INDICE

LA REVISTA SOLAR

PUBLICACION DE LA ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES) NUMERO 22 OTOÑO 1992
SECCION MEXICANA DE LA *INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY* (ISES)

Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el Secado Solar de productos agropecuarios.

Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.

Precio Público N$ 6 .00

ELAUTENTICO

Módulomr
SOlar

"EL MEJOR"

Calentamos desde una regadera
hasta una alberca de olas ...

Los únicos con cubierta doble
de policarbonato

GARANTIZADO !!

Tels: (73) 12•36•07
Fax: (73) 14•08•82

Instalados más de 80,000 m^2 desde 1975, en hoteles, deportivos, industrias, ...

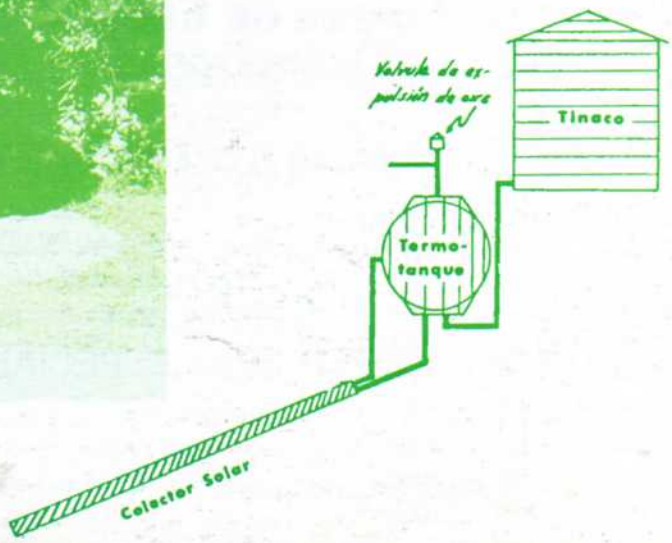
LA EMPRESA CON MAYOR EXPERIENCIA EN INGENIERIA SOLAR

Privada de Chiapas Nº 105
62050 Cuernavaca, Mor.
Tel. (91-73) 14-30-42
Fax. (91-73) 18-82-40

ASHMOR

Hda. de Lira Nº 324
78180 Queretaro, Qro.
Tel. (91-42) 15-23-27
Fax. (91-42) 15-23-27

COLECTORES SOLARES Y TERMOTANQUES



EDITORIAL

Durante la XVI Reunión Nacional de Energía Solar celebrada en la Ciudad de Oaxaca rindió protesta el VII Consejo Directivo de Asociación Nacional de Energía Solar, cuyas funciones durarán los próximos dos años tal y como lo dictan los estatutos de nuestra asociación.

Una de las metas de este Consejo es el de elevar cada vez más la calidad de la Revista Solar, con objeto de promover el interés de los asociados y el público en general de participar con la publicación de artículos dentro de esta y realzar el mensaje que estos tratan de enviar al lector.

Es justo mencionar que hemos recibido comentarios que nos llenan de satisfacción y nos alientan a continuar con esta labor de difusión tratando a toda costa de lograr una publicación de calidad, dirigida no sólo a especialistas, sino también a un número cada vez mayor de personas que de alguna manera encuentran en el uso de las fuentes renovables de energía un futuro promisorio.

En este número de la Revista Solar, presentamos dos artículos que esperamos sean de interés para nuestros lectores. El primero muestra el trabajo desarrollado dentro de una institución educativa y de investigación nacional en aspectos relacionados con el secado de solar de productos agropecuarios. Este tipo de tecnología de secado puede ser ampliamente utilizado en nuestro país contribuyendo a eficientar el proceso productivo de alimentos agrícolas.

Por lo que respecta al segundo artículo, en él se presentan algunas ideas en relación a la estimación de los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos, aspecto cuyo interés ha cobrado auge en los últimos años, razón por la cual durante la gestión del pasado Consejo Directivo fue creada la vocalía de ENERGIA y MEDIO AMBIENTE dentro de nuestra asociación.

Por último, estimado lector, sólo nos resta enviarle un cordial saludo y una atenta invitación a participar en los siguientes números de esta su Revista Solar.

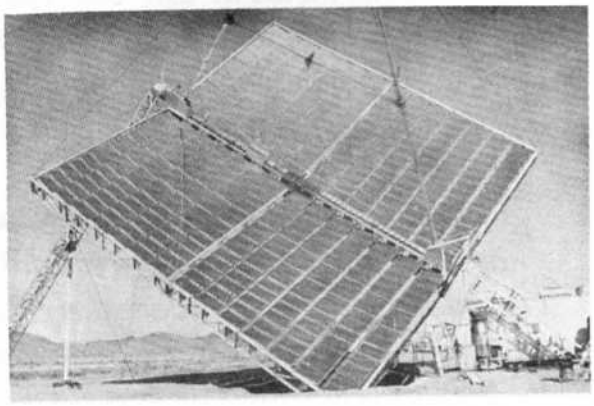
Ricardo Saldaña Flores
Editor

SOLARTRONIC

MORELOS SUR 1301-E, CUERNAVACA, MOR.
TEL. (73) 18-97-14 TEL./FAX (73) 18-45-06

Ingeniería, Investigación Tecnológica y Venta de Equipos para:

- EVALUACION DEL RECURSO SOLAR
- ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
- PLANTAS TERMOSOLARES
- CLIMATIZACION NATURAL
- ENERGIA EOLICA



"EN LA ERA DE LA ENERGIA SOLAR... SOLARTRONIC ESTA CON USTED"

LA REVISTA SOLAR

Una publicación para los interesados en el Sol y otras energías renovables

Suscríbase

Durante varios años, LA REVISTA SOLAR fue una publicación exclusiva para los miembros de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). Hoy en día, nuestra nueva política de difusión permite la suscripción para todo el público, con lo cual un número mayor de personas puede introducirse al mundo de la energía solar y otras fuentes renovables.

Costo por un año (cuatro números) N$ 24.00

Para mayor información, escriba sus datos en el siguiente cupón, recortelo y envíelo a:
ANES, Apartado Postal 20-633,
01000 México, D.F.

NOMBRE _____
APELLIDO PATERNO APELLIDO MATERNO NOMBRE

DOMICILIO _____
CALLE NUMERO

_____
NUMERO INTERIOR COLONIA CODIGO POSTAL

_____
CIUDAD ESTADO TELEFONO

ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES)

VII Consejo Directivo
Presidente
Dr. Juan José Ambriz García
Vicepresidente
Ing. Enrique Caldera Muñoz
Tesorero
Dr. Yasuhiro Matsumoto K.
Secretario Gral.
Dr. Claudio Estrada Gasca

SECRETARIAS:
Relaciones
M.C. Enrique Barrera Calva
Organización
Fis. Adolfo Finck Pastrana
Publicaciones
M.I. Minerva GuadalupeVargas Vega
Vocalías
Ing. Ricardo Saldaña Flores
Asuntos Industriales
Ing. Enrique Ramoneda Retif
Asuntos Internacionales
M.I. Eduardo Rincón Mejía
Secciones Regionales
Arq. Juan Manuel Rodríguez Torres

Editor
Ing. Ricardo Saldaña Flores

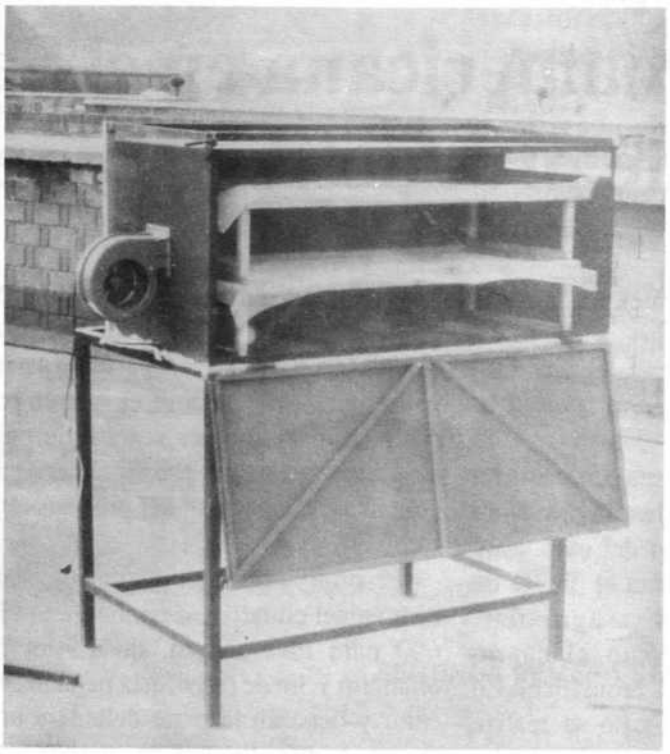
Diseño y Formación
Sulamita Ferrán Z. y Francisco Villaseñor R.

Impresión
Impresora Ambriz
Tel. 633-83-32 y 633-34-60
México, D.F.

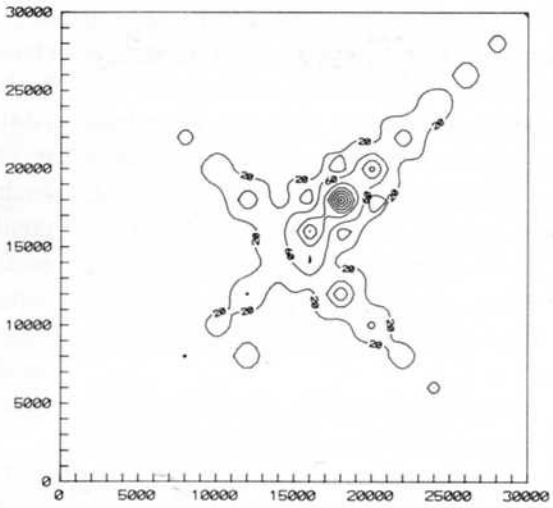
LA REVISTA SOLAR, publicación trimestral de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) de México. Apartado Postal 20-633, 01000 México, D.F. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de la Asociación. Certificado de Licitud de Título núm. 2148. Certificado de Licitud de Contenido núm. 1357. Se autoriza la reproducción de la información si se cita la fuente.

PORTADA
Estación anemométrica empleada en estudios de contaminación atmosférica.
Cortesía del Editor.

SUMARIO



Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el Secado Solar de productos agropecuarios. **4**



Modelación de la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. **3**

Experiencias de la Universidad Iberoamericana en el Secado Solar de productos agropecuarios

Por : Fis. Adolfo Finck Pastrana *

Túnel sin estructura para el secado solar de café.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la industria cafetalera en México es el secado del café. Para México el café representa el 38.7% de sus exportaciones agrícolas, consolidándose así como el cuarto productor mundial del aromático. En México, el secado del café se realiza principalmente en dos formas, la primera es el secado tradicional en patios de cemento y la segunda con secadoras de gran capacidad y que trabajan con diesel. El primer tipo se enfrenta sobre todo al problema del tiempo de secado, ya que las zonas de producción son bastante húmedas y el secado puede tardar dos o más semanas. El segundo tipo representa un costo considerable para el pequeño o mediano productor, además de ser riesgoso, puesto que las máquinas secadoras funcionan con diesel y al haber alguna fuga, se puede contaminar el café. En general se recomienda que por lo menos la primera etapa del secado se efectúe al sol, pues de esta forma se conservan mejor las propiedades del café.

