18- Aprovechamiento de la Energía Eólica en El Salvador,
Consideraciones Básicas para el Diseño de Turbinas de
Viento.
Trabajo de Graduación
- Angel Federico Martínez.
- Horacio Pérez Posada.
Escuela de Ingeniería Mecánica
UES, 1984.
- 19- Evaluación Físico-Química de Seis variedades de Frijol
Común.
Trabajo de Graduación
- Concepción Aguirre Reyes
- Gloria Elizabeth Cartagena Cortéz
Facultad de Química y Farmacia
USAM, 1987.
- 20- Caracterización Nutricional y de Molinería de las
Variedades de Arroz (Orizasativa)
Trabajo de Graduación
- Mariella Auxiliadora Dubón Pimentel
- Ana Mercedes Navarrete Ochoa
Facultad de Química y Farmacia.
UES, 1988.
- 21- Almanaque Salvadoreño 1990
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Centro de Recursos Naturales.

Servicio de Matereología e Hidrología.
El Salvador, C.A.

- 22- Instrumentation and Laboratory.
Fisher Scientific (1988)
- 23- Materiales y Porcesos de Manufactura para Ingenieros.
Lawrence E. Dayle, Carl A. Keyfer and James L. Leach.
Prentice-Hall (1988).
- 24- Tecnología de los Metales
Appold, Friler
Reinchard, Schamidt
Editorial Reverté
Madrid (1984)

ANEXO I

PERSPECTIVAS DEL USO SOLAR EN EL SECADO DE GRANOS EN EL SALVADOR.

RESUMEN

Elementos Básicos del Secado:

Los granos de los cereales tienen la propiedad de ser materiales higroscópicos, lo cual significa que tienen una relación dinámica sobre su contenido de humedad; esta relación se manifiesta por el hecho de que si el medio ambiente (aire), carece de agua, (aire seco), los granos del cereal exhuden agua proporcionándosela al medio ambiente; por el contrario; si el medio ambiente tiene un exceso de agua (aire húmedo) los granos absorben agua del medio ambiente. Para cada contenido de humedad del aire existe un punto de equilibrio en el contenido de humedad del grano de modo que no se exhuda ni se absorbe la humedad con el medio ambiente. El proceso de secado exige que los granos que deben secarse sean expuestos a masas de aire con bajo contenido de humedad a fin de que los granos exhuden agua hasta llegar al punto de equilibrio deseable para el almacenaje.

Los métodos de secado por medios mecánicos están basados en dos principios:

- a) Mantener un flujo de aire "relativamente seco"
- b) Incrementar la temperatura de aire.

En cuanto a mantener el flujo de aire, esto es necesario ya que cuando el grano exhuda el agua, el aire alrededor, al absorber dicha agua incrementa su humedad hasta que llegaría un punto de equilibrio en el cual el grano ya no exhudaría, para evitar llegar a este punto, se mantiene un flujo de aire que se lleve la humedad eliminada por los granos. El aire se calienta porque entre mayor sea la temperatura, mayor es la capacidad del aire para absorber humedad, (fig. A-1). La figura (A-2) muestra como el área de contacto grano-aire influye en el proceso de exhudación que se realiza a través de la piel del grano.

Secadores solares experimentales.

Existe actualmente una gran Tendencia a producir secadores "dis que" de tecnología apropiada habiéndose realizado gran cantidad de experimentos cuyos resultados señalan que es insuficiente el simple calentamiento del aire para lograr efectos prácticos de significación económica. La figura A-3 muestra el esquema de los tipos de colectores solares de mayor difusión.

En la figura A-4 se muestran los resultados de las pruebas del ensayo en el CENTA con una capacidad de

aproximadamente 3.75 qq de maíz mazorca, con el cual se logra un secado satisfactorio en un período aproximado de 6 días, puede apreciarse que con una mejor circulación del aire se obtienen mejores resultados pues en la prueba 1 no tenía techo la tolva del secador y aquí la tendencia del secado era más rápida.

De acuerdo con los datos reportados, las características de un secador con capacidad para secar 30qq de maíz en su mazorca sería de una superficie de 122 m² (11 x 11 mts) y 4 m³ de tolva (1.6 x 1.6 x 1.6 mts) y costo aproximado de \$1,900.00 con un rendimiento de 1 manzana por semana, lo cual es muy bueno, con la observación de que estas pruebas se realizan en condiciones de humedad relativa del aire baja, vientos considerables y radiación solar casi constantemente brillante. Se hace notar además que el factor más importante en la prueba anterior es la forma de cosecha ya que al quitar las hojas de la mazorca y exponer el grano altamente humedo a la atmósfera la resistencia que tiene la humedad para abandonar el grano es cero contra atravesar todas las hojas de la mazorca.

En octubre de 1981 se realizaron pruebas de secado utilizando el sol para incrementar la temperatura del aire (fig. A-5). Se utilizó una armazón tipo troja para exponer 9 mazorcas de maíz al aire caliente dentro del secador y

otra armazón idéntica para poner 12 mazorcas directamente al aire sobre un suelo de ladrillo. Los resultados de las pruebas se observan en la figura A-6, donde se deduce que el grupo de mazorcas expuestas al aire se secaron ligeramente mejor que las de el secador y que las de la troja mejor que las del suelo. De acuerdo a estos resultados y a otras pruebas de secado de leña realizadas por ICAITI se afirma que el calentamiento del aire por medios solares no es suficiente para sacar ventaja considerable sobre los factores ambientales.

Tecnología Apropriada.

Realizando comparaciones entre un secador mecánico y el secador solar CENTA se llega a la conclusión de que para que sean equivalentes es necesario un gran incremento en la temperatura del aire y suministrar grandes volúmenes del mismo y la única manera de cumplir ambos requisitos en construir una gran área de colector, lo cual sería muy costoso e inconveniente.

Entre tanto, este colector tendría dos características muy ventajosas que son: a) Mayores eficiencias de aprovechamiento energético y b) temperaturas considerablemente altas. Esto se logra fácilmente por medio de fluidos líquidos. En la figura A-7 se muestra un esquema de un secador en donde se logran grandes volúmenes de aire

forzado con ventiladores y altas temperaturas en el intercambiador de calor. Desde el punto de vista estrictamente técnico esta es la mejor disposición sin embargo, es necesario estudiar los datos exactos del fenómeno de exhudación a diferentes temperaturas y humedades a fin de poder dimensionar los requisitos de volumen de aire y temperatura. Lo que resulta evidente es que el dispositivo tendrá un costo alto, sin embargo puede ser rentable.

CONCLUSIONES

- El secado de maíz en su mazorca desnuda, directamente expuesta al ambiente puede ser la mejor alternativa desde el punto de vista de tener más bajos costos durante la época seca.
- El secado mecánico requiere volúmenes de aire a temperaturas considerablemente altas.
- El uso de colectores concentrados y el aire forzado ofrece buenas perspectivas técnicas, sin embargo, se necesita determinar sus factores económicos.
- Los secadores solares de colectores planos producen beneficios que tan solo son ligeramente mejores que la exposición al aire seco.

A continuación se presenta el grupo de figuras mencionadas.

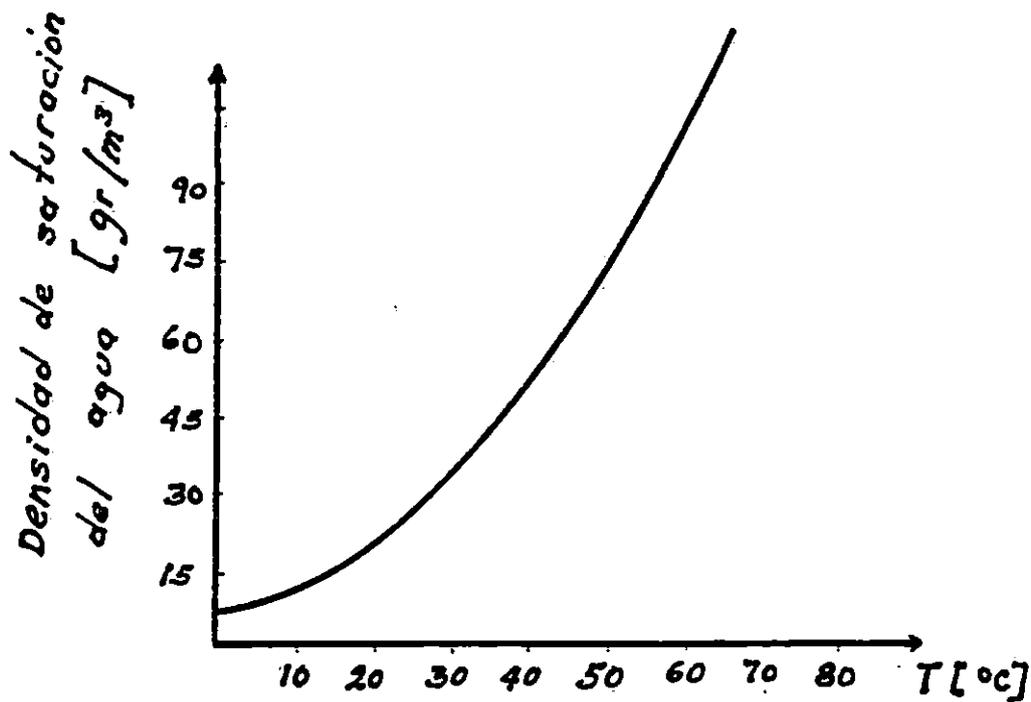


Fig. A-1. Relación de temperatura del aire y capacidad de secado.

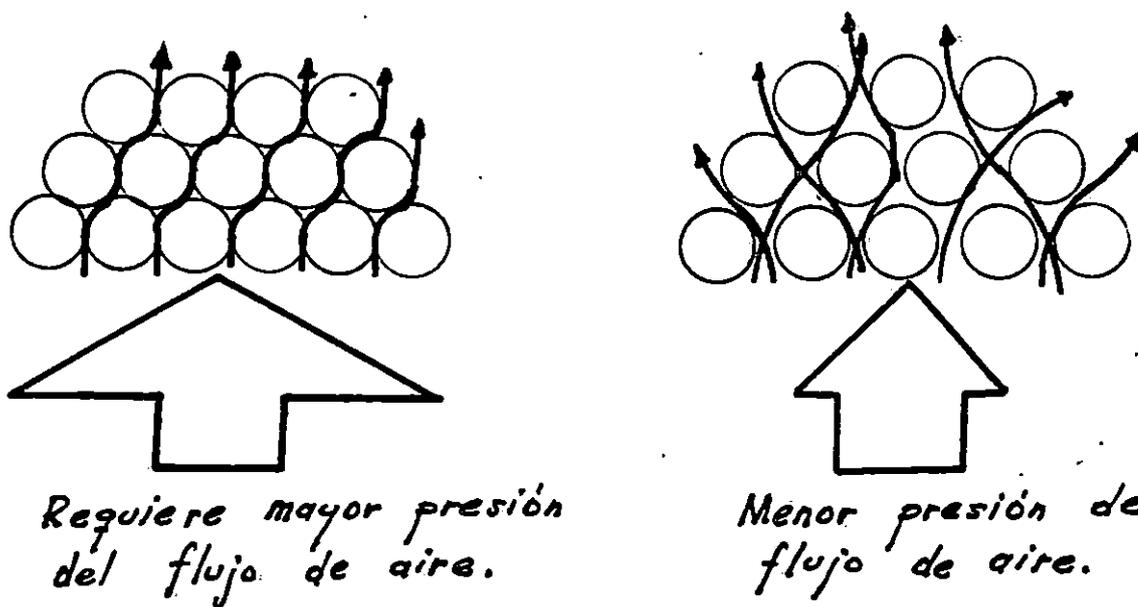
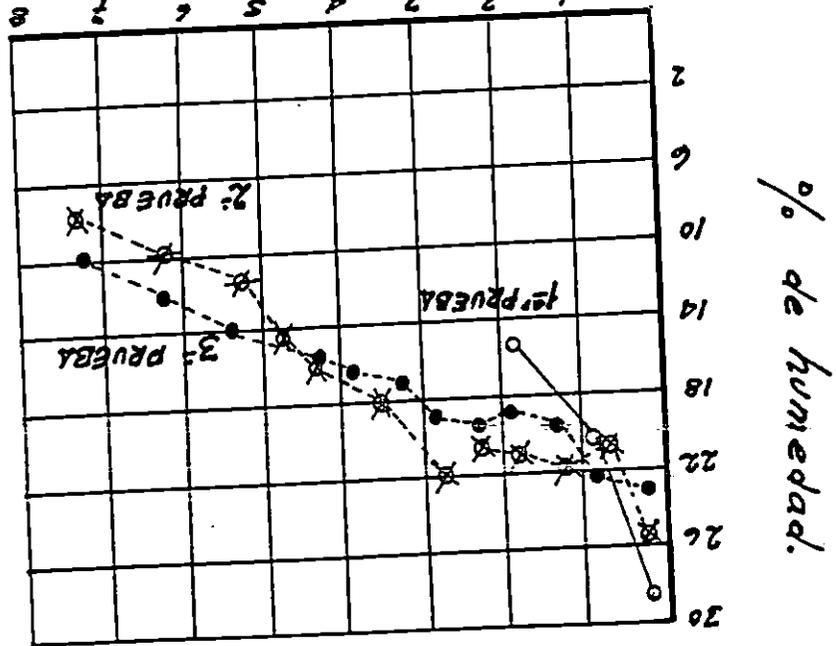


Fig. A-2. Disposición de mazorcas.

Fig. A-4 Proceso de secado en la
 secadora solar. Reducción
 de humedad en el maíz
 Días de secado.



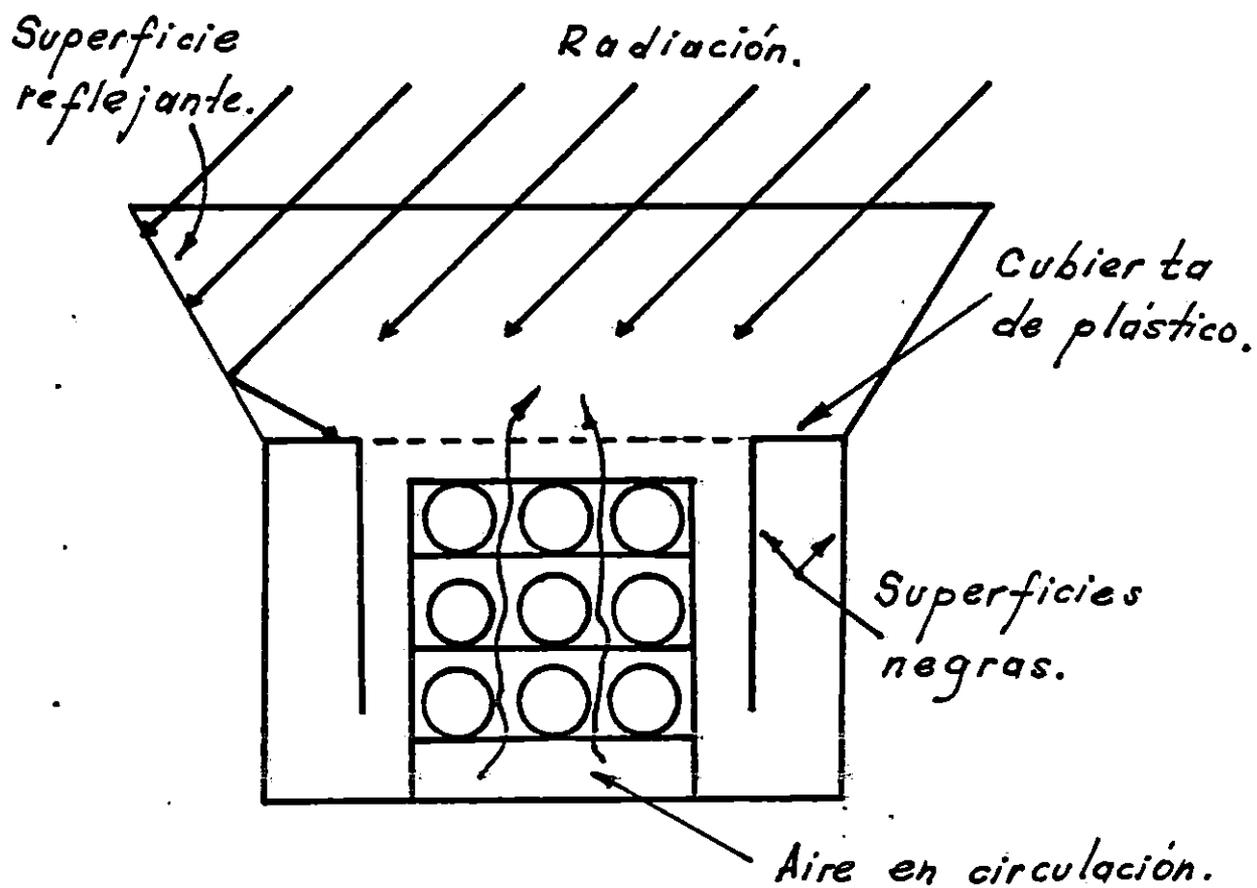


Fig. A-5. Secador solar tipo troja.

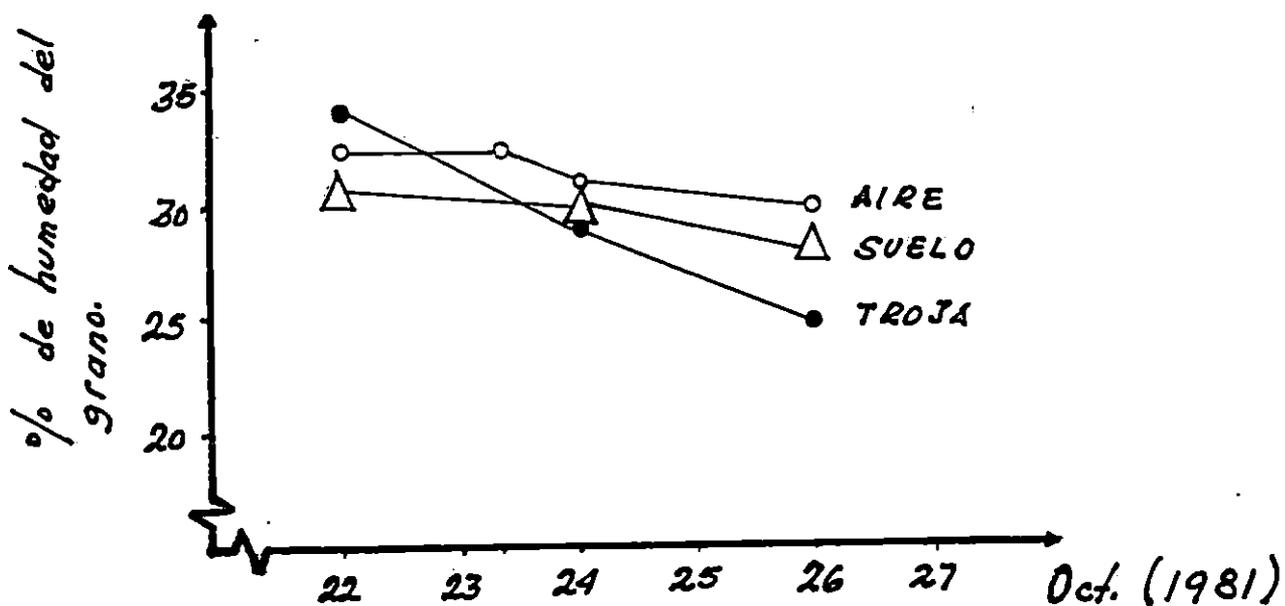


Fig. A-6. Resultado de secado de maíz por tres métodos distintos (CENTA 81)

Paneles de fotoceldas.
(Electricidad para bomba y ventilador)

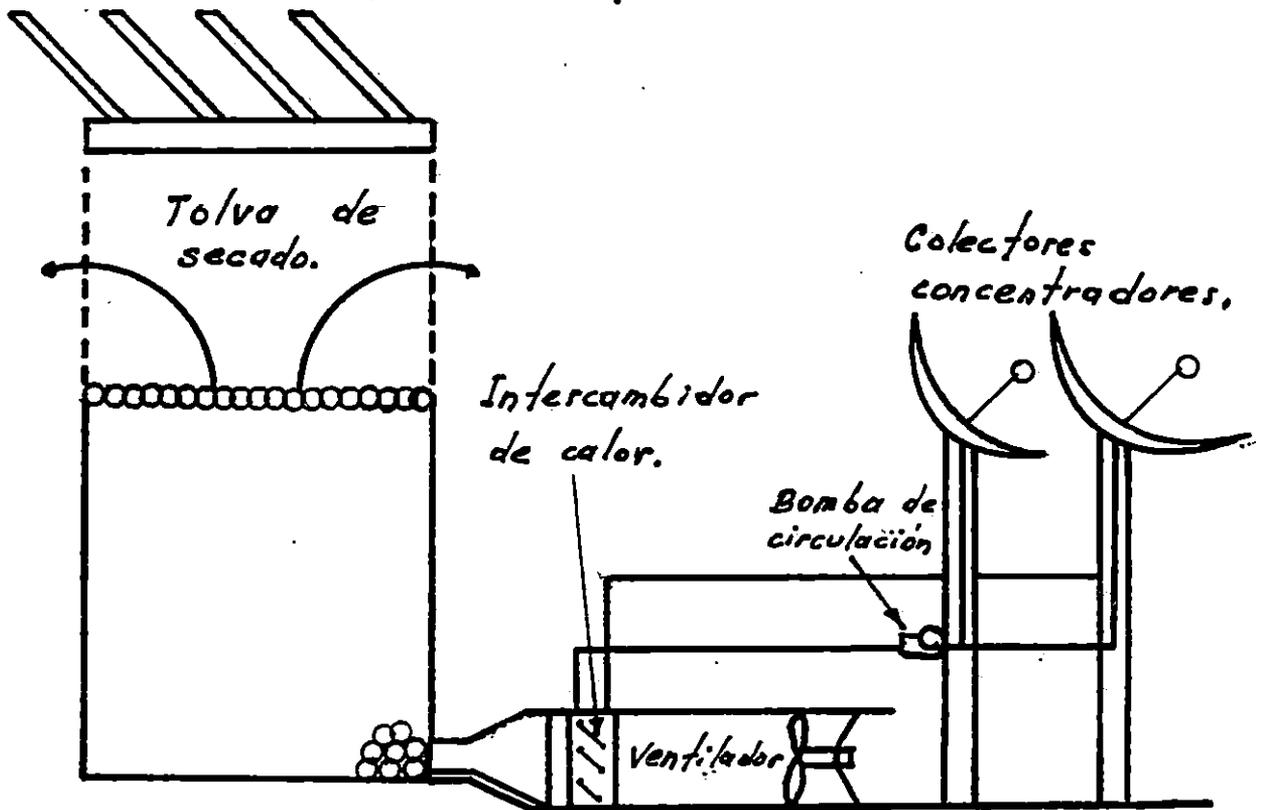


Fig. A-7. Sistema de secado con energía solar.

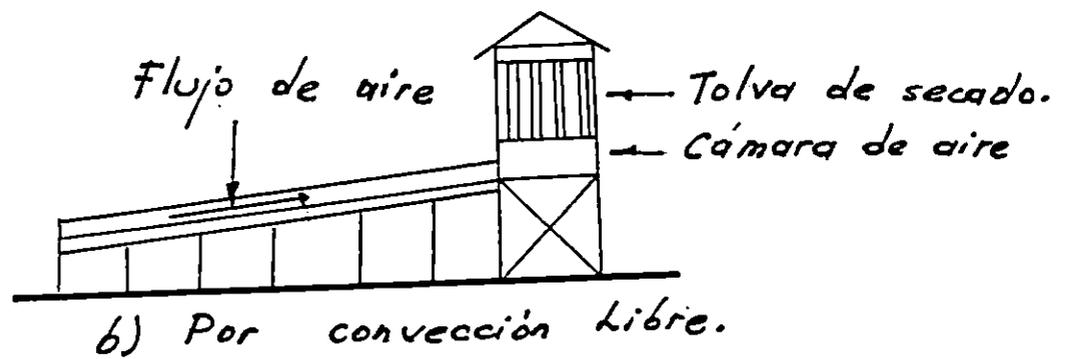
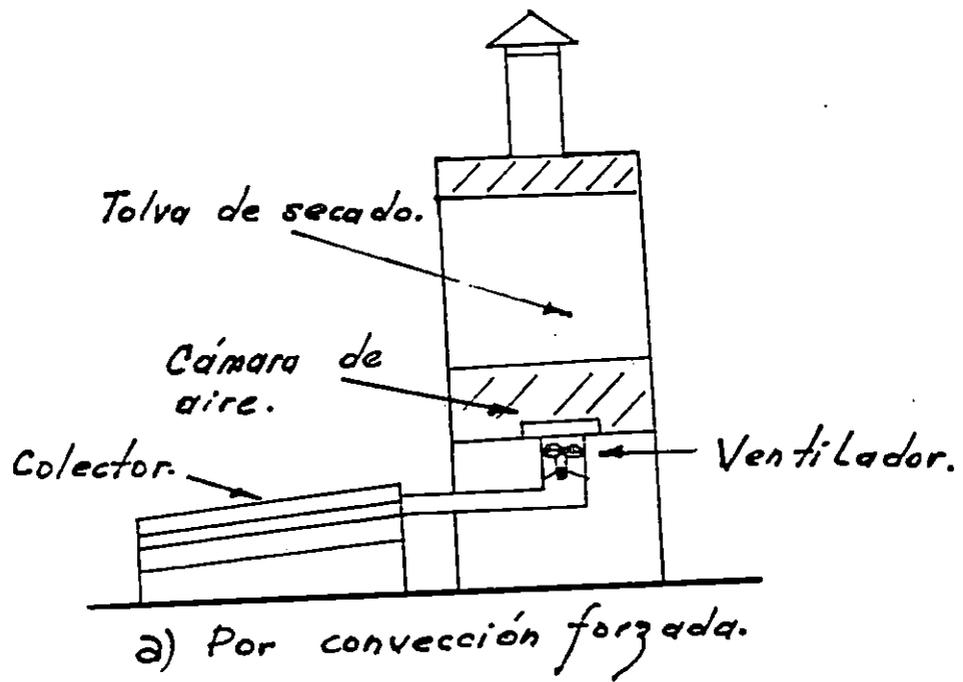


Fig. A-3. Deshidratadores más difundidos.