Un factor social de gran importancia en este estudio es que cuando el agricultor vende su producto al Instituto Mexicano del Café (INMECAFE), órgano gubernamental encargado de la comercialización del café, lo hace en "cereza" (recién cosechado), lo que representa una menor ganancia que cuando lo venden ya seco, al tener así un valor agregado. De aquí el interés por desarrollar un secador versátil de bajo costo que aumente principalmente la velocidad y capacidad del proceso.

El prototipo experimental consiste en un túnel cilíndrico de polietileno PF-600 para invernadero, de 1.90m de diámetro y 3m de largo, está pegado con calor y tiene en la parte delantera una puerta y una compuerta, ambas con cierres de contacto para facilitar el acceso, la compuerta tiene la finalidad de facilitar la entrada a la cámara de secado, en la parte trasera se tiene una manguera del mismo plástico por donde se realiza el inflado del túnel. El interior es la cámara de secado en la cual se encuentran los dispositivos en donde se colocará el café, en nuestro caso, se colocaron 8 charolas hechas con madera y tela tipo malla (la cual puede encontrarse con recubrimiento de plástico) de 0.5m de ancho por 1m de largo y en las cuales es posible colocar hasta 5 kg de café escurrido, ya que se recomienda que las capas de café no excedan de cuatro granos superpuestos, por charola, las cuales se pueden colocar hasta seis en estiba en cuatro o cinco estibas.

Durante el proceso de secado se efectuaron mediciones de radiación solar incidente, temperaturas internas de bulbo seco y de bulbo húmedo. La radiación solar se midió con una celda fotovoltáica cuya constante de calibración es de 14.98 mV/(W/m^2), las temperaturas se midieron con dos termopares de cobre-constantan que respondieron a la curva de calibración mostrada en la **Gráfica 1,** cuya ecuación es:

$$T=23.3626\ (^{o}C/mV)\ V + 5.0665\ ^{o}C$$

Todo se midió con un milivoltímetro "SOAR" modelo MC-535 A.

Las medidas se realizaron a intervalos de tiempo regulares. Durante todo el proceso de medición, el ventilador se mantuvo funcionando a un 30% de su capacidad.

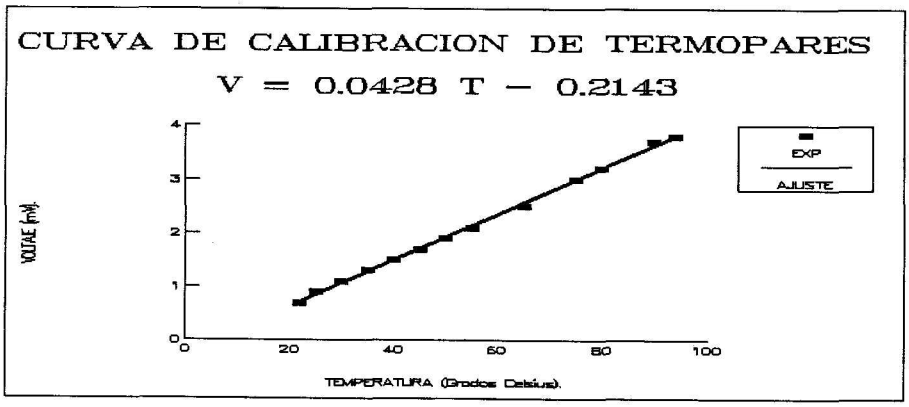
Se han realizado hasta el momento dos ensayos experimentales, el primero con 155 kg de café "cereza" lo que equivale aproximadamente a 80 kg de café escurrido, el segundo ensayo se efectuó con 100 kg de café "cereza", 50 kg aproximadamente de café escurrido.

El comportamiento, en función del tiempo, de las tres variables mencionadas se muestra en las gráficas 2 a 9.

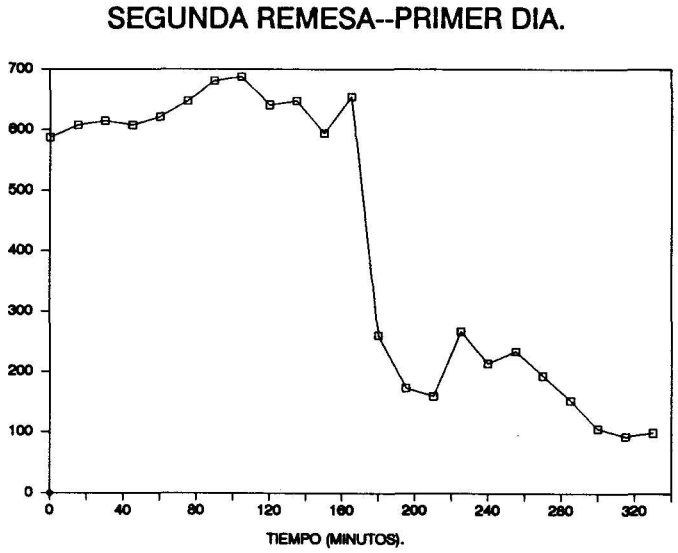
Uno de los principales fenómenos observados fue que la temperatura interior del bulbo seco mantenía una diferencia aproximada de 15°C sobre la temperatura exterior aún con radiaciones bajas, de hecho se observó un comportamiento lineal entre las temperaturas interiores y la radiación solar incidente.

* Universidad Iberoamericana
Departamento de Física

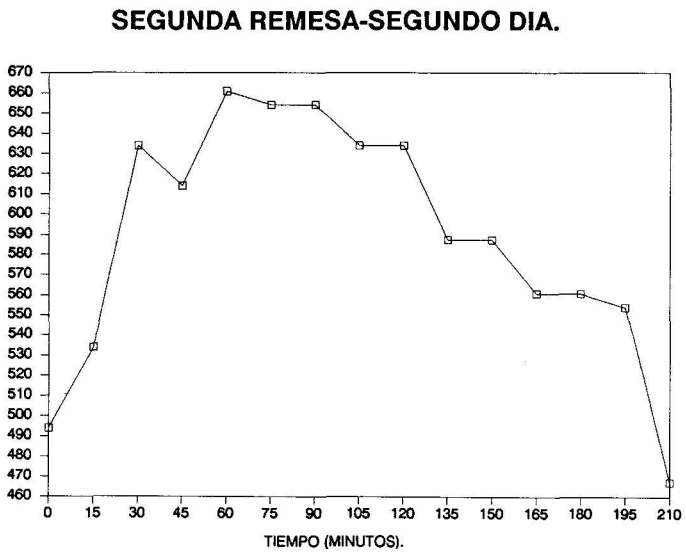
Debemos aclarar que la respuesta de las temperaturas interiores a la radiación no es inmediata, lo que en realidad favorece al proceso, pues aún ocurriendo un cambio brusco en la radiación, debido a nubes generalmente, el proceso no se vé afectado en gran medida.



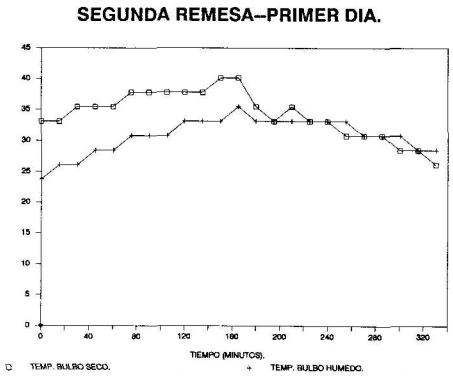
Gráfica 1.- *Curva de calibración de termopares de Cobre-Constantan. Sin amplificación.*



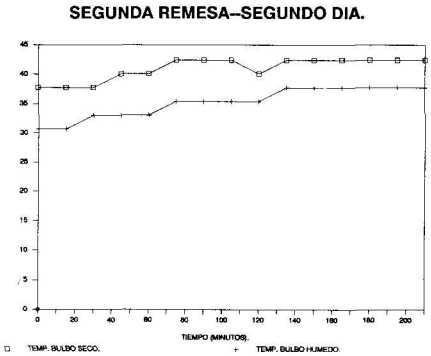
Gráfica 2.- *Radiación solar durante el primer día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



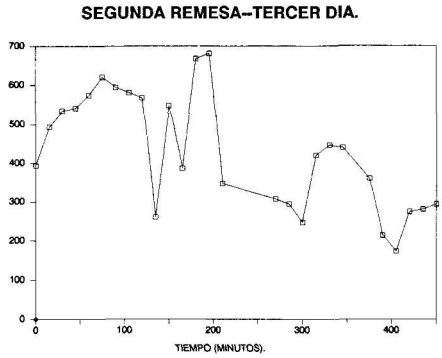
Gráfica 4 .- *Radiación solar durante el segundo día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



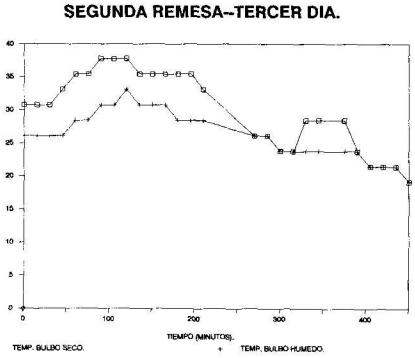
Gráfica 3 .- *Temperaturas interiores bulbo seco y bulbo húmedo durante el primer día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



Gráfica 5 .- *Temperaturas interiores bulbo seco y bulbo húmedo durante el segundo día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



Gráfica 6 .- *Radiación solar durante el tercer día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



Gráfica 7 .- *Temperaturas interiores bulbo seco y bulbo húmedo durante el tercer día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*

A lo largo del segundo proceso de secado se midieron las pérdidas de masa de muestras separadas en cada una de las charolas, agrupando estas medidas en horas netas de insolación, se obtienen los datos mostrados en la **Tabla 1;** de aquí se graficó rapidez vs. horas y se obtuvo la **Gráfica 10** de velocidad de secado.

Podemos dividir esta gráfica en tres partes: durante las primeras cuatro horas la razón de pérdida disminuye, no es constante como en otros productos, madera por ejemplo; las siguientes cuatro se caracterizan por pérdidas aleatorias generalmente alternando altas y bajas y finalmente el proceso parece estabilizarse aunque, evidentemente conforme mayor es el tiempo, menor es la rapidez de secado. Dicha gráfica es el modelo general de las muestras estudiadas.

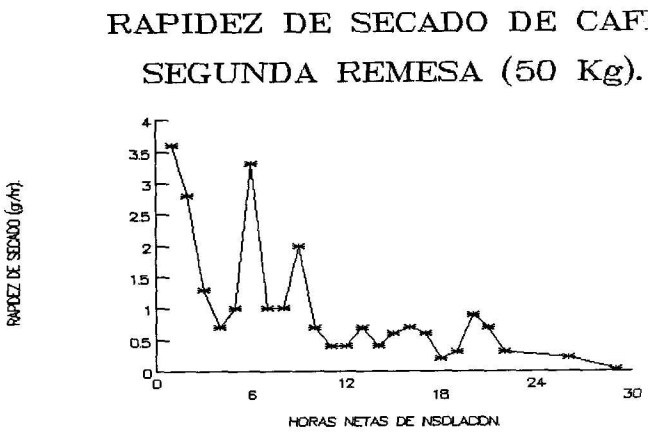
Uno de los principales objetivos de este trabajo, es la obtención de las curvas de secado humedad (H) vs. tiempo (t) del producto. Para tal efecto se destilaron muestras de 10 gr aproximadamente durante todo el proceso de secado, generalmente la muestra se obtenía al final de cada jornada. La destilación se realizó usando xileno como solvente y mediante un dispositivo común de destilación.

Gráfica 8 .- *Radiación solar durante el cuarto día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*

TIEMPO (horas)	MASA (gramos)	M_i-M (i-1) (gramos)	RAPIDEZ (gr/hr)
0.00	46.40	0.00	0.00
1.00	42.80	3.60	3.60
2.00	40.00	2.80	2.80
3.00	38.70	1.30	1.30
4.00	38.00	0.70	0.70
5.00	37.00	1.00	1.00
6.00	33.70	3.30	3.30
7.00	32.70	1.00	1.00
8.00	31.70	1.00	1.00
9.00	29.70	2.00	2.00
10.00	29.00	0.70	0.70
11.00	28.60	0.40	0.40
12.00	28.20	0.40	0.40
13.00	27.50	0.70	0.70
14.00	27.10	0.40	0.40
15.00	26.50	0.60	0.60
16.00	25.80	0.70	0.70
17.00	25.20	0.60	0.60
18.00	25.00	0.20	0.20
19.00	24.70	0.30	0.30
20.00	23.80	0.90	0.90
21.00	23.10	0.70	0.70
22.00	22.80	0.30	0.30
26.00	21.90	0.90	0.23
29.00	21.80	0.10	0.04

Tabla 1 .- SECADO DE GRANO EN CAFE.

Gráfica 9 .- *Temperaturas interiores bulbo y seco húmedo durante el cuarto día de secado. Segunda remesa, 50 kg de café escurrido.*



Gráfica 10.- *Rapidez de secado durante el segundo proceso.*

Como se observa en las **Gráficas 11 y 12,** la pérdida de humedad en base seca responde a un decaimiento exponencial cuyas ecuaciones son:

Primera remesa: $H = 87.3\ e^{-0.466*t}$

Segunda remesa: $H = 113.3\ e^{-0.0759*t}$

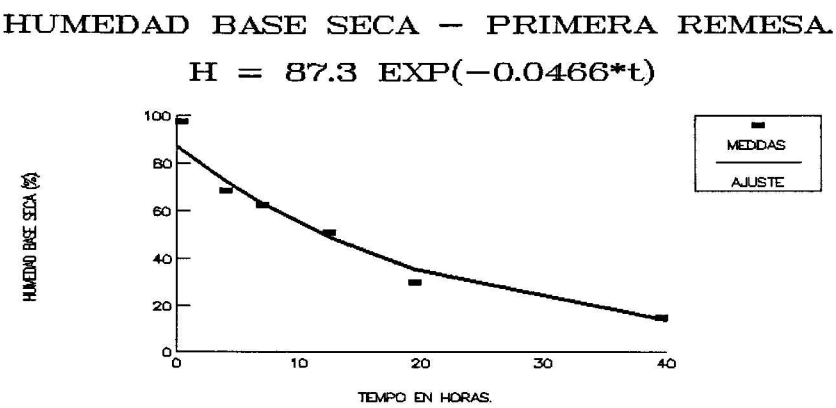
La humedad base seca del café no debe ser menor del 12% esto garantiza una buena calidad para seguir con su proceso de comercialización. En la primera remesa se llegó a un 14% de humedad en 32 horas y en la segunda remesa se obtuvo un 10% en 40 horas netas de insolación donde la radicación media no disminuyó de 500 W/m². Las muestras se tomaron aleatoriamente sin importar la colocación de las charolas observándose que la pérdida de humedad era prácticamente la misma en todas las charolas, en algunos casos se analizaron muestras al inicio de la jornada no observándose incremento de humedad respecto a la obtenida al final de la jornada anterior.

La capacidad del túnel está en función del número de charolas disponibles, no se recomienda apilar más de cinco en cada columna.

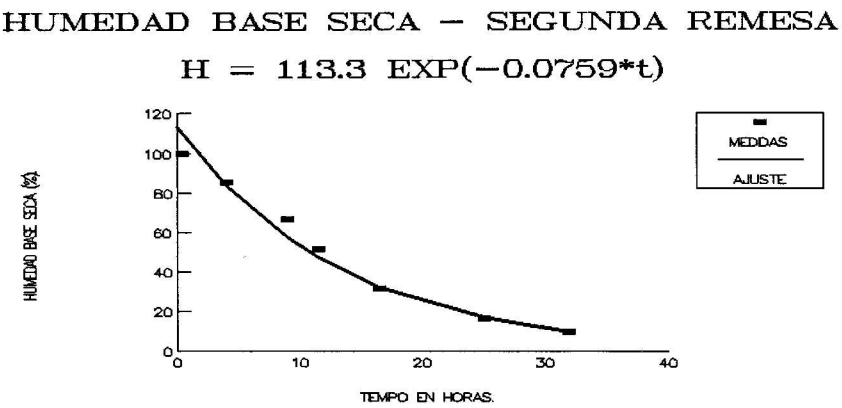
En la ciudad de México la humedad del ambiente es de alrededor de 20% en primavera y la radiación difícilmente disminuye de 500 W/m² durante las horas de insolación seis horas diarias por lo menos, bajo esas condiciones el secado se realiza en cinco días aproximadamente pues la reabsorción nocturna es nula.

El flujo de aire es indispensable para llevar fuera del túnel la humedad extraída del grano, sin el flujo, la condensación de las paredes internas es inmediata sobre todo al principio del proceso donde la humedad del grano es del 100% o más.

En zonas de mayor humedad relativa, la temperatura interior del túnel difícilmente excedería la obtenida durante los procesos descritos anteriormente, esto en realidad favorece el secado en lugar de perjudicarlo, pues las temperaturas demasiado altas, como las que se alcanzan en secadoras industriales hacen quebradizo el grano.



Gráfica 11 .- *Curva de secado Humedad Base Seca vs. Tiempo para el primer proceso.*



Gráfica 12 .- *Curva de secado Humedad Base Seca vs. Tiempo para el segundo proceso.*

Una temperatura controlada aunque no muy elevada (50 °C a lo sumo), favorece más al secado de café que una temperatura alta.

Hasta ahora nuestros resultados concuerdan con las recomendaciones dadas para el secado del café en el sentido de no tener temperaturas superiores a 50 °C y tener alrededor de 50 horas efectivas de insolación ya que estas dos variables inciden directamente sobre la calidad del café.

Pruebas de campo.

El secado del café en México enfrenta su principal inconveniente al coincidir la temporada de lluvias con la temporada de cosecha. El secado se realiza generalmente en patios de cemento donde el tiempo del proceso depende de las condiciones climatológicas. Se pretende optimizar el proceso solar colocando el grano de café en charolas dentro de un túnel de plástico especial transparente para producir efecto invernadero. El incremento de la temperatura interior, un flujo controlado de aire a través del túnel y la protección en contra de las condiciones climatológicas adversas, producen un secado rápido y uniforme.

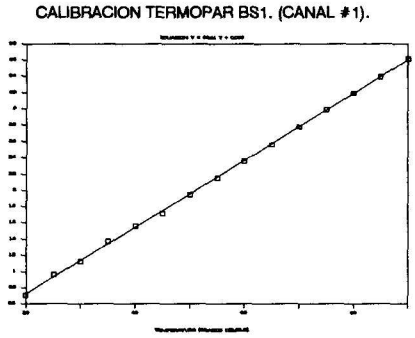
En este estudio se presentan los datos obtenidos durante las pruebas de campo

efectuadas en un campo experimental de INMECAFE ubicadas en Iztacoaco, Ver. Durante estas pruebas se encontraron condiciones climatológicas caracterizadas por una constante precipitación pluvial. Aún así, el perfil de temperaturas dentro del secador mantuvo en promedio una diferencia de +10°C respecto a la del medio ambiente con una radiación solar nunca superior a los 400 W/m². También se observó que el contenido de humedad del grano disminuyó del 120% a 67% base seca en cuatro días, este contenido de humedad es suficientemente bajo para evitar la excesiva actividad acuosa y el desarrollo de hongos.

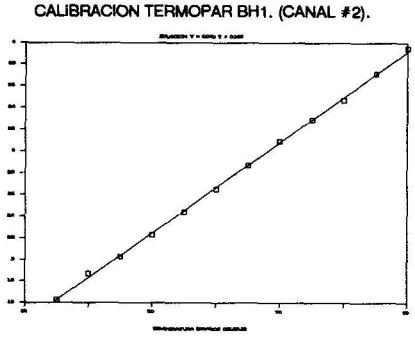
El dispositivo experimental es un túnel de 1.80m de altura y 6m de largo con cierre de cremallera en la cara frontal. En la base de la cara posterior se acopla un ventilador que, a través de una manguera de aproximadamente 9 cm de diámetro, puede generar un flujo de aire hasta de 0.25 m³/s a una velocidad de entrada de 10 m/s. En el interior del túnel se colocan las charolas con aproximadamente 5 kg de café escurrido cada una, apiladas en varias columnas de cinco unidades como máximo.

Para la obtención del perfil interior de temperaturas, se utilizan termopares de cobre-constantan. Las señales generadas por los termopares que son amplificadas 1000 veces, con el objeto de que puedan ser registradas por la tarjeta de adquisición de datos (Multi-Lab Card modelo PCL-712), que a su vez se instala en la microcomputadora.

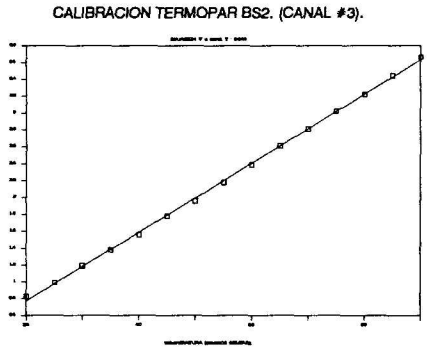
La señal generada por el radiómetro también se somete a una amplificación, pero únicamente de 300 veces. Las curvas de calibración de las señales de los termopares, ya amplificadas, se muestran en las gráficas 13 a 18.