CUESTIONARIO PARA INVESTIGACION DE CAMPO

1. Identificación del lugar.
2. Poseen proyectos que involucren la energía solar, utilizados en la deshidratación de granos?
3. Conocen a entidades o personas particulares que aborden estos tipos de proyectos?
4. Brindan ustedes algún tipo de asesoría o información técnica para el manejo de la producción de granos?
5. A que tipo de instituciones se lo brindan. Qué tipo de asesoría proporcionan?
6. Se les ha presentado algún caso en el cual se les ha planteado problemas de secado y/o almacenamiento de granos?
7. Conocen a entidades o personas particulares que se dediquen a la asistencia técnica en dicho ramo?

OBSERVACIONES

- Si en la pregunta # 2 la respuesta es positiva, la pregunta # 3, comenzaría así: Además de ustedes, ...?
- Si la pregunta # 4 la respuesta es negativa, entonces pasar a la pregunta # 7.
- Si en las instituciones visitadas cultivan volúmenes de producción significativos, entonces también pasar, lo que crean conveniente del otro cuestionario para organizaciones campesinas.
- * Este cuestionario va dirigido a instituciones gubernamentales o autónomas en las cuales se puede encontrar información técnica del tema en cuestión.

CUESTIONARIO PARA INVESTIGACION DE CAMPO

1. Ubicación del lugar:

a) Nombre del Lugar _____

b) Dirección: _____

c) Municipio: _____

d) Departamento: _____

2. Granos que se cultivan

Maíz SI NO

Frijol SI NO

Arroz SI NO

Otros, especificar: _____

3. ¿Cuál es la época del año tradicional para la siembra de dichos productos?

Maíz _____

Frijol _____

Arroz _____

Otros _____

4. ¿Cuál es la época del año tradicional para la recolección de la cosecha?

Maíz _____

Frijol _____

Arroz _____

Otros _____

5. Cuantas manzanas cultivan y cual es su producción promedio? /
6. Qué cantidad de la producción usualmente almacena?
7. De qué manera hace más durable el producto en el tiempo que ud. necesita tenerlo almacenado?
8. Qué ventajas o desventajas presenta el método mencionado anteriormente?
9. Utiliza, o tiene conocimiento de algún proceso de secado utilizando energía solar?
10. De que instituciones recibe asistencia técnica o asesoría en el manejo de granos ?
11. Qué tipo de ayuda o información recibe de estas instituciones?

12. Tiene usted la necesidad de cultivar los granos citados en un época no acostumbrada. En qué meses lo haría?

13. Los granos obtenidos en las cosechas fuera de estación los vendería o los almacenaría por largo tiempo?

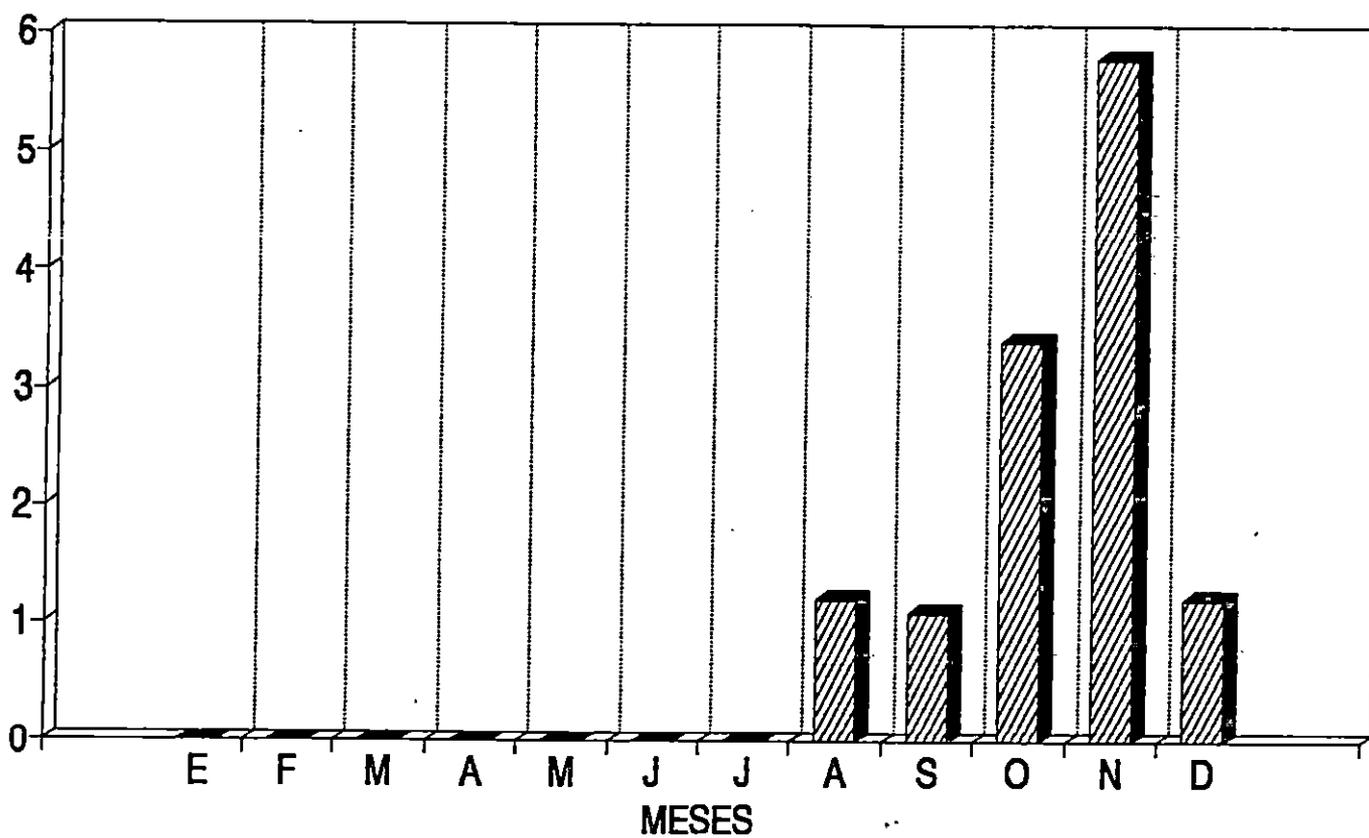
OBSERVACIONES

- Hacer énfasis en el secado solar para almacenar los granos sin mayores problemas durante un largo tiempo.
- Preguntar al encuestado otros lugares afines con el objetivo de visitarlos.
- El propósito de la pregunta # 7 es para que el encuestado diga el método que está utilizando (uso de insecticidas, repelentes, etc.) para preservar los granos y para contrastar la forma negativa en que afecta el producto y compararlo con las ventajas que ofrece el secado solar.
- * Tener en cuenta que una de las justificaciones del trabajo de graduación es que el secado solar prepara el producto para aumentar tiempos largos de almacenamiento sin contaminarlo, por lo tanto es importante identificar las necesidades que tienen los lugares a visitar de un almacenamiento de este tipo.
- * ESTE CUESTIONARIO VA DIRIGIDO A ORGANIZACIONES CAMPESINAS.

VOLUMEN COSECHADO DE GRANOS
BASICOS SEGUN MES, 1990-1991.

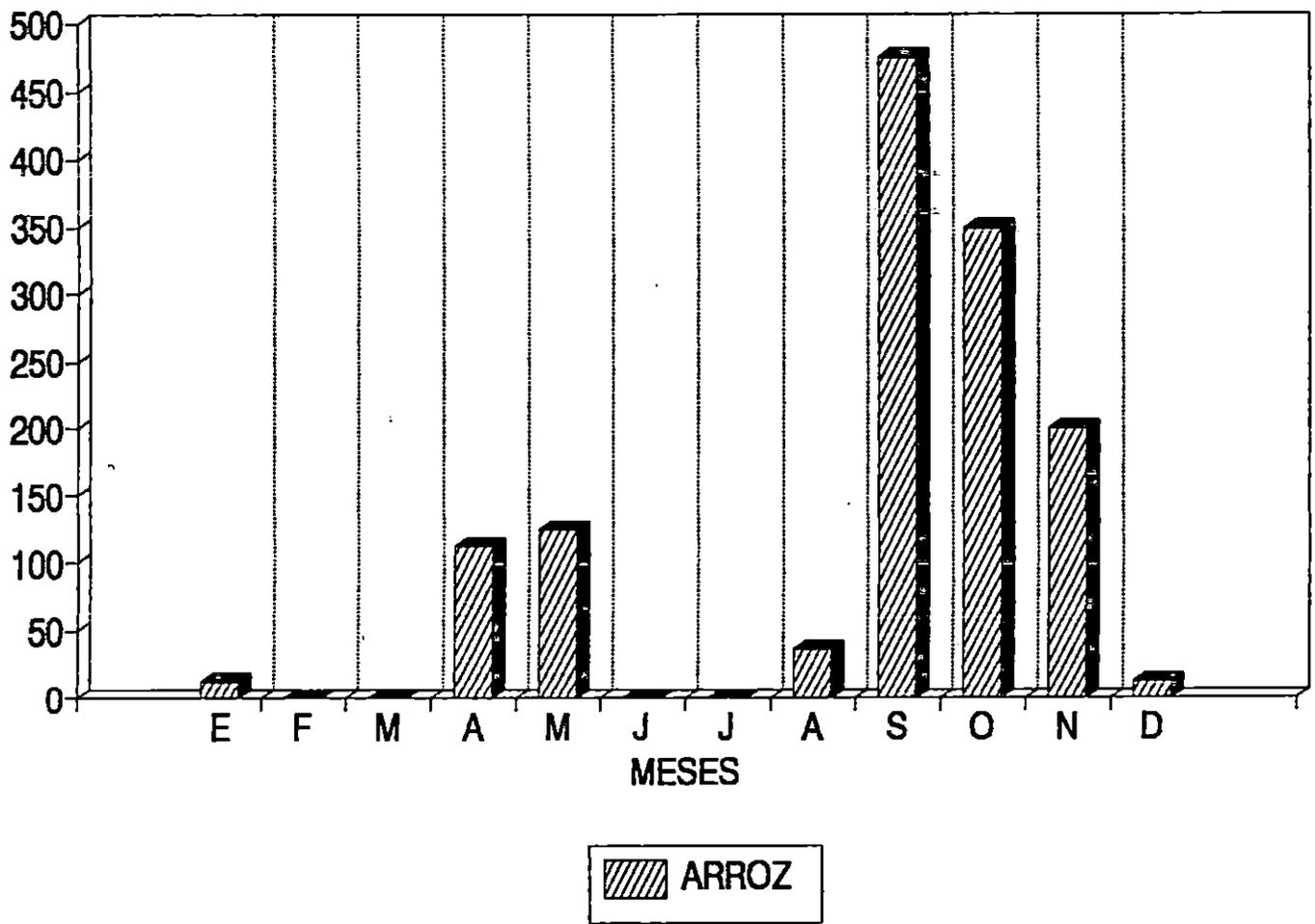
D. G. E. A. - M. A. G.

QUINTALES (MILLONES)

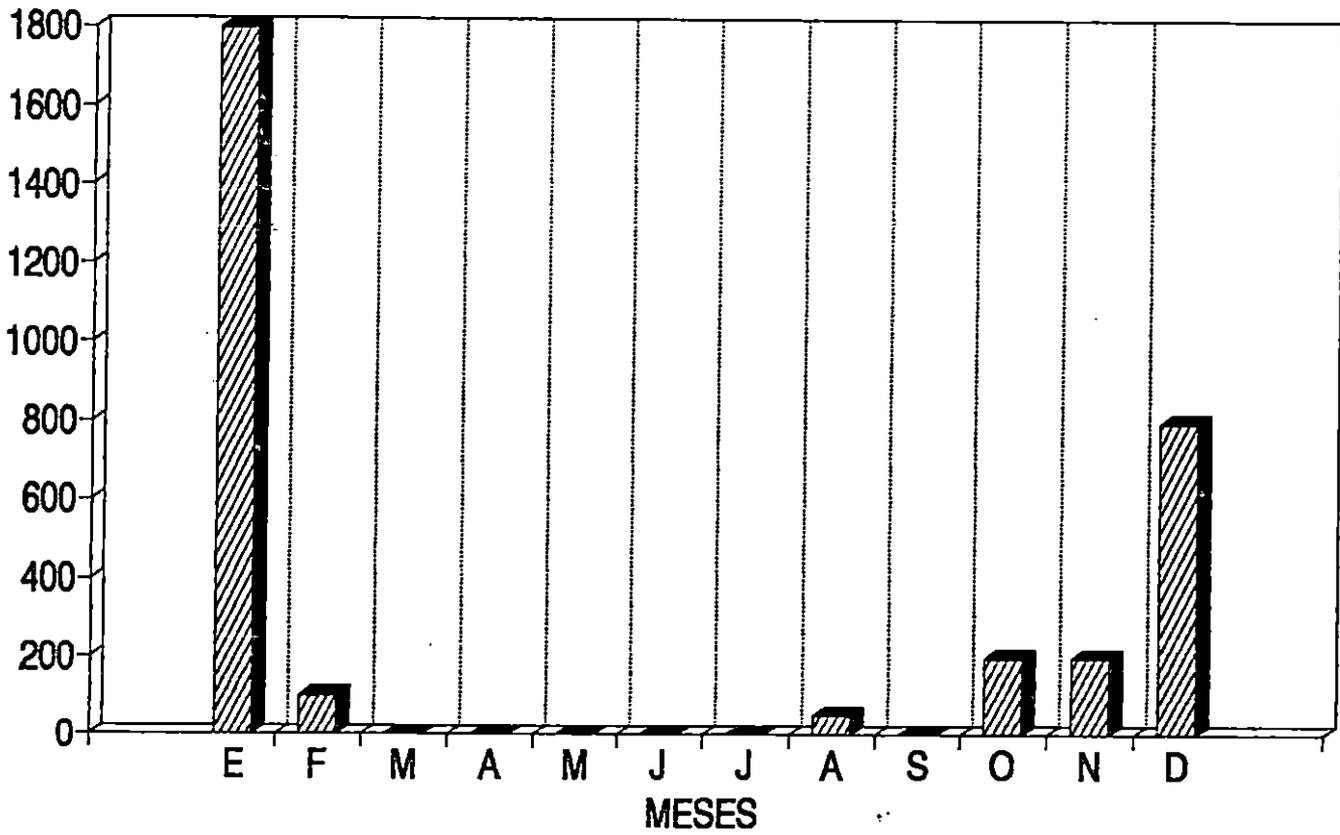


MAIZ

QUINTALES GRANZA (MILES)