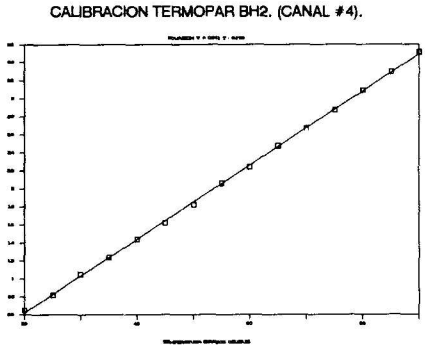
Gráfica 13 .- *Ecuación:* (V = 0.041 T - 0.093)



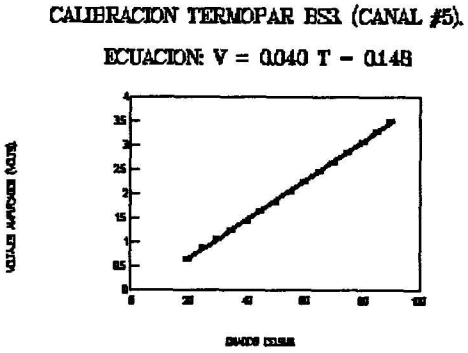
Gráfica 14 .- *Ecuación:* (V = 0.041 T - 0.163)



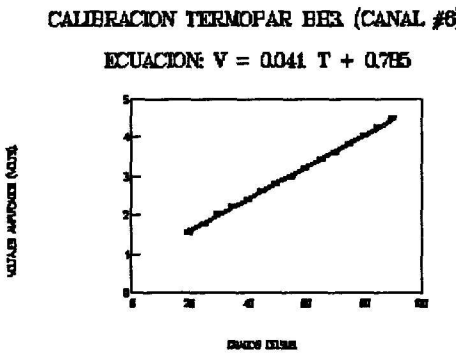
Gráfica 15 .- *Ecuación:* (V = 0.041 T - 0.040)



Gráfica 16 .- *Ecuación:* (V = 0.041 T - 0.198)

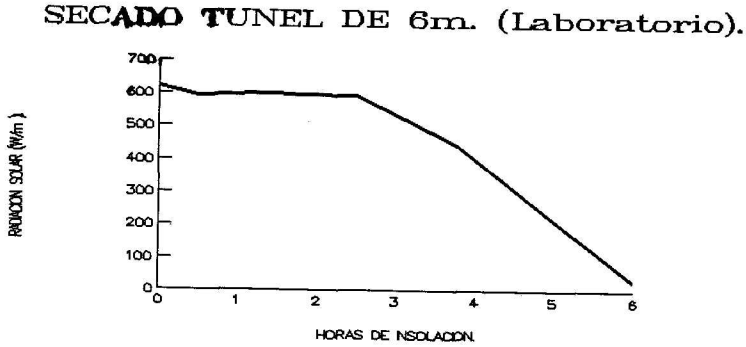


Gráfica 17 .- *Ecuación:* (V = 0.040 T - 0.148)

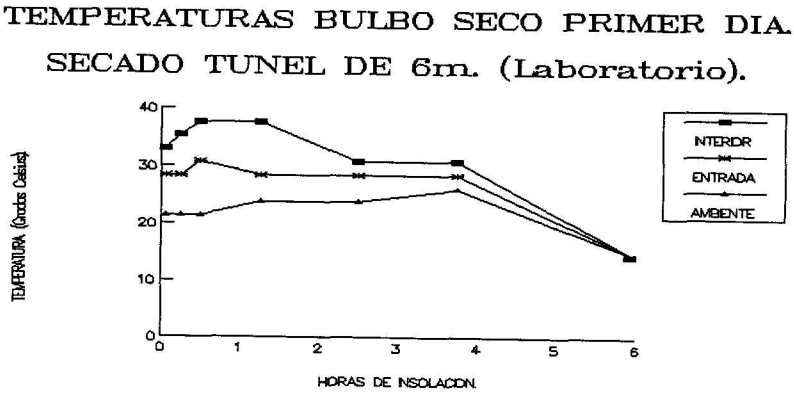


Gráfica 18 .- *Ecuación:* (V = 0.041 T - 0.785)

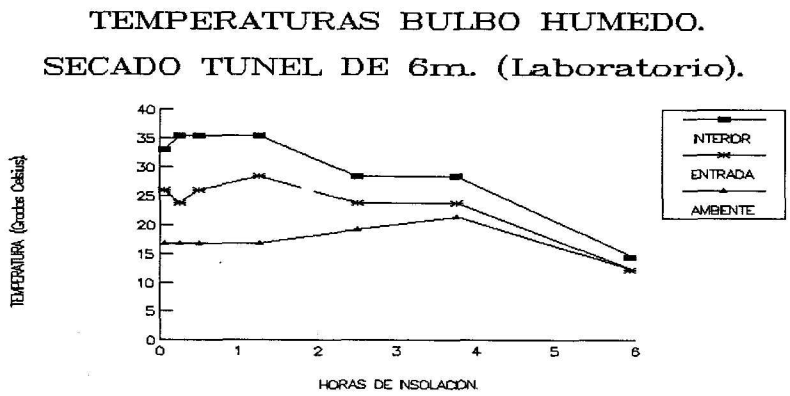
Para verificar el correcto funcionamiento tanto del nuevo túnel como del sistema de adquisición de datos, se realizaron varias pruebas de secado a nivel laboratorio en las instalaciones de la U.I.A. Las condiciones de radiación solar imperantes durante los dos primero días de secado y los perfiles d temperaturas, ambiente, interna y la salida del aire del túnel, tanto d bulbo seco como de bulbo húmedo se muestran en las Gráficas 19 a 24



Gráfica 19 .- *Radiación solar. Primer día de secado. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 20 .- *Perfiles de temperaturas bulbo seco. Primer día. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 21 .- *Perfiles de temperaturas bulbo húmedo. Primer día. Pruebas de laboratorio.*

Así mismo, y para complementar las pruebas de laboratorio realizadas con el túnel de 6m de longitud, se determinaron las curvas de secado correspondientes a este proceso (Ver gráficas 25 y 26).

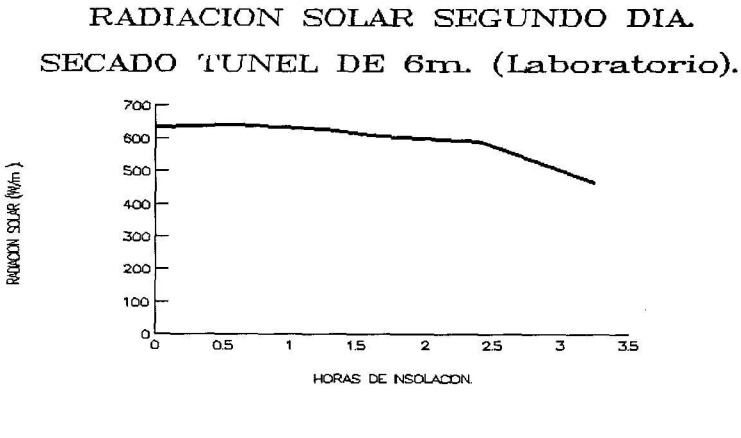
Dado el correcto funcionamiento del sistema de secado, se procedió a la realización de las pruebas de campo en las instalaciones del INMECAFE en Ixtacoaco, Ver.

En el interior del túnel se colocaron 13 charolas apiladas en cuatro columnas, tres de 3 y una de 4 unidades. En cada una de las charolas se depositaron 6 kg de café escurrido aproximadamente. Para la obtención de los perfiles interiores de temperaturas, se colocaron 3 pares de termopares: Canal 1 y Canal 2 a la entrada del aire al túnel; Canal 3 y Canal 4 en el interior del túnel; Canal 5 y Canal 6 a la salida del aire del túnel. Los canales pares miden las temperaturas de bulbo seco y los impares las correspondientes de bulbo húmedo.

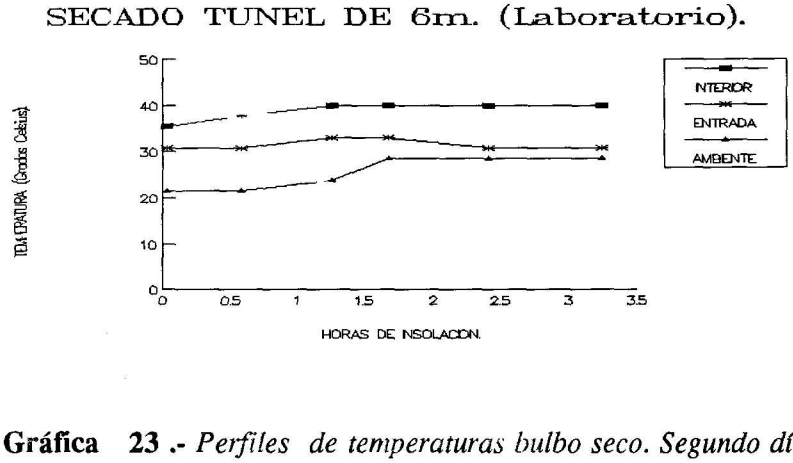
Dadas las condiciones climatológicas imperantes, se decidió mantener el ventilador funcionando a un 40 % de su capacidad, durante todo el proceso de secado, inclusive por las noches. Para la medición de la pérdida de humedad del grano, se tomaron muestras a intervalos regulares para posteriormente destilarlas y obtener la correspondiente curva de secado.

El comportamiento de la radiación solar total incidente durante los últimos tres días de secado, y los perfiles correspondientes de temperaturas, se muestran en las gráficas 27 a 35.

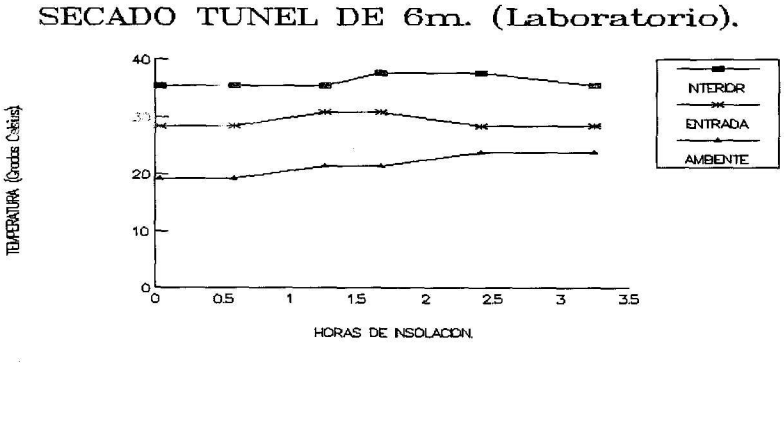
Uno de los principales resultados fue notar que la temperatura de bulbo seco interior del túnel lograba mantener una diferencia de aproximadamente 10° C por encima de la del medio ambiente. Esta observación tiene una particular importancia pues este fenómeno se produjo con radiaciones solares totales que nunca sobrepasaron los 400 W/m².



Gráfica 22 .- *Radiación solar. Segundo día de secado. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 23 .- *Perfiles de temperaturas bulbo seco. Segundo día. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 24 .- *Perfiles de temperaturas bulbo húmedo. Segundo día. Pruebas de laboratorio.*

Para obtener la curva de secado Humedad Base Seca (H) vs. tiempo (t), se recolectaron muestras del grano a intervalos regulares, para su posterior destilación.

La curva de secado finalmente obtenida se muestra en la gráfica 36.

Como se puede observar , la curva también obedece a un decaimiento exponencial cuya ecuación es la siguiente:

$$H = 115^{e\,-0.0058*t}$$

Debemos recordar que la humedad mínima que debe contener el grano es de 12%, sin embargo, cuando la humedad base seca es menor del 70%, la actividad acuosa, causante de la proliferación de hongos, disminuye, de tal suerte que es posible almacenar el grano, en sarandas dentro de alguna bodega con suficiente ventilación. Es por esta razón, que no esperamos que la humedad del grano disminuyera aún más, sin embargo solicitamos a las autoridades de INMECAFE ahí presentes, su ayuda para que siguieran utilizando por su cuenta el sistema y así conocer a ciencia cierta la verdadera utilidad del mismo.

El sistema de secado implementado en este proyecto, sustenta su utilidad en el hecho de proteger al grano de las condiciones climatológicas adversas que generalmente prevalecen, en las zonas cafetaleras mexicanas, cuando se presenta la temporada de cosecha.

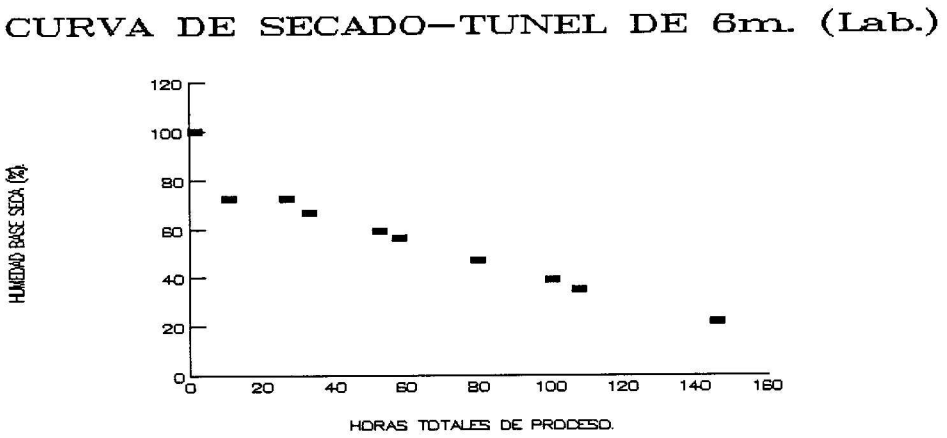
El proceso de secado se puede llevar a cabo con este sistema aún bajo condiciones climatológicas que no permiten el secado tradicional en patios. Cuando se presentan este tipo de condiciones, es recomendable mantener el flujo de aire aún por las noches. De esta forma se logra, en un tiempo razonable, disminuir suficientemente de la humedad del grano para poder almacenarlo sin temor a la producción de hongos. Esto representa una gran ventaja sobre el secado tradicional, pues bajo condiciones de precipitación pluvial ó excesiva humedad relativa ambiental, éste no se puede llevar a cabo.

La capacidad del túnel de secado, está en función del número de charolas que se pueden colocar en su interior, tomando como únicas restricciones el apilarlas en columnas de cinco unidades como máximo, y no colocar más de 6 kg de café escurrido en cada una de ellas. Se considera que este tipo de sistemas debe tener una capacidad ideal al equivalente de dos quintales, 255 lts. de café escurrido aproximadamente, esto implica poder colocar dentro del túnel alrededor de 43 charolas. Si se considera que éstas miden 1m x 0.50m, y que colocadas transversalmente, podría dejarse un espacio de 10 cm entre cada columna, se requeriría una longitud total de 5.40m por esta razón se considera que el túnel de 6m cuenta suficiente capacidad para secar dos quintales de café en una semana como máximo.

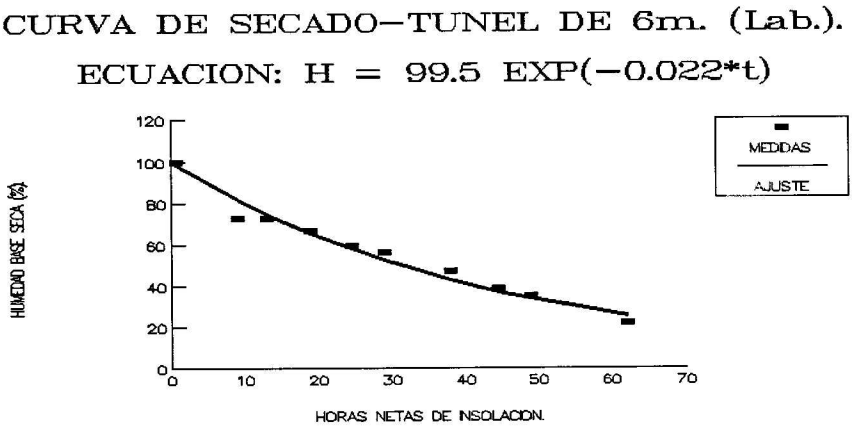
La economía que representa la elaboración de este sistema de secado, lo hace competitivo respecto al secado tradicional en patios pues, requiere de una menor superficie para su instalación y es posible cambiarlo de lugar en un momento dado. Respecto a las secadoras de tipo industrial que trabajan a base de aire calentado por medio de diesel ó algún otro combustible, éstas son excesivamente caras y sólo pueden ser adquiridas por industriales, nunca por pequeños o medianos propietarios, es por esto que el uso del túnel de secado está enfocado, no para una producción industrial, sino para la producción propia del pequeño ó mediano productor.

Secado Solar de chile ancho.

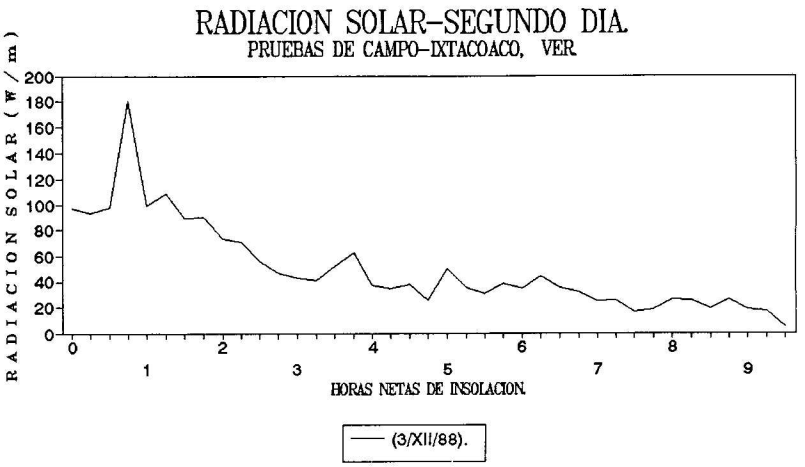
Uno de los principales componentes de la dieta del mexicano es el chile (ají), existe una gran variedad: *serrano, jalapeño, chipotle, pasilla, morita, poblano, ancho, etc.* La forma en que se preparan para su consumo también es muy variada, en algunos casos se requiere deshidratarlos para su conservación y uso posterior. El caso que nos ocupa en este estudio es el del *chile ancho*, parecido al chile morrón popular en todo el mundo,



Gráfica 25 .- *Curva de secado. Horas totales de proceso. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 26 .- *Curva de secado. Horas netas de insolación. Pruebas de laboratorio.*



Gráfica 27 .- *Radiación solar. Segundo día de secado. Pruebas de campo.*

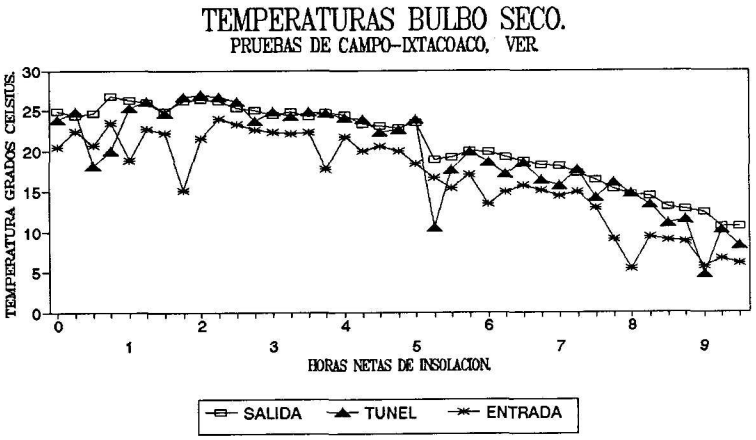
esta variedad se caracteriza por su gran tamaño, de 10 a 15 cm de largo por 8 cm de ancho aproximadamente, es de color marrón oscuro, y se utiliza principalmente, ya seco, en la preparación de platillos regionales como el *mole* y otras salsas.

La forma tradicional de secado de este chile, incluso a nivel industrial, es colocándolo en zanjas a campo abierto sobre grandes extensiones de tierra. Su alto contenido de humedad inicial, 90% base húmeda, y la dependencia de las condiciones climatológicas propician un secado no uniforme y lento, el tiempo de secado bajo estas condiciones varía de 4 a 5 semanas, lo que provoca que en algunas ocasiones se pierda hasta un 30% de la cosecha. Este no es el único problema ya que, al llegar el producto a la industria para su procesamiento, se debe limpiar y escoger, sobretodo quitar el pelo de roedor adherido durante el secado en el campo.

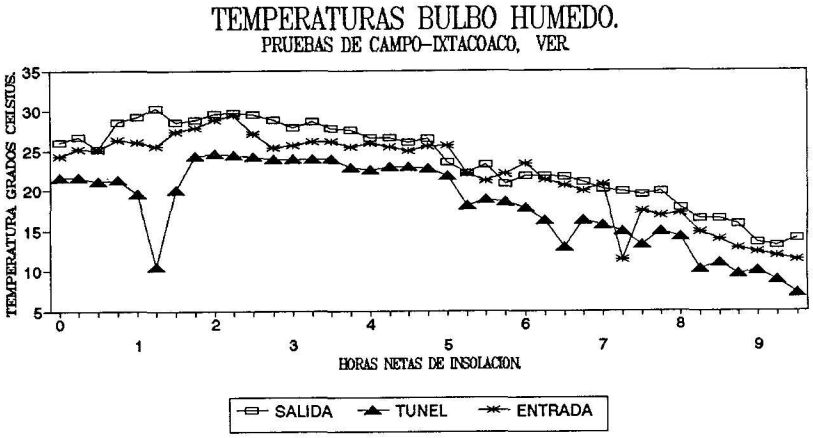
La industria alimenticia mexicana encargada de procesar este producto, requiere de un sistema de secado más confiable, limpio y rentable donde se acelere el proceso para incrementar la producción y se minimize la mano de obra de planta encargada de la limpieza y selección del producto.