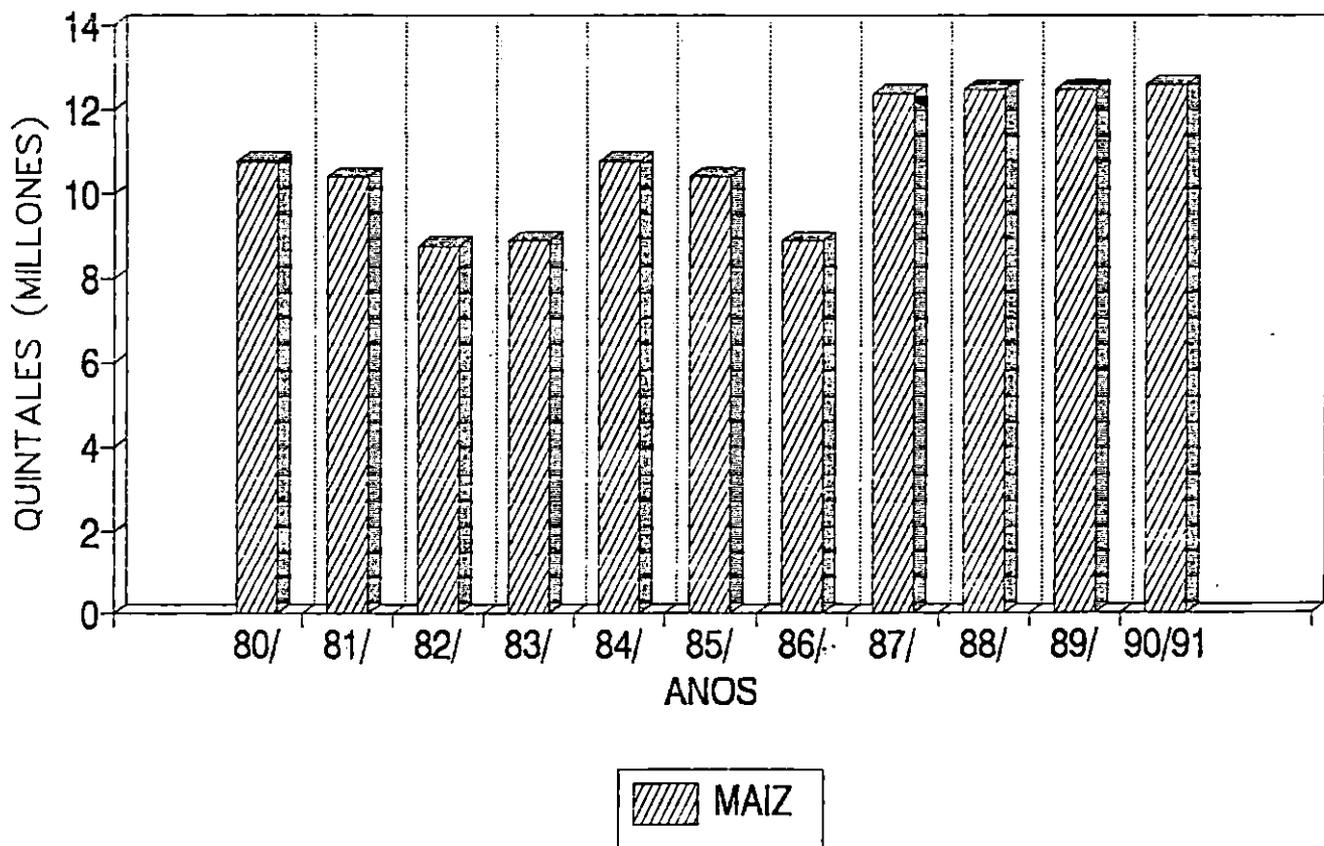
QUINTALES (MILES)



MAICILLO

PRODUCCION DE GRANOS BASICOS

PERIODO 1980/81 - 1990/91

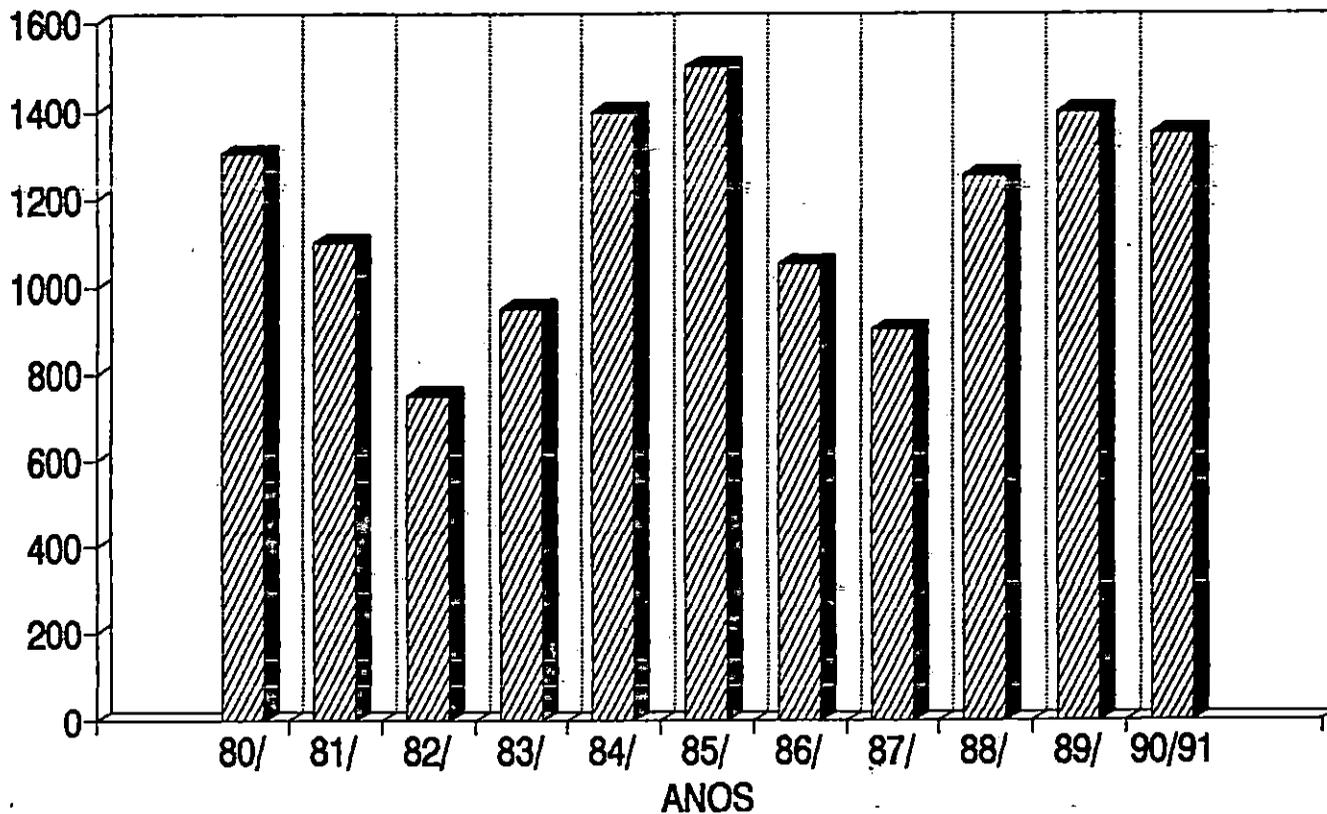


PRODUCCION DE GRANOS BASICOS.

PERIODO 1980/81 - 1990/91.

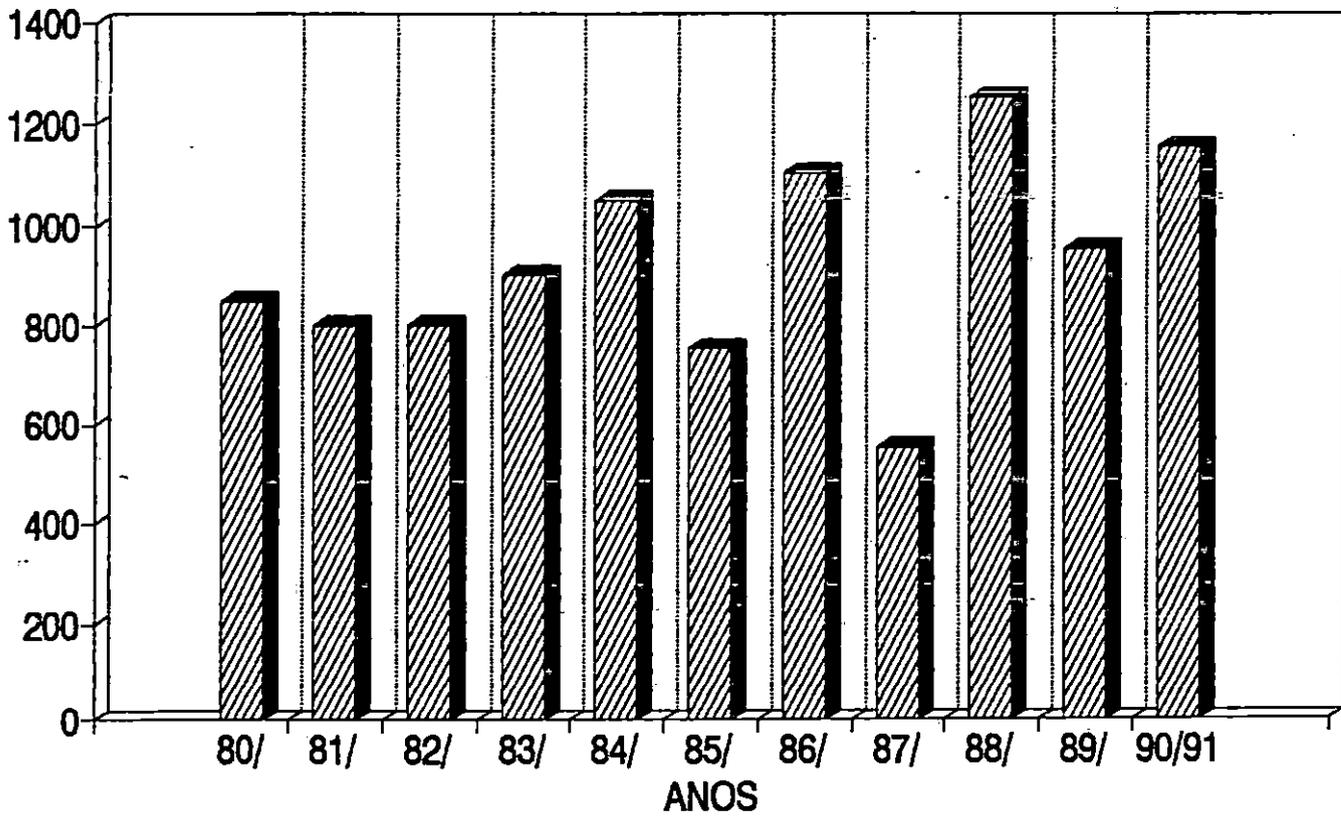
D.G.E.A. - M. A. G.