El principal objetivo de este proyecto es el diseño, construcción y operación de un secador solar que acelere el proceso de secado, lo haga lo más limpio posible y a bajo costo. Así mismo, que pueda desarmarse y armarse con relativa facilidad, con el propósito de transportarlo a diferentes zonas dentro del campo de cosecha. La capacidad sería de 1 tonelada.

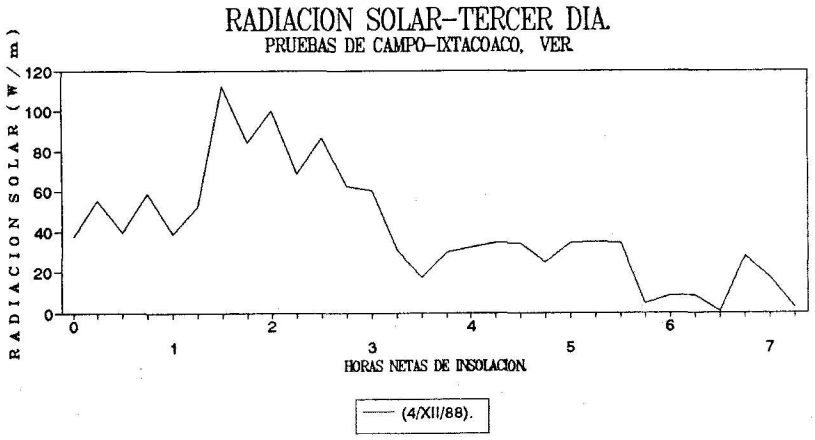
Siguiendo las experiencias obtenidas en los estudios sobre secado solar de café, se pensó en el diseño de un secador solar mixto tipo túnel, ahora con estructura, de 10 m de largo, 2.5 m de ancho y 2 m de altura, con cubierta transparente de Polietileno PF-602.



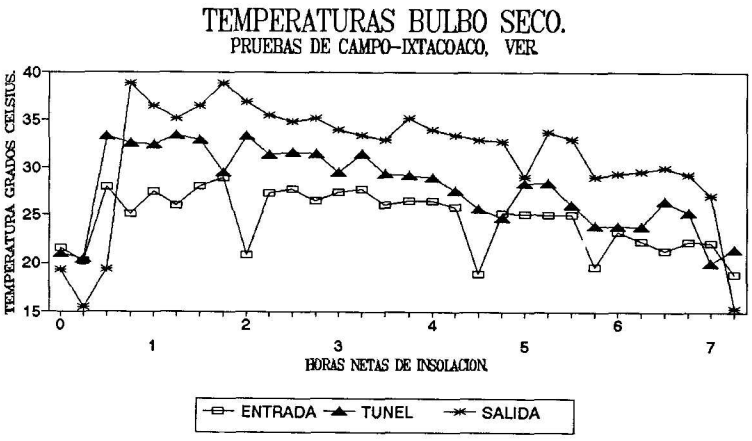
Gráfica 28 .- *Temperaturas bulbo seco. Segundo día. Pruebas de campo.*



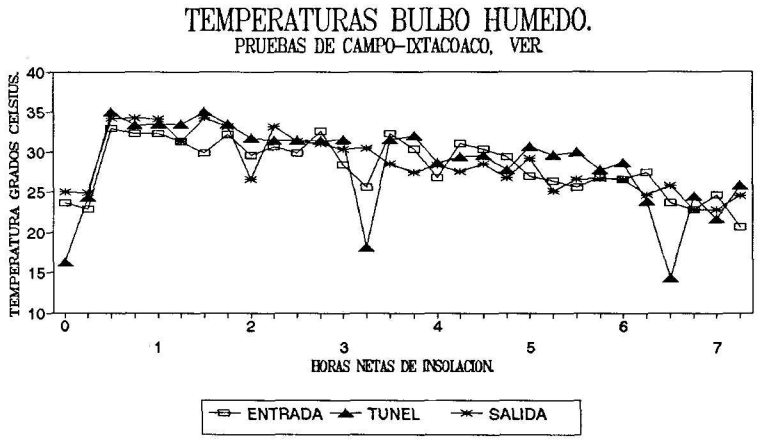
Gráfica 29 .- *Temperaturas bulbo húmedo. Segundo día. Pruebas de camp*



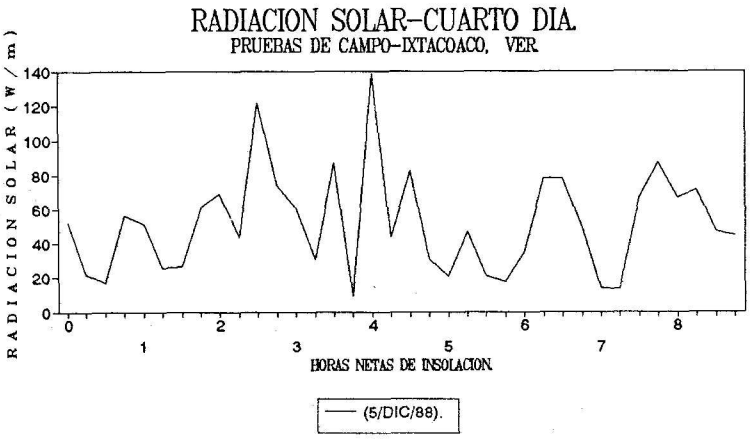
Gráfica 30 .- *Radiación solar. Tercer día de secado. Pruebas de campo.*



Gráfica 31 .- *Temperaturas bulbo seco. Tercer día. Pruebas de campo.*



Gráfica 32 .- *Temperaturas bulbo húmedo. Tercer día. Pruebas de campo.*



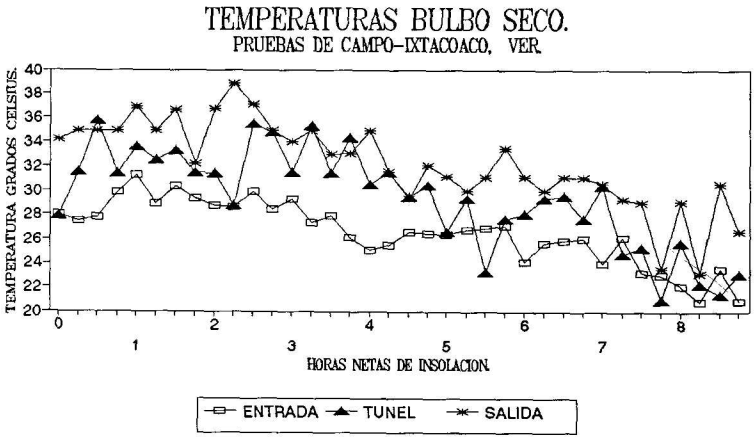
Gráfica 33 .- *Radiación solar. Cuarto día de secado. Pruebas de campo.*

El túnel se arma sobre una base modular de madera pintada de negro mate. La estructura, modular también, consta de once elementos desarmables hechos con varilla circular de 1/2 pulgada de diámetro, cada elemento se coloca a intervalos de 1 m sobre la base de madera.

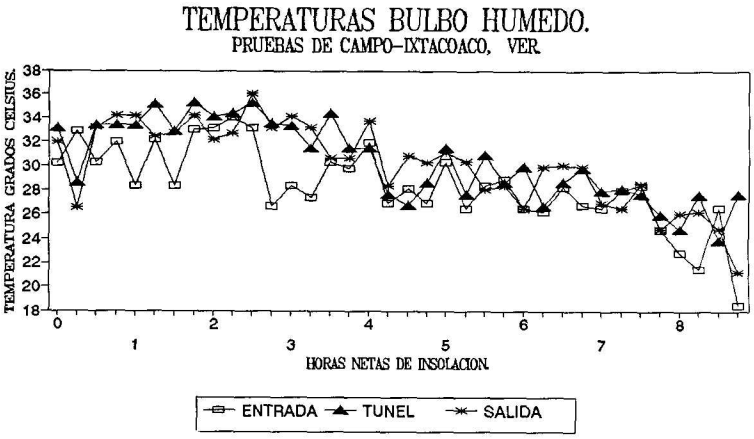
El túnel puede funcionar por convección natural o forzada según se requiera. La entrada de aire se realiza por la parte posterior y la salida por tres chimeneas colocadas lo largo de la parte superior del secador. Como elemento de apoyo se puede colocar un colector solar de aire previo a la entrada del mismo al túnel con el fin de precalentar el medio desecador. Este colector es de manufactura sencilla, mide 1.5 m de largo, 0.60 m de ancho y 0.10 m de espesor, es de fibra de vidrio pintada de negro mate con cubierta de acrílico transparente, en el interior tiene barreras del mismo material formando en conducto en serpentín con el fin de optimizar la superficie de contacto, el aire circula a través de este sistema y entra al túnel propulsado por un ventilador de 1/4 hp colocado en la parte posterior del colector.

El producto se coloca en charolas plásticas con capacidad aproximada de 2.5 kg cada una, son charolas estibables y se pueden colocar hasta diez por columna. El túnel está diseñado para colocar 20 columnas a cada lado dejando un pasillo central. Se llevaron a cabo dos procesos de secado, el primero con 25 kg de chile *ancho* y el segundo con 80 kg del mismo producto pero sin madurar por completo (chile *poblano*).

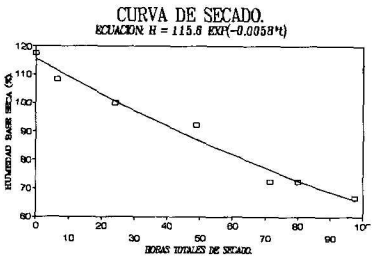
En el primer proceso se utilizaron 50 charolas con aproximadamente 0.5 kg de producto en cada una, se colocaron en 10 columnas de 5 charolas. En diferentes columnas se tomaron charolas testigo a cada nivel para apreciar las diferentes velocidades de secado, y poder estimar en consecuencia la necesidad de rotar las charolas durante el proceso.



Gráfica 34 .- *Temperaturas bulbo seco. Cuarto día. Pruebas de campo.*



Gráfica 35 .- *Temperaturas bulbo húmedo. Cuarto día. Pruebas de campo.*



Gráfica 36 .- ***Curva de secado. Pruebas de campo.***

Los resultados obtenidos y correspondientes curvas de secado se muestran en las gráficas 37 a 40 .

La pérdida de humedad base seca describe un comportamiento exponencial según se puede apreciar en la siguiente gráfica, donde se tomó como referencia los datos obtenidos de la charola del nivel superior (gráfica 41).

Durante el segundo proceso, se utilizaron 40 charolas con aproximadamente 2.0 kg de producto en cada una, que se colocaron en 8 columnas de 5 charolas. Al igual que en el primer proceso, en diferentes columnas se tomaron charolas testigo a cada nivel.

Los resultados obtenidos se muestran en las gráficas 42-45.

Análogamente al anterior proceso, se obtuvo el ajuste de la curva de secado de la pérdida de humedad base seca con lo datos de la charola superior gráfica 46

Comparando ambos procesos s puede observar que no es recomendabl colocar demasiado producto en cad charola, pues la rapidez de secado se v afectada bruscamente, en este tipo d charolas se recomienda colocar hasta 2. kg de chile *ancho,* aunque la capacida puede variar si cambia la variedad d chile a secar.

También se puede observar que e proceso de secado utilizando el secado solar, comparándolo con el secad tradicional, reduce notoriamente, hast el 30%, el tiempo total requerido para l obtención del producto deseado.

Se estima que el costo de un secado solar tipo túnel de 10 m como el que no ocupa, es de aproximadamente $ 500.0 dólares, solo en lo que a material s refiere. La economía que representa l elaboración de este sistema de secado, l hace competitivo respecto al secad tradicional en el campo, ya que ocup poca superficie, comparada con l necesaria para el secado tradicional, y e posible, como se necesitaba desde u principio, cambiarlo de lugar en u momento determinado.

Secador solar de piña.

Los alimentos secos y deshidratado son más concentrados que cualquier otr forma de productos alimenticio preservados. Ellos son menos costoso de producir, el trabajo requerido e mínimo, el equipo de proceso es limitado los requerimientos de almacenamient del alimento seco son mínimos y lo costos de distribución son reducidos Una carga de carro de alimento sec puede ser igual a diez cargas de carro de producto fresco. Hay fuerzas químicas y biológicas que actúan sobre el suministr de alimentos que el hombre desea. E hombre controla las fuerzas químicas e el alimento deshidratado con el empaque y ciertos aditivos químicos. Las fuerzas biológicas son controladas reduciendo el contenido de agua libre y por

calentamiento. Para ser un substrato adecuado, para soportar el desarrollo de microorganismos, un alimento debe tener agua libre, conveniente para los mismos. Reduciendo el contenido de agua libre, aumentando con eso las presiones osmóticas, el crecimiento microbiano puede ser controlado.

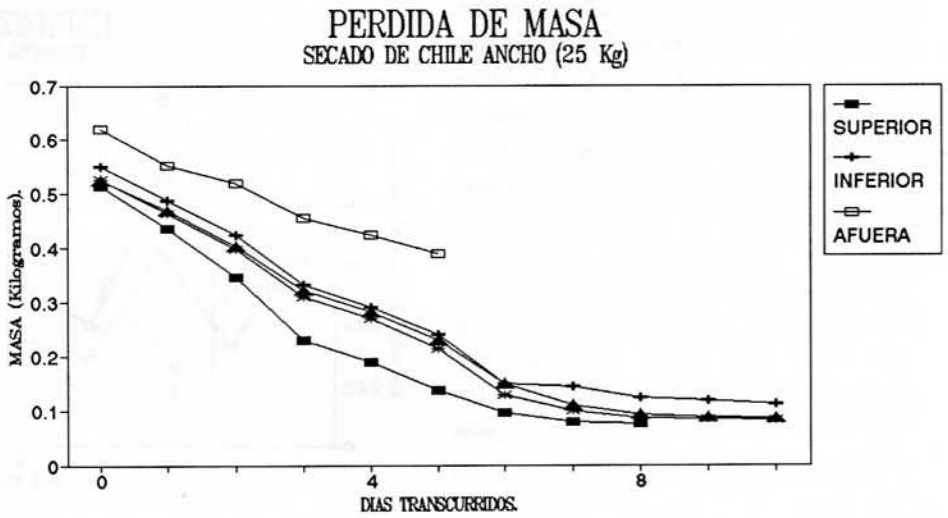
Las frutas en general contienen del 70% al 90% de agua, pero una vez deshidratadas se llega a reducir esta cantidad al 20-25%. La pérdida de humedad produce una serie de cambios en su color, forma, sabor, consistencia y pérdida de peso con el consiguiente aumento de la concentración de sus componentes.

Las frutas desecadas por su alto contenido en azúcares, substancias orgánicas, sales, etc., está prácticamente a salvo de destrucción por parásitos pero por diversos factores se pueden producir alteraciones que se deben evitar para no tener pérdidas.

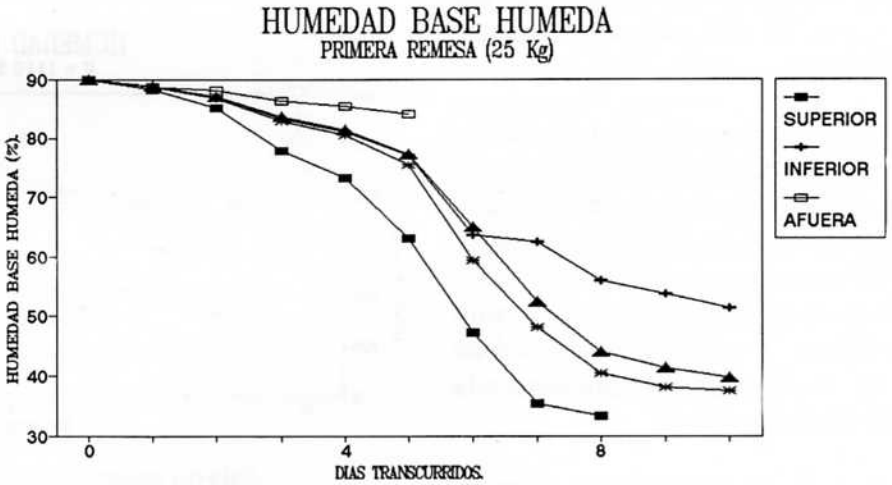
La acción de la luz directa en el exudado altera el color,decolorando las de tonalidad intensa y oscureciendo las frutas de color claro. Se debe evitar la luz directa. Una vez finalizado el proceso de desecado ya no existe peligro.

La humedad por un deficiente desecado es muy peligrosa porque favorece el desarrollo de microorganismos. Si al transportar frutas a zonas húmedas no se toman las precauciones suficientes, al rehidratarse se pueden producir alteraciones.

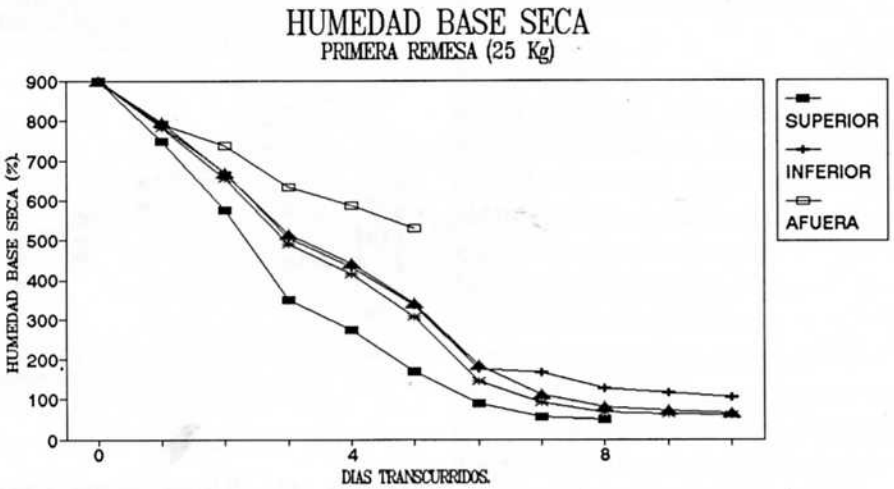
Un alimento deshidratado aceptable debe competir en precio con otros tipos de alimentos conservados, tener un sabor, olor y apariencia comparable con el producto fresco o con productos procesados por otros medios, reconstruirse fácilmente, retener los valores nutritivos y tener buena estabilidad en el almacenamiento. Muchos alimentos, por ejemplo, las papas fritas, son consumidos porque



Gráfica 37 .- *Pérdida de masa en charolas testigo a diferentes niveles.*



Gráfica 38 .- *Pérdida de humedad base húmeda a diferentes niveles.*



Gráfica 39 .- *Pérdida de humedad base seca a diferentes niveles.*

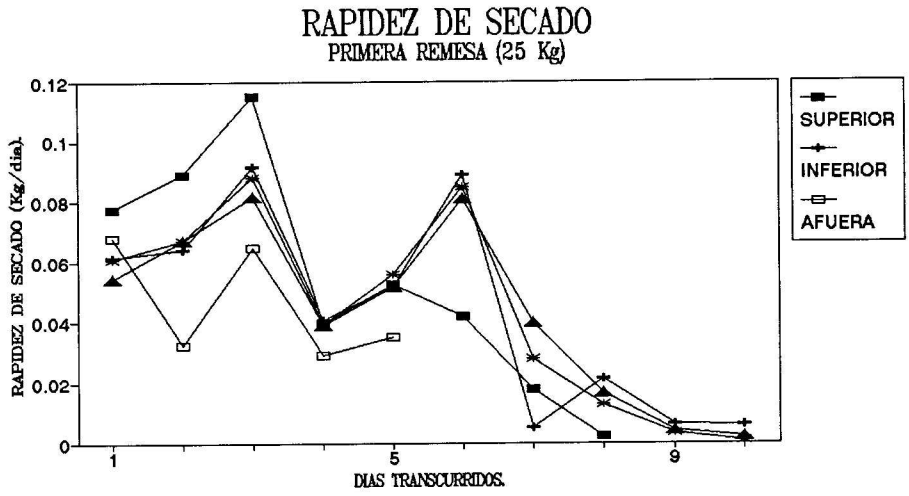
la eliminación de agua y el calentamiento conectados con el proceso les dá un sabor distintivo y apetecible. En otros casos, como en el almidón y el espagueti, la deshidratación es un paso necesario en la producción. Sin embargo, en muchas áreas del campo de los alimentos, los alimentos deshidratados no son lo suficientemente buenos para competir con alimentos procesados por otros métodos; aún están abiertas las oportunidades en la deshidratación.La deshidratación de alimentos listos para comer está en el horizonte.

El principal objetivo en este trabajo es el diseño, construcción y operación de un secador solar de gabinete para la deshidratación de productos delicados, como la fruta, donde la masa total del producto no sea mayor de algunos kilogramos.