QUINTALES GRANZA (MILES)



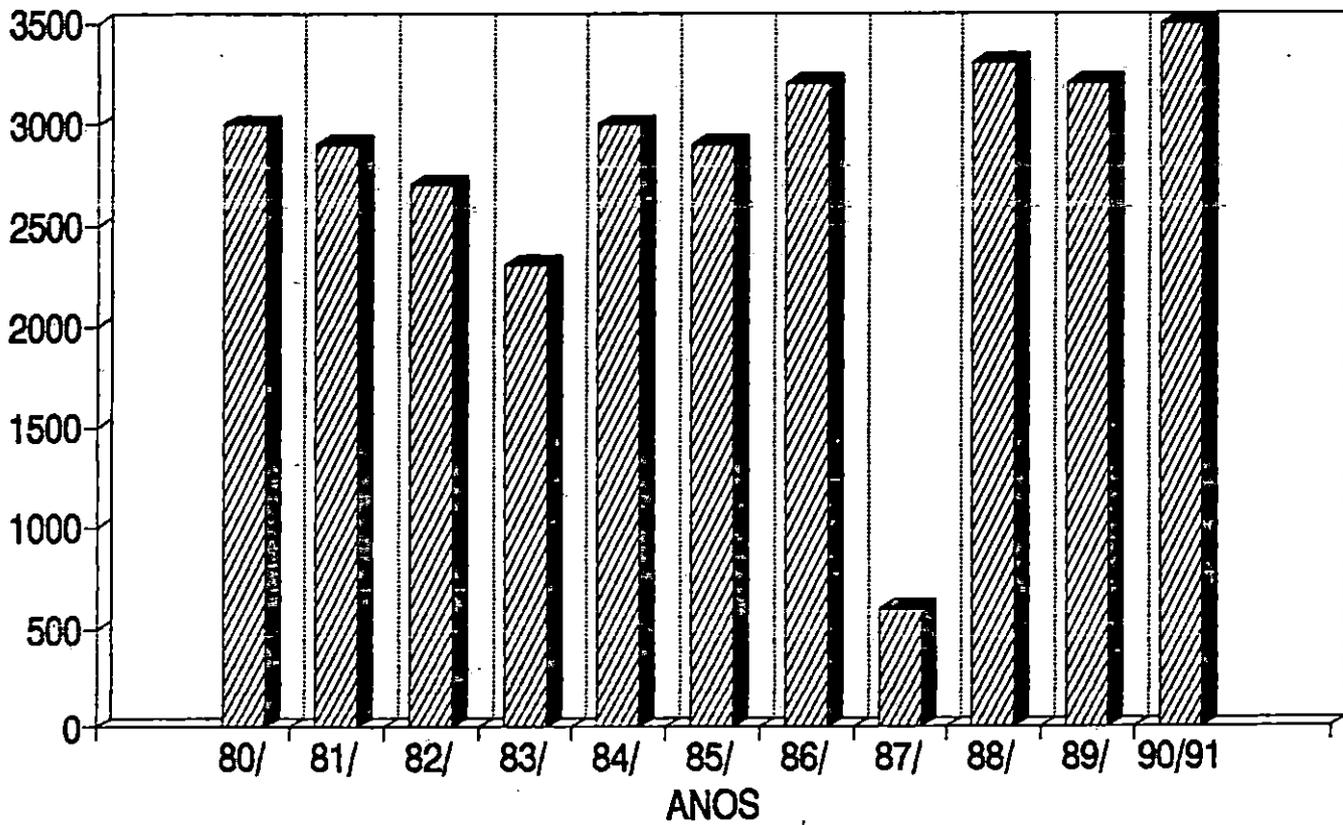
ARROZ

QUINTALES (MILES)



FRIJOL

QUINTALES (MILES)



 MAICILLO

ANEXO II

TABLA Nº 1

EMISIVIDAD Y ABSORTANCIA DE DIFERENTES MATERIALES

SUBSTANCE	SHORT-WAVE ABSORPTANCE	LONG-WAVE EMMITTANCE	$\frac{\alpha}{\epsilon}$
CLASS I SUBSTANCES: ABSORPTANCE TO EMITTANCE RATIOS LESS THAN 0.5			
MAGNESIUM CARBONATE, MgCO ₃	0.025-0.04	0.79	0.03-0.05
WHITE PLASTER	0.07	0.91	0.08
SNOW, FINE PARTICLES, FRESH	0.13	0.82	0.16
WRITE PAINT, 0.017 IN, ON ALUMINUM	0.20	0.91	0.22
WRITE WASH ON GALVANIZED IRON	0.22	0.90	0.24
WHITE PAPER	0.25-0.28	0.95	0.26-0.29
WHITE ENAMEL ON IRON	0.25-0.45	0.9	0.28-0.5
ICE, WITH SPARSE SNOW COVER	0.31	0.96-0.97	0.32
SNOW, ICE GRANUTES	0.33	0.89	0.37
ALUMINUM OIL BASE PAINT	0.45	0.90	0.50
WHITE POWDERED SAND	0.45	0.84	0.54

CONTINUACION TABLA Nº 1

SUBSTANCE	SHORT-WAVE ABSORPTANCE	LONG-WAVE EMITTANCE	$\frac{\alpha}{\epsilon}$
CLASS II SUBSTANCES: ABSORPTANCE TO EMITTANCE RATIOS BETWEEN 0.5 AND 0.9			
ASBESTOS FELT	0.25	0.50	0.50
GREEN OIL BASE PAINT	0.5	0.9	0.56
BRINKS, RED	0.55	0.92	0.60
ASBESTOS CEMENT BOARD, WHITE	0.59	0.95	0.61
MARBLE, POLISHED	0.5-0.6	0.9	0.61
WOOD, PLANED OAK	-----	0.9	-----
ROUGH CONCRETE	0.60	0.97	0.62
CONCRETE	0.60	0.88	0.68
GRASS, GREEN, AFTER RAIN	0.57	0.98	0.68
GRASS, HIGHT AND RAIN	0.57-0.69	0.9	0.76
VEGETABLE FIELDS AND SHURBS, WILTED	0.70	0.9	0.78
OAK LEAVES	0.71-0.78	0.91-0.95	0.78-0.82
FROZEN SOIL	-----	0.93-0.94	-----
DESERT SURFACE	0.75	0.9	0.83
COMMON VEGETABLE FIELDS AN SHRUBS	0.72-0.75	0.9	0.82
GROUND, DRY PLOWED	0.75-0.80	0.9	0.83-0.89
OAK WOODLAND	0.82	0.9	0.91
PINE FOREST	0.86	0.9	0.96
EARTH SURFACE AS A WHOLE (LOND AND SEA, NO CLOUDS)	0.83	---	---

CONTINUACION TABLA Nº 1

SUBSTANCE	SHORT-WAVE ABSORPTANCE	LONG-WAVE EMITTANCE	$\frac{\alpha}{\epsilon}$
CLASS III SUBSTANCES: ABSORPTANCE TO EMITTANCE RATIOS BETWEEN 0.8 AND 1.0			
GREY PAINT	0.75	0.95	0.79
RED OIL BASE PAINT	0.74	0.90	0.82
ASBESTOS, STALE	0.81	0.96	0.84
ASBESTOS, PAPER	----	0.93-0.96	---
LINOLEUM, RED-BROWN	0.84	0.92	0.91
DRY SAND	0.82	0.90	0.91
GREEN-ROLL ROOFING	0.88	0.91-0.97	0.93
SLATE, DARK GREY	0.89	----	----
OLD GREY RUBBER	----	0.86	----
HARD BLACK RUBBER	----	0.90-0.95	----
ASPHALT PAVEMENT	0.93	---	----
BLACK CUPRIC OXIDE ON COPPER	0.9	0.96	0.95
BARE MOIST GROUND	0.9	0.95	0.95
WET SAND	0.91	0.95	0.96
WATER	0.94	0.95-0.96	0.98
BLACK GLOSS PAINT	0.93	0.93	1.0
SMALL HOLE IN LARGE BOX, FURNACE, OR ENCLOSURE	0.90	0.90	1.0
"HOHLRAUM", THEORETICALLY PERFECT	0.99	0.99	1.0
BLACK BODY	1.0	1.0	1.0

TABLA Nº 2

TRANSMITANCIA DE DIFERENTES MATERIALES

MATERIAL	THICKNESS, IN	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1 POLYETHYLENE, CLEAR ^a	0.002	0.936	0.936	0.936	0.925	0.872	0.704
2 POLYETHYLENES CLEAR ^a	0.002	0.894	0.894	0.894	0.889	0.795	0.581
3 POLYETHYLENES CLEAR ^a	0.002	0.838	0.838	0.834	0.824	0.721	0.485
1 TEDLAR PVF	0.003	0.947	0.947	0.947	0.934	0.868	0.710
2 TEDLAR PVFs	0.003	0.902	0.902	0.902	0.890	0.805	0.585
3 TEDLAR PVFs	0.003	0.857	0.857	0.857	0.845	0.755	0.481
1 MYLAR ^b	0.003	0.868	0.868	0.873	0.857	0.823	0.689
2 MYLARS ^b	0.003	0.806	0.806	0.814	0.782	0.745	0.602
3 MYLARS ^b	0.003	0.761	0.761	0.765	0.747	0.711	0.538
1 PVC ^c	0.004	0.825	0.828	0.828	0.800	0.740	0.595
1 PVC ^c	0.008	0.780	0.781	0.783	0.778	0.719	0.585
1 TEFLON FEP	0.001	0.965	0.977	0.977	0.971	0.941	0.748
1 TEFLON FEP	0.002	0.969	0.977	0.977	0.971	0.926	0.668
1 TEFLON FEP	0.005	0.966	0.972	0.972	0.967	0.922	0.665
1 WINDOW GLASS ^d		0.921	0.921	0.921	0.902	0.887	0.751
1 WINDOW GLASS ^e		0.891	0.897	0.800	0.881	0.865	0.720
1 TEDLAR, DRY ^f	0.003	0.916	0.916	0.894	0.845	0.723	0.525
1 TEDLAR, WET ^g	0.003	0.948	0.944	0.933	0.923	0.831	0.569

TABLA Nº 3
CONDUCTIVIDAD TERMICA DE DIFERENTES MATERIALES

Material	ρ		c_p		α		k					
	(lb _m /ft ³)	(kg/m ³)	(Btu/lb _m ·°F)	(J/kg·K)	(ft ² /hr)	(m ² /seg)	(Btu/hr ft °F)			(W/m·K)		
	(68°F)	(293 K)	(68 F)	(293 K)	(68°F)	(293 K)	(68)	(212)	(572)	(293)	(373)	(573)
Metales												
Aluminio	168.6	2 701.1	0.224	9.383	3.55	9.16	132	133	133	229	229	230
Cobre	555	8 890	0.092	3.854	3.98	10.27	223	219	213	386	379	369
Oro	1 266	19 320	0.031	1.299	4.52	11.66	169	170	172	293	294	298
Hierro	492	7 880	0.122	5.110	0.63	2.14	42.3	39	31.6	73.2	68	54
Plomo	708	11 300	0.030	1.257	0.80	2.06	20.5	19.3	17.2	35.1	33.4	29.8
Magnesio	109	1 750	0.248	10.39	3.68	9.50	99.5	96.8	91.4	172	168	158
Níquel	556	8 910	0.111	4.560	0.87	2.24	53.7	47.7	36.9	93.0	82.6	63.9
Platino	1 340	21 500	0.032	1.340	0.09	0.23	40.5	41.9	43.5	70.1	72.5	75.3
Plata	656	10 500	0.057	2.388	6.42	16.57	240	237	209	415	410	362
Estaño	450	7 210	0.051	2.136	1.57	4.05	36	34	—	62	59	—
Tungsteno	1 206	19 320	0.032	1.340	2.44	6.30	94	87	77	160	150	130
Uranio	1 167	18 700	0.027	1.131	0.53	1.37	16.9	17.2	19.6	29.3	29.8	33.9
Zinc	446	7 150	0.094	3.937	1.55	4.00	65	63	58	110	110	100
Alcaciones												
Aluminio 2024	173	2 770	0.230	9.634	1.76	4.54	70.2			122		
Bronce (70% Cu, 30% Ni)	532	8 520	0.091	3.812	1.27	3.28	61.8	73.9	85.3	107	128	148
Constantán (60% Cu, 40% Ni)	557	8 920	0.098	4.105	0.24	0.62	13.1	15.4		22.7	26.7	

TABLA Nº 4

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE DIFERENTES MATERIALES

Hierro fundido	455	7 920	0.100	4.189	0.65	1.68	29.6	26.8		51.2	46.4	
Nicromo V	530	8 490	0.106	4.440	0.12	0.31	7.06	7.99	9.94	12.2	13.8	17.2
Acero inoxidable	488	7 820	0.110	4.608	0.17	0.44	9.4	10.0	13	16	17.3	23
Hierro dulce (1% C)	488	7 820	0.113	4.733	0.45	1.16	24.8	24.8	22.9	42.9	42.9	39.0
No metales												
Asbesto	56	580	0.25	10.5			0.092	0.11	0.125	0.15	0.190	0.21
Ladrillo (adobe)	144	2 310	0.22	9.22				0.65			1.13	
Ladrillo (de construcción)	106	1 670	0.20	8.38			0.38			0.66		
Ladrillo (de cromado)	188	3 010	0.20	8.38				0.67			1.16	
Concreto	144	2 310	0.21	8.80			0.70			1.21		
Lámina de corcho	10	160	0.4	17			0.025			0.043		
Tierra diatomácea pulverizada	14	220	0.2	8.4			0.03			0.05		
Vidrio (de ventana)	170	2 720	0.2	8.4			0.45			0.78		
Vidrio (Pyrex)	140	2 240	0.2	8.4			0.63	0.67	0.84	1.09	1.16	1.45
Ladrillo de caolín 85% de magnesio	19	300							0.052			0.09
Tierra negra arenosa 4% H ₂ O	17	270					0.038	0.041		0.066	0.071	
Tierra negra arenosa 10% H ₂ O	104	1 670	0.4	17			0.54			0.94		
Asbesto	121	1 940					1.08			1.87		
Madera, roble, trepa	10	160	0.2	8.4			0.023	0.033		0.040	0.057	
Madera, roble, trepa	51	820	0.57	23.9			0.12			0.21		
Madera, roble, trepa	51	820	0.57	23.9			0.23			0.40		

TABLA Nº 5

CONDUCTIVIDAD TERMICA DE GASES

Gases									
T (°F)	ρ (lb _m /ft ³)	c_p (Btu/lb _m ·°F)	$\mu \times 10^5$ (lb _m /ft·seg)	ν (ft ² /seg)	k (Btu/hr ft °F)	α (ft ² /hr)	Pr	$\beta \times 10^3$ (1/°F)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°F·ft ³)
Aire									
0	0.0862	0.240	1.09	0.12	0.0132	0.639	0.721	2.18	4.39×10^3
30	0.0810	0.240	1.15	0.142	0.0139	0.714	0.716	2.04	3.28
60	0.0764	0.240	1.21	0.157	0.0146	0.798	0.711	1.92	2.48
80	0.0735	0.240	1.24	0.167	0.0152	0.855	0.708	1.85	2.09
100	0.0710	0.240	1.28	0.177	0.0156	0.919	0.703	1.79	1.76
150	0.0651	0.241	1.36	0.207	0.0167	1.06	0.698	1.64	1.22
200	0.0602	0.241	1.45	0.241	0.0179	1.24	0.694	1.52	0.840
250	0.0559	0.242	1.53	0.272	0.0191	1.42	0.690	1.41	0.607
300	0.0523	0.243	1.60	0.302	0.0203	1.60	0.686	1.32	0.454
400	0.0462	0.245	1.74	0.377	0.0225	2.00	0.681	1.16	0.264
500	0.0413	0.247	1.87	0.453	0.0246	2.41	0.680	1.04	0.163
600	0.0374	0.251	2.00	0.535	0.0270	2.88	0.680	0.944	79.4×10^3
800	0.0315	0.257	2.24	0.711	0.0303	3.75	0.684	0.794	50.6
1000	0.0272	0.263	2.46	0.906	0.0337	4.72	0.689	0.685	27.0
1500	0.0203	0.277	2.92	1.44	0.0408	7.27	0.705	0.510	7.96

TABLA Nº 6

AIRE CON DIVERSOS PARAMETROS

T (K)	ρ (kg/m ³)	$c_p \times 10^{-3}$ (J/kg · K)	$\mu \times 10^5$ (Pa · seg)	$\nu \times 10^5$ (m ² /seg)	$k \times 10^2$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /seg)	Pr	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K · m ³)
Aire								
250	1.4133	1.0054	1.5991	1.1315	2.2269	1.5672	0.722	2.5768×10^{11}
260	1.3587	1.0054	1.6503	1.2146	2.3080	1.6896	0.719	1.4292
280	1.2614	1.0057	1.7503	1.3876	2.4671	1.9448	0.713	1.0085
300	1.1769	1.0063	1.8464	1.5689	2.6240	2.2156	0.708	0.7371
320	1.1032	1.0073	1.9391	1.7577	2.7785	2.5003	0.703	0.5523
340	1.0382	1.0085	2.0300	1.9553	2.9282	2.7967	0.699	0.4168
360	0.9805	1.0100	2.1175	2.1596	3.0779	3.1080	0.695	0.3238
400	0.8822	1.0142	2.2857	2.5909	3.3651	3.7610	0.689	0.2031
440	0.8021	1.0197	2.4453	3.0486	3.6427	4.4537	0.684	0.1330
480	0.7351	1.0263	2.5963	3.5319	3.9107	5.1836	0.681	9.0410×10^9
520	0.6786	1.0339	2.7422	4.0410	4.1690	5.9421	0.680	6.4201
580	0.6084	1.0468	2.9515	4.8512	4.5407	7.1297	0.680	3.9962
700	0.5040	1.0751	3.3325	6.6121	5.2360	9.6632	0.684	1.7833
800	0.4411	1.0988	3.6242	8.2163	5.7743	11.9136	0.689	1.0024
1000	0.3529	1.1421	4.1527	11.1767	6.7544	16.7583	0.702	0.4462

TABLA Nº 7

PARA DETERMINAR LAS CONSTANTES A Y B

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	DEPARTAMENTO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ELEVACION (M)	A	B
H-8	AHUACHAPAN	AHUACHAPAN	13.94°	86.86°	723	0.2438	0.4387
A-31	PLANES DE MONTECRISTO	SANTA ANA	14.40°	89.36°	1851	0.1357	0.5222
S-5	OBSERVATORIO	SAN SALVADOR	13.70°	89.20°	700	0.2490	0.4120
S-27	MATRIZ	SAN SALVADOR	13.59°	89.14°	638	0.2800	0.4070
G-3	NVA. CONCEPCION	CHALATENANGO	14.12°	89.29°	320	0.2779	0.3770
V-13	APASTEPEQUE	SAN VICENTE	13.70°	88.75°	570	0.2694	0.3335
V-13	BENEFICIO LA CARRERA	USULUTAN	13.33°	88.52°	75	0.2563	0.3692
Z-4	LA GALERA	MORAZAN	14.04°	88.09°	1900	0.1473	0.5672
N-15	LA UNION	LA UNION	13.33°	87.88°	95	0.2111	0.4179

TABLA Nº 8
PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA

TEMP. °C T	PRESIO N BARES P	VOLUMEN ESPECIFICO		ENERGIA INTERNA		ENTALPIA			ENTROPIA	
		U_f LIQUID SATURA	U_g VAPOR SATUR	U_f LIQUID SATURA	U_g VAPOR SATUR	h_f LIQUID SATURA	h_{fg} EVAPO.	h_g VAPOR SATURA	s_f LIQUID SATURA	s_g VAPOR SATURA
50	.1235	1.0121	12032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763
55	.1576	1.0146	9568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913
60	.1994	1.0172	7671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096
65	.2503	1.0199	6197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310
70	.3119	1.0228	5042	292.95	2429.6	292.98	2333.8	2646.8	.9549	7.7553
75	.3858	1.0259	4131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824
80	.4739	1.0291	3407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122
85	.5783	1.0325	2828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445
90	.7014	1.0360	2361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791
95	.8455	1.0367	1982	367.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159
100	1.014	1.0435	1673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549
110	1.433	1.0516	1210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387
120	1.985	1.0603	891.9	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296
130	2.701	1.0697	668.5	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269
140	3.613	1.0797	688.9	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299
150	4.758	1.0905	392.8	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379
160	6.178	1.1020	307.1	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502
170	7.917	1.1143	242.8	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663
180	10.02	1.1274	194.1	762.09	2383.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857
190	12.54	1.1414	156.5	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.232	6.5079
200	15.54	1.1565	127.4	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2763.2	2.3309	6.4323
210	19.06	1.1726	104.4	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585
220	23.18	1.1900	86.19	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861
230	27.95	1.2088	71.58	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146
240	33.44	1.2291	59.76	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437
250	39.73	1.2512	50.13	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730
260	46.88	1.2755	42.21	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019
270	54.99	1.3023	35.64	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301
280	64.12	1.3321	30.17	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571
290	74.36	1.3656	25.57	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821
300	85.81	1.4036	21.67	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045
320	112.7	1.4988	15.49	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362
340	145.9	1.6379	10.80	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357
360	186.5	1.8925	6.945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.1947	5.0526
374.1	220.9	3.155	3.155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4298	4.4298

CONTINUACION TABLA Nº 8

TEM °C T	PRESION BARES P	VOLUMEN ESPECIFICO		ENERGIA INTERNA		ENTALPIA			ENTROPIA	
		LIQUID SATURA	VAPOR SATUR	LIQUID SATURA	VAPOR SATUR	LIQUID SATURA	EVAPO.	VAPOR SATURA	LIQUID SATURA	VAPOR SATURA
0	0.00611	1.0002	206278	-0.03	2375.4	-0.02	2514.4	2501.3	0.0001	9.1565
4	0.00813	1.0001	157232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514
5	0.00872	1.0001	147120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257
6	0.00935	1.0001	137734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003
8	0.01072	1.0002	120917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501
10	0.01228	1.0004	106379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008
11	0.01312	1.0004	99857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765
12	0.01402	1.0005	93784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524
13	0.01497	1.0007	88124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285
14	0.01596	1.0008	82848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048
15	0.01705	1.0009	77926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814
16	0.01818	1.0011	73333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582
17	0.01938	1.0012	69044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351
18	0.02064	1.0014	65038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123
19	0.02198	1.0016	61293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897
20	0.02339	1.0018	57791	83.95	2402.9	83.96	2554.1	2538.1	0.2966	8.6672
21	0.02487	1.0020	54514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450
22	0.02645	1.0022	51447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229
23	0.02810	1.0024	48574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011
24	0.02985	1.0027	45883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794
25	0.03169	1.0029	43360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580
26	0.03363	1.0032	40994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367
27	0.03567	1.0035	38774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156
28	0.03782	1.0037	36690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946
29	0.04008	1.0040	34733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739
30	0.04246	1.0043	32894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533
31	0.04496	1.0046	31165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329
32	0.04496	1.0050	29540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127
33	0.04759	1.0053	28011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927
34	0.05034	1.0056	26571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728
35	0.05628	1.0060	25216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531
36	0.05947	1.0063	23940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336
38	0.06632	1.0071	21602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950
40	0.07384	1.0078	19523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570
45	0.09593	1.0099	15258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648

TABLA Nº 9

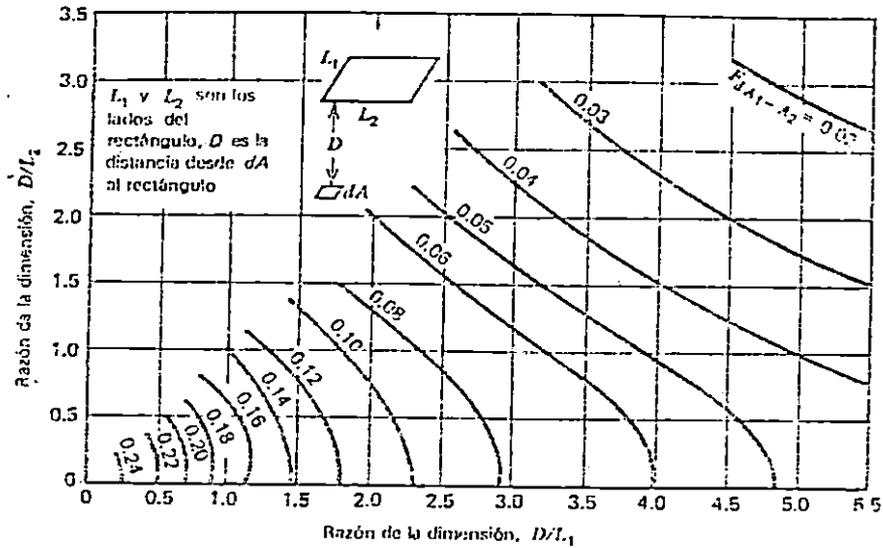
DURACION ASTRONOMICA DEL DIA (N)

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ESTACION DIA DEL AÑO	17	47	75	105	135	162	198	228	258	289	318	344
AHUACHAPAN	11.27	11.58	11.93	12.32	12.64	12.81	12.47	12.47	12.11	11.73	11.38	11.20
FINCA LOS ANDES	11.28	11.58	11.93	12.32	12.64	12.80	12.74	12.47	12.11	11.73	11.38	11.20
LOS PLANES DE MONTECRISTO	11.25	11.56	11.93	12.33	12.66	12.84	12.77	12.49	12.11	11.72	11.36	11.17
CERRO VERDE	11.28	11.58	11.93	12.31	12.64	12.80	12.74	12.47	12.11	11.73	11.39	11.21
ACAJUTLA	11.29	11.59	11.93	12.31	12.62	12.79	12.72	12.46	12.11	11.73	11.40	11.22
SAN ANDRES	11.29	11.59	11.93	12.31	12.64	12.80	12.73	12.47	12.11	11.73	11.39	11.21
SANTA TECLA	11.29	11.58	11.93	12.31	12.63	12.79	12.73	12.46	12.11	11.73	11.39	11.21
OBSERVATORIO	11.29	11.58	11.93	12.31	12.63	12.79	12.73	12.46	12.11	11.73	11.39	11.21
ESTACION MATRIZ	11.29	11.58	11.93	12.31	12.63	12.79	12.73	12.46	12.11	11.73	11.39	11.21
NUEVA CONCEPCION	11.28	11.57	11.93	12.32	12.65	12.82	12.75	12.48	12.11	11.72	11.37	11.19
LAS PILAS	11.25	11.56	11.93	12.33	12.66	12.83	12.77	12.49	12.11	11.72	11.36	11.17
SATA CRUZ PORRILLO	11.30	11.59	11.93	12.30	12.62	12.78	12.71	12.46	12.11	11.74	11.40	11.23

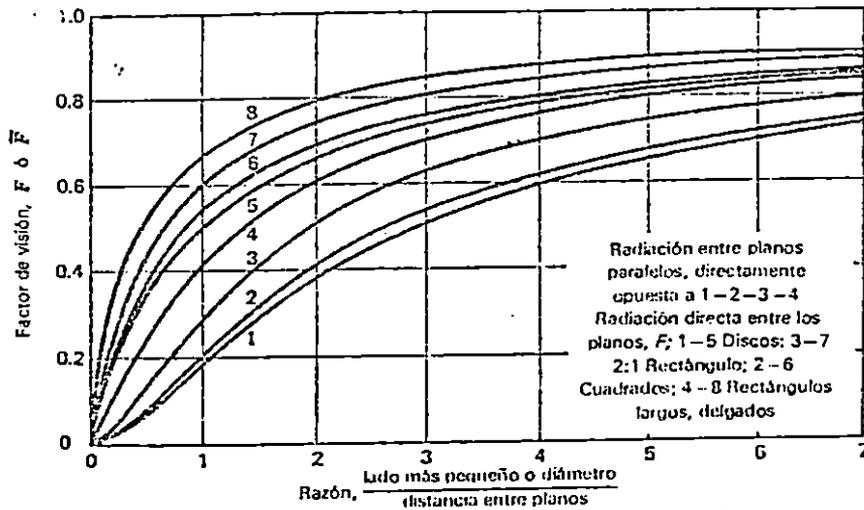
TABLA N.º 10. DENSIDAD DE PRODUCTOS.

PRODUCTO	DENSIDAD (kg/m^3)
ARROZ	476.604
MATZ	745.310
FRIJOL	786.866

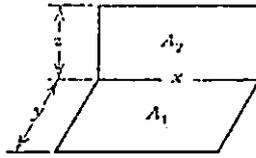
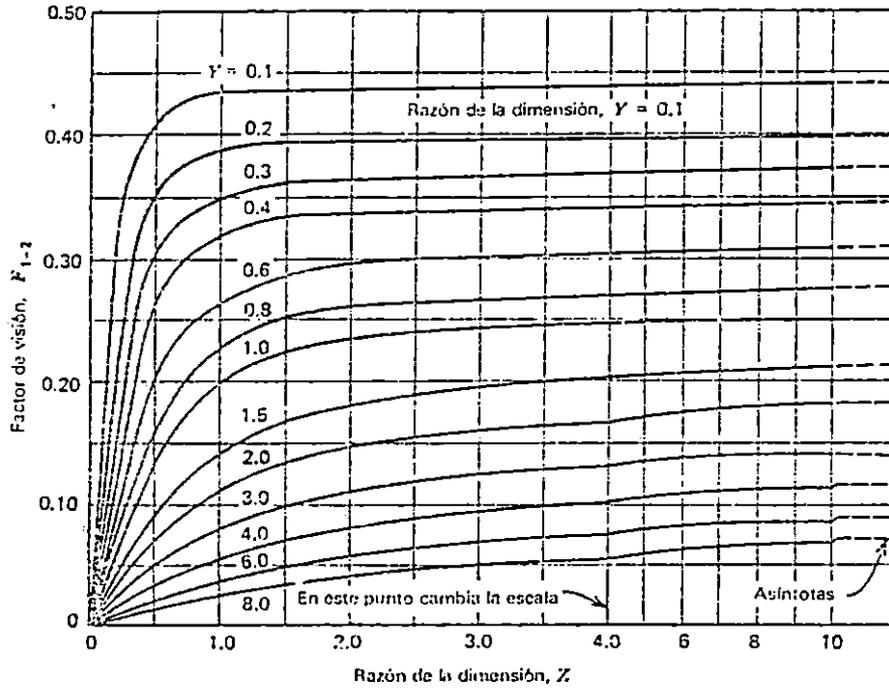
Factor de vista para un elemento plano
 reñcial orientado por debajo de una esqui
 na de un rectángulo finito paralelo.



Factores de vista para cuadrados, rec-
 tángulos y discos.



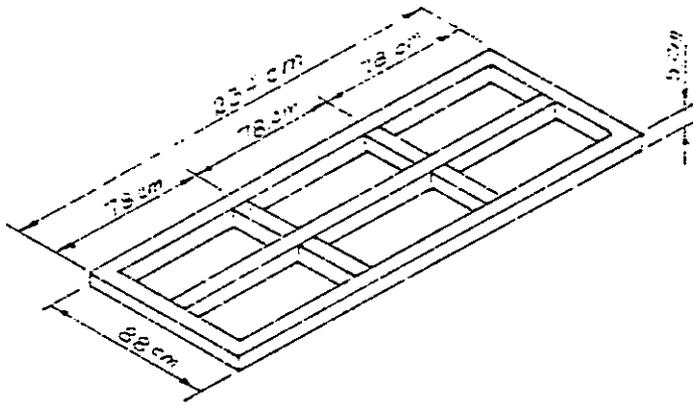
Factores de vista para rectángulos perpendiculares con un lado común.



A_1 = Área en que está basada la ecuación de la razón de transferencia de calor
 $Y = y/x$
 $Z = z/x$

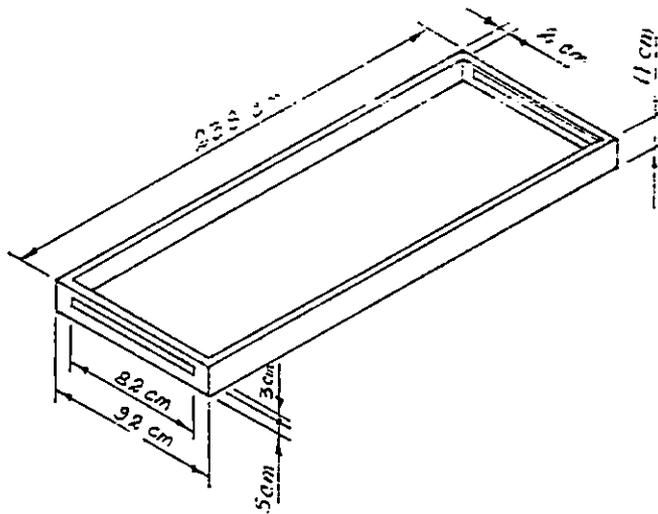
ANEXO III

MANUAL DE CONSTRUCCION DEL
DESHIDRATADOR SOLAR
DE GABINETE.

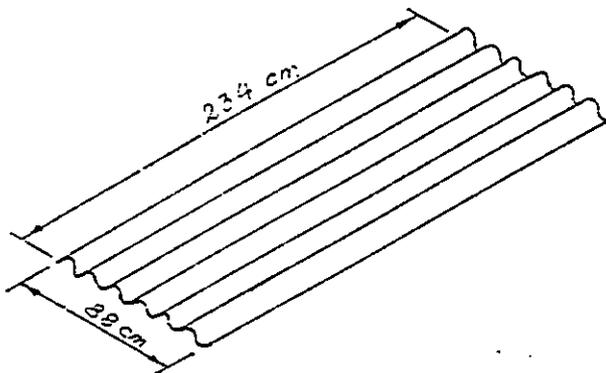


CONSTRUCCION DEL COLECTOR SOLAR.

En el primer lugar, se construye lo que constituye la estructura interna del colector solar que sirve para dar rigidez a éste. La estructura está conformada de manera.

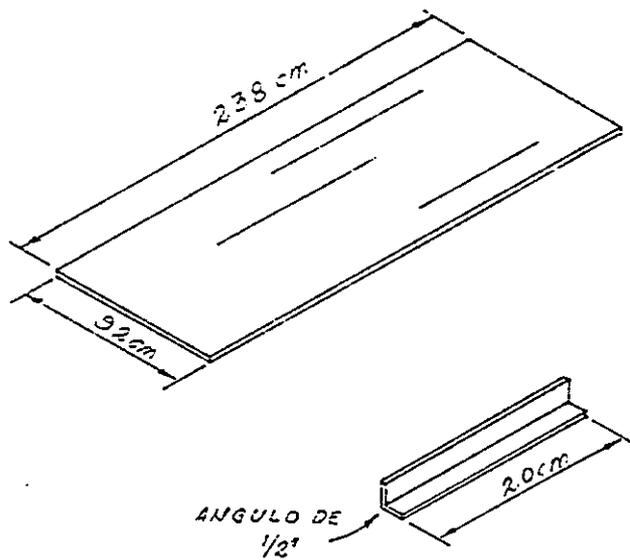


La estructura interna está forrada con lámina lisa galvanizada calibre 32. Las uniones se pueden realizar mediante soldadura blanda o por medio de remaches.



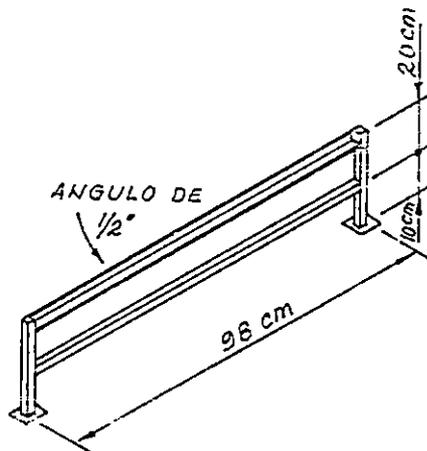
Una lámina acahalada pintada de negro mate desempeñará la función de placa absorbadora del colector solar.

Las medidas se indican en la figura respectiva.



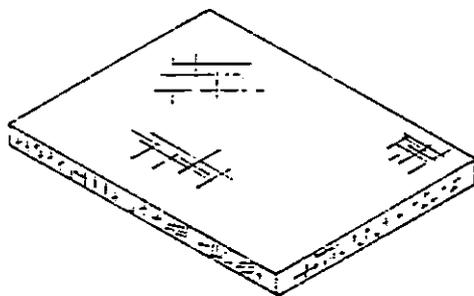
La cubierta transparente la constituye un vidrio de 4mm de espesor.

Para sujetar el vidrio al colector solar se utilizan trozos de ángulo como se indica en esta figura.



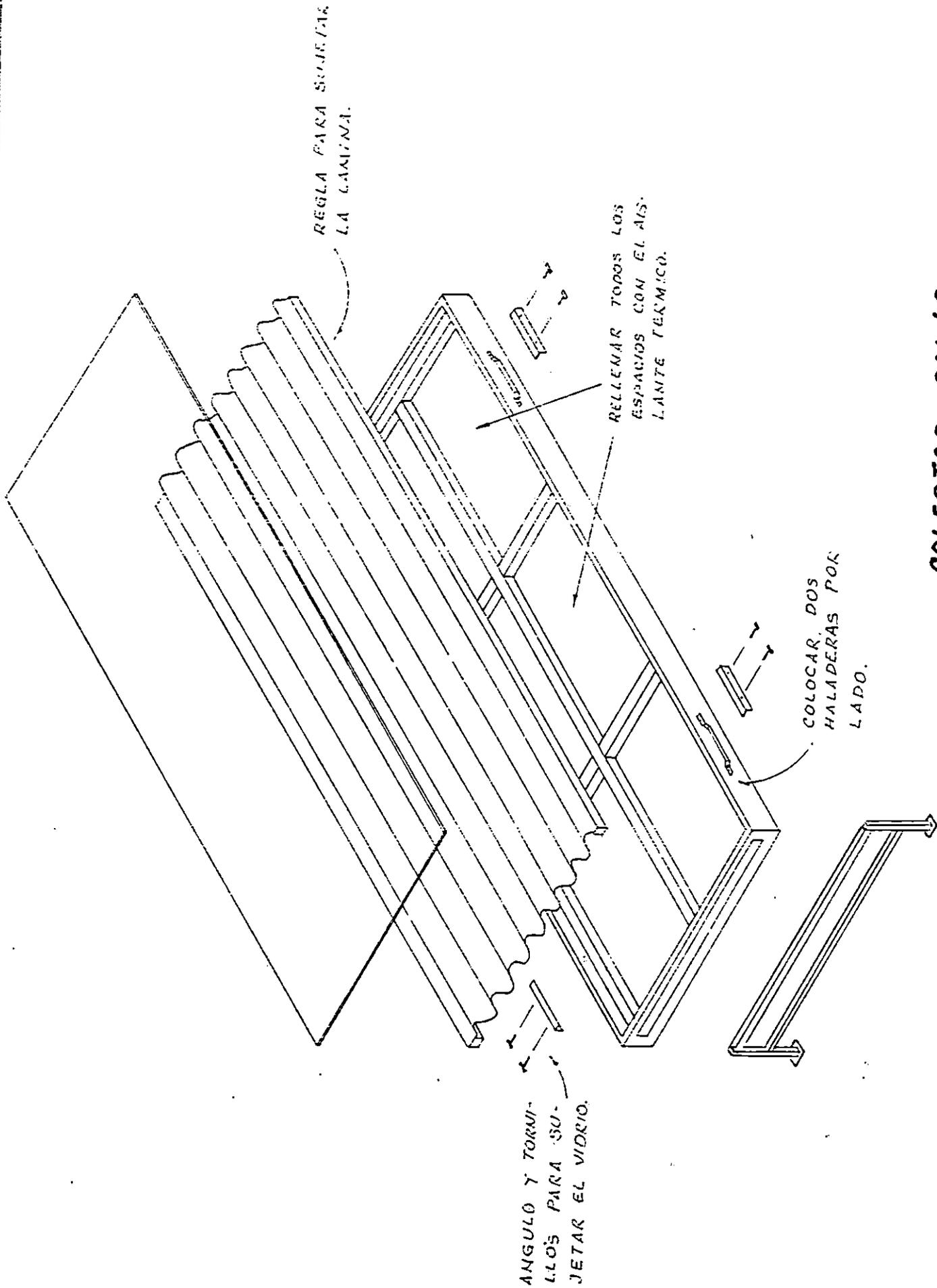
Para la parte delantera del colector solar se construye un apoyo de tubo cuadrado industrial de 1/2 pulgada.

Las uniones se hacen con soldadura eléctrica.



El material aislante puede ser fibra de vidrio, aserrín o viruta de madera el cual se coloca entre los espacios que se forman en la estructura interna.

El ensamble del colector solar se muestra en la figura siguiente.



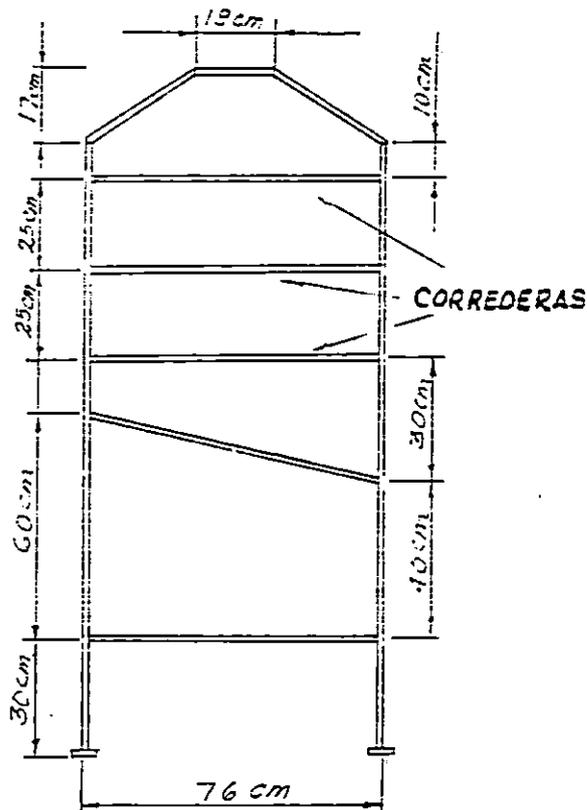
REGLA PARA SOSTENER LA LAMPARA.

RELLENAR TODOS LOS ESPACIOS CON EL AISL. LANTE TECNICO.

COLOCAR DOS HALADERAS POR LADO.

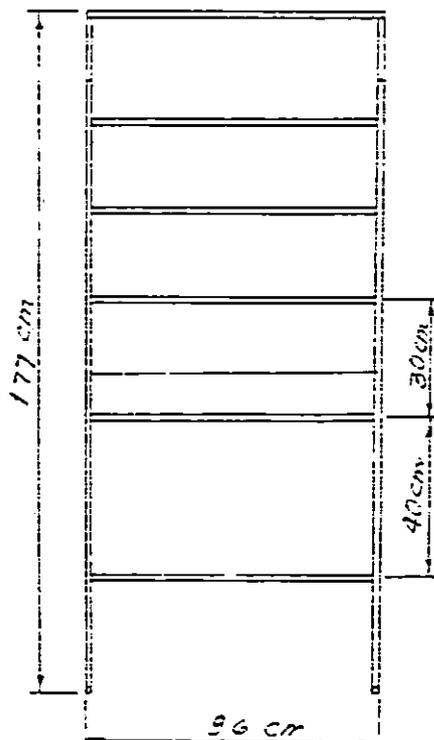
ANGULO Y TORNILLOS PARA SOSTENER EL VIDRIO.

COLECTOR SOLAR.

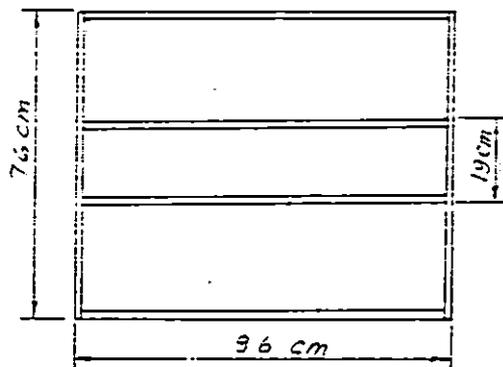


CONSTRUCCION DEL GABINETE.

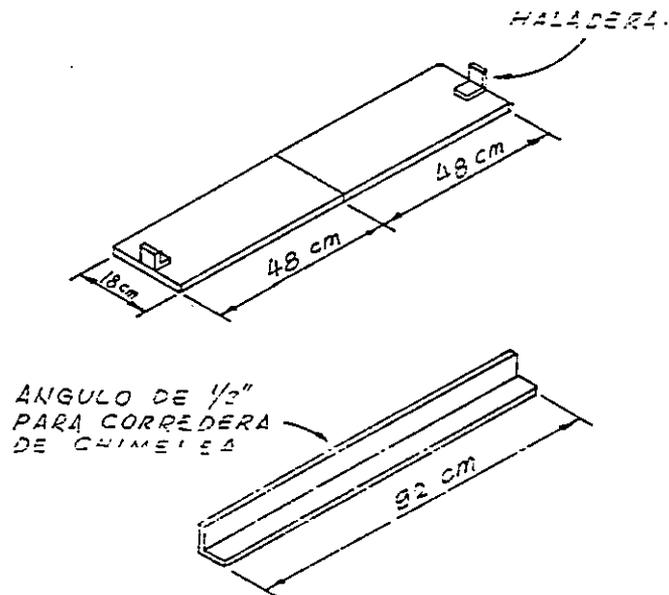
La estructura del gabinete se construye de tubo industrial cuadrado de 3/4 de pulgada. Para las correderas de las gavetas se utiliza ángulo de 3/4 de pulgada. Todas las uniones se realizan con soldadura eléctrica.



En esta figura se está mostrando una vista de la estructura del gabinete para tener una mayor claridad del diseño. Esta es la parte por donde se acopla el colector solar.

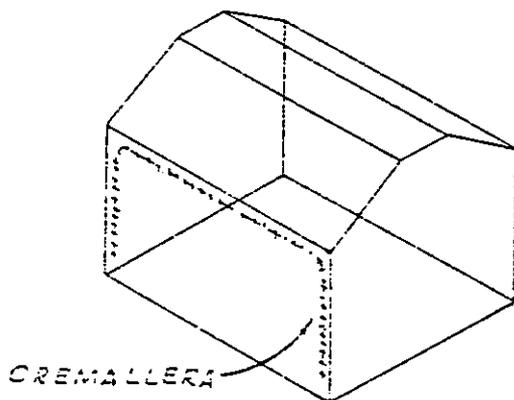


Esta figura represente una vista superior de la estructura del gabinete donde se muestra el dimensionamiento para la salida del aire o chimenea.



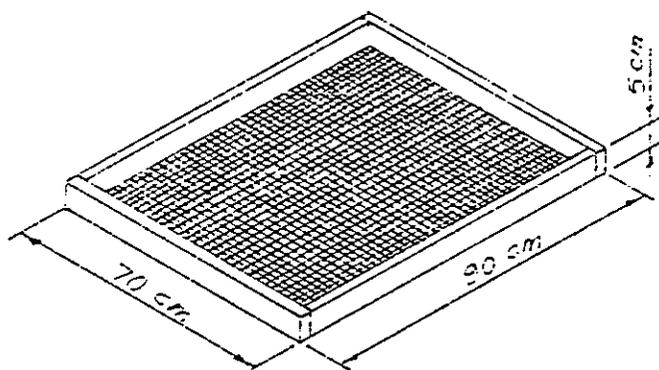
La puerta de la chimenea se construye de lámina de 1/32 de pulgada.

La puerta está formada por dos secciones como se indica en la figura.



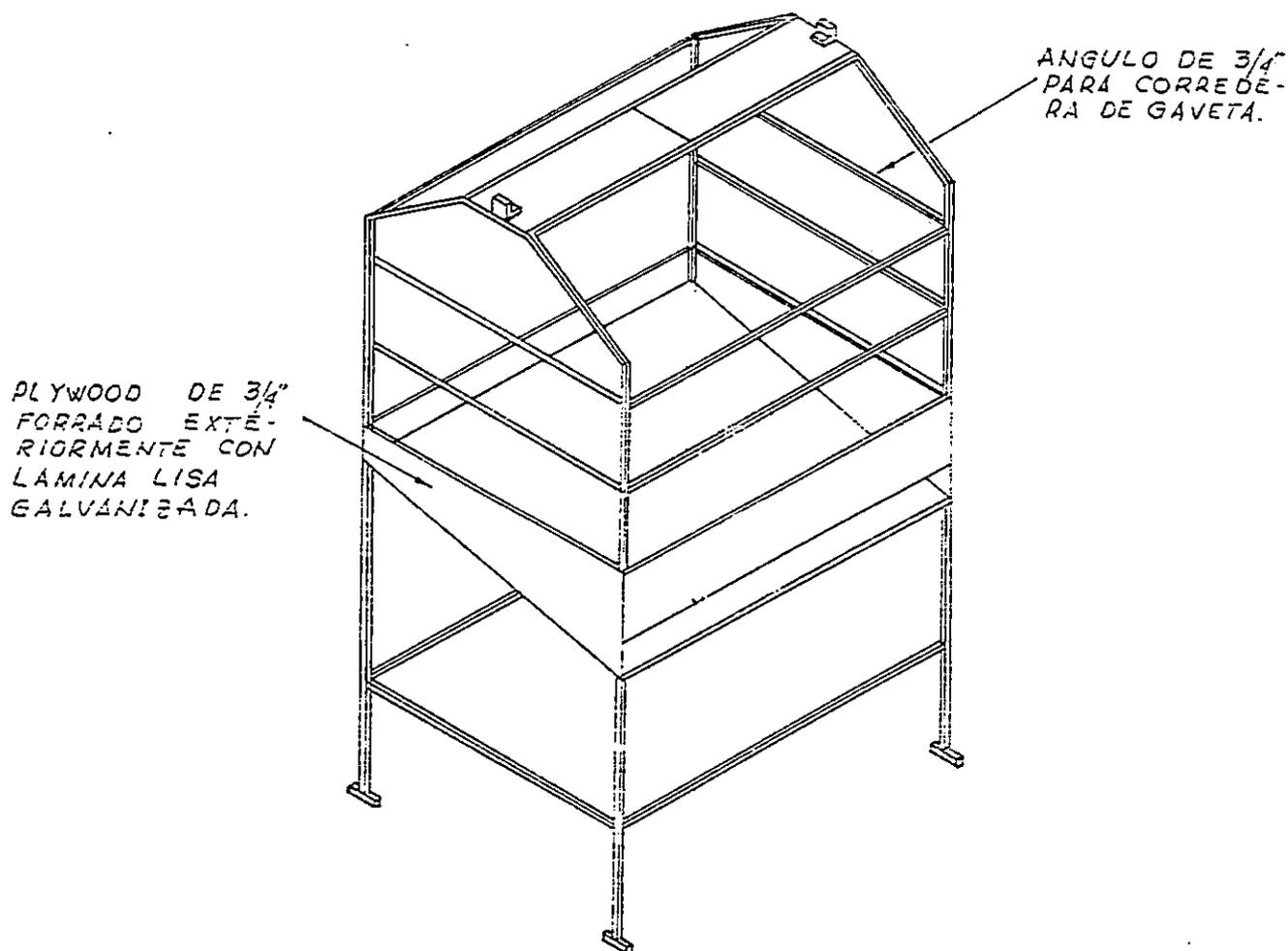
La cubierta transparente es de plástico común.

El acceso al interior del gabinete se hace por medio de un sistema de cremallera.

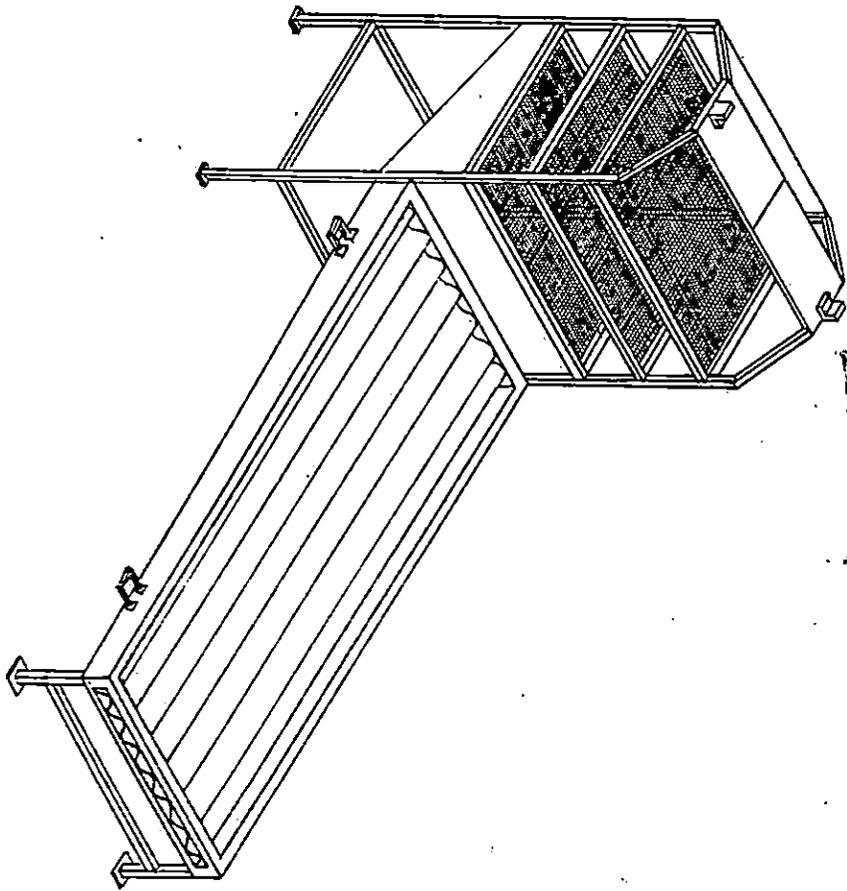


Los depósitos del producto se construyen con reglas de madera y ce-
dezo metálico.

El gabinete y el deshidratador solar de gabinete se muestran en las siguientes figuras.



GABINETE DEL DESHIDRATADOR.



DESHIDRATADOR SOLAR DE
GABINETE.