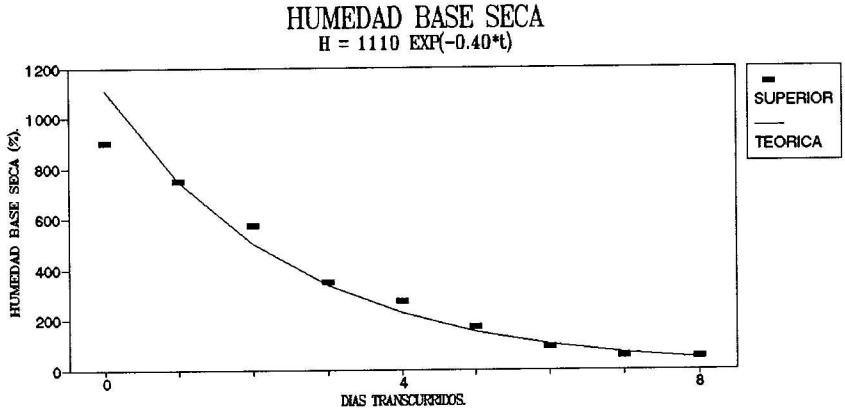
Se pretende con este sistema optimizar el proceso utilizado en la deshidratación y cristalalización de fruta en rebanadas. Por este motivo, es indispensable que el prototipo proteja al producto no sólo de las condiciones ambientales, sino también del propio sol, esto es, se debe evitar la exposición del producto a la radiación solar directa.

Los requerimientos antes mencionados nos llevaron al diseño de un secador solar de gabinete tipo horno, donde se incremente la temperatura interior del mismo sin que el producto se vea expuesto a la radiación solar directa.

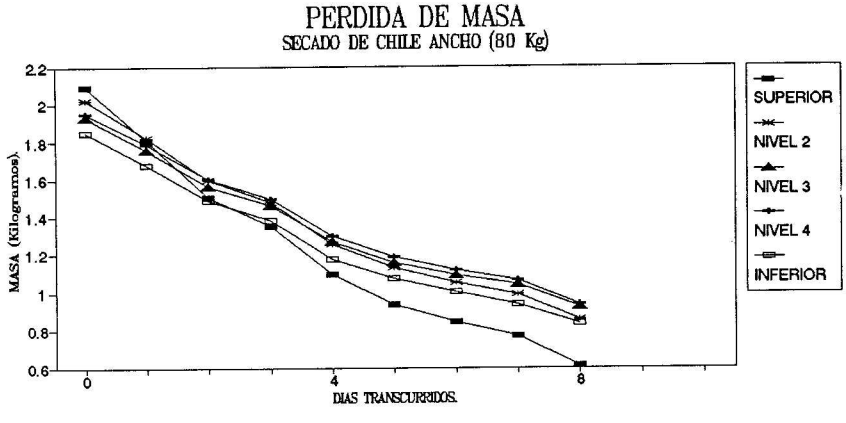
Este secador de gabinete es un prisma rectangular de 0.50 m de ancho x 0.50 m de altura x 1.00 m largo fabricado de lámina de fierro, cuenta con puerta frontal abatible para un cómodo acceso y entrada y salida de aire por las laterales. En el interior se pueden apilar hasta cinco charolas con un espaciamiento entre ellas de 8 cm aproximadamente, lo que permite colocar entre 5 y 10 kilogramos de producto. Este prototipo está pintado en color negro



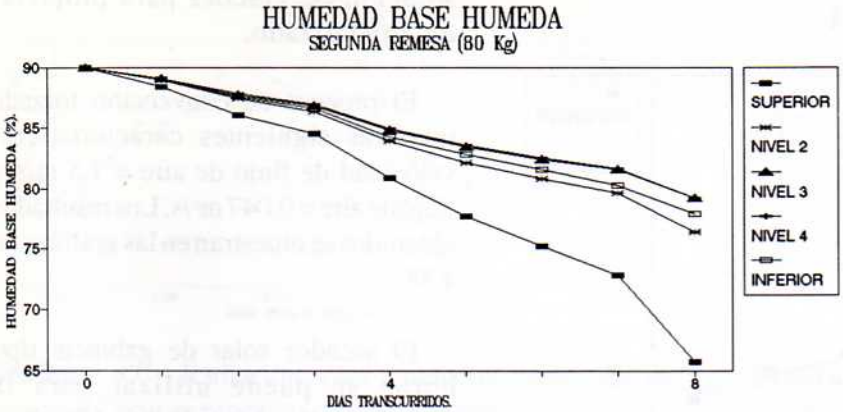
Gráfica 40 .- *Rapidez de secado a diferentes niveles.*



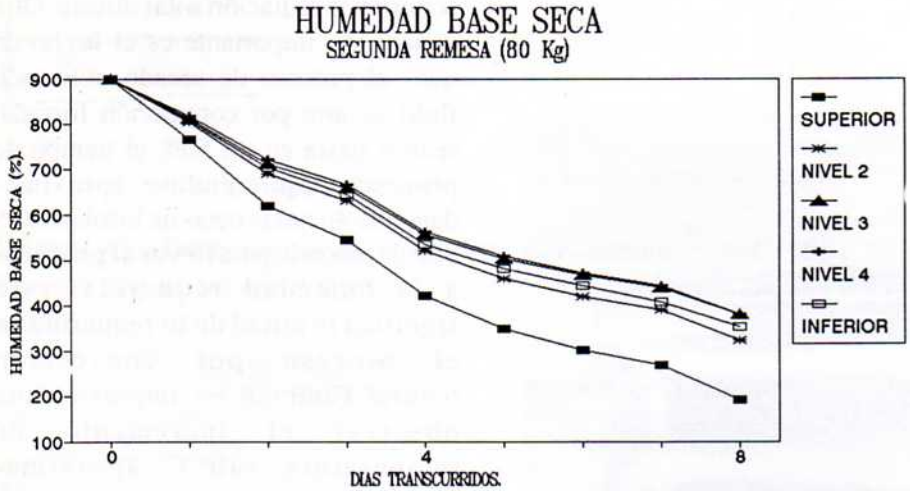
Gráfica 41 .- *Curva de ajuste de la pérdida de humedad base seca en la charola del nivel superior. Primera remesa (25 kg).*



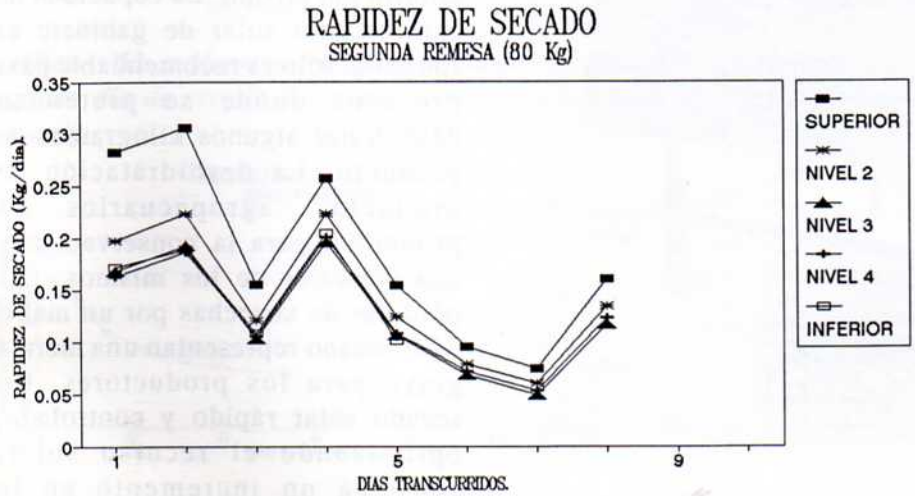
Gráfica 42 .- *Pérdida de masa en charolas testigo a diferentes niveles.*



Gráfica 43 .- *Pérdida de humedad base húmeda a diferentes niveles.*



Gráfica 44 .- *Pérdida de humedad base seca a diferentes niveles.*



Gráfica 45 .- *Rapidez de secado a diferentes niveles.*

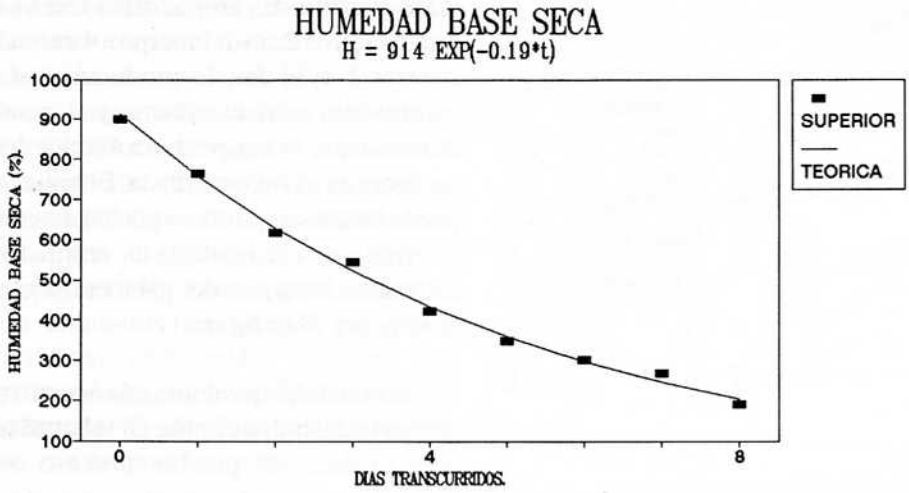
mate y cubierto con acrílico con una separación de 2 cm del cuerpo mismo del secador con el fin de producir efecto invernadero entre la cubierta y el metal de modo que la temperatura interior del secador se vea incrementada. El sistema puede funcionar por convección natural o forzada, con la ayuda de un ventilador colocado a la entrada del gabinete, según se requiera (Ver figura 1).

En el estudio que ahora nos ocupa, se pretende deshidratar piña en rebanadas para evaluar un posible proceso de cristalización. Se realizaron dos procesos, uno por convección natural, y otro por convección forzada, ambos con aproximadamente 16 rebanadas de piña con un grueso de 1 cm en promedio, lo que representaba 2 kg de producto aproximadamente. Las medidas y resultados del primer proceso se muestran en las gráficas 47 a 52.

En estas gráficas se puede observar la óptima eficiencia de funcionamiento de este secador solar, basta observar el incremento de temperaturas interiores de bulbo seco comparadas con las del medio ambiente, este incremento es de aproximadamente 40° C. (Ver gráficas 53 a 55)

Como se puede observar en las gráficas anteriores, el proceso de secado por convección natural no es lo suficientemente rápido ya que se requieren, bajo condiciones normales de radiación y humedad, de aproximadamente 80 horas netas de insolación, lo que equivalente a 10 días de proceso para obtener con la humedad deseada. Por esta razón se realizó un segundo proceso bajo las mismas condiciones, excepto que ahora se sometería al producto a un secado de convección forzada.

También se sometieron algunas muestras a un tratamiento previo con el fin de mejorar su aspecto final. El tratamiento consiste simplemente en introducir las muestras en una



Gráfica 46 .- *Curva de ajuste de la pérdida de humedad base seca en la charola del nivel superior. Segunda remesa (80 kg).*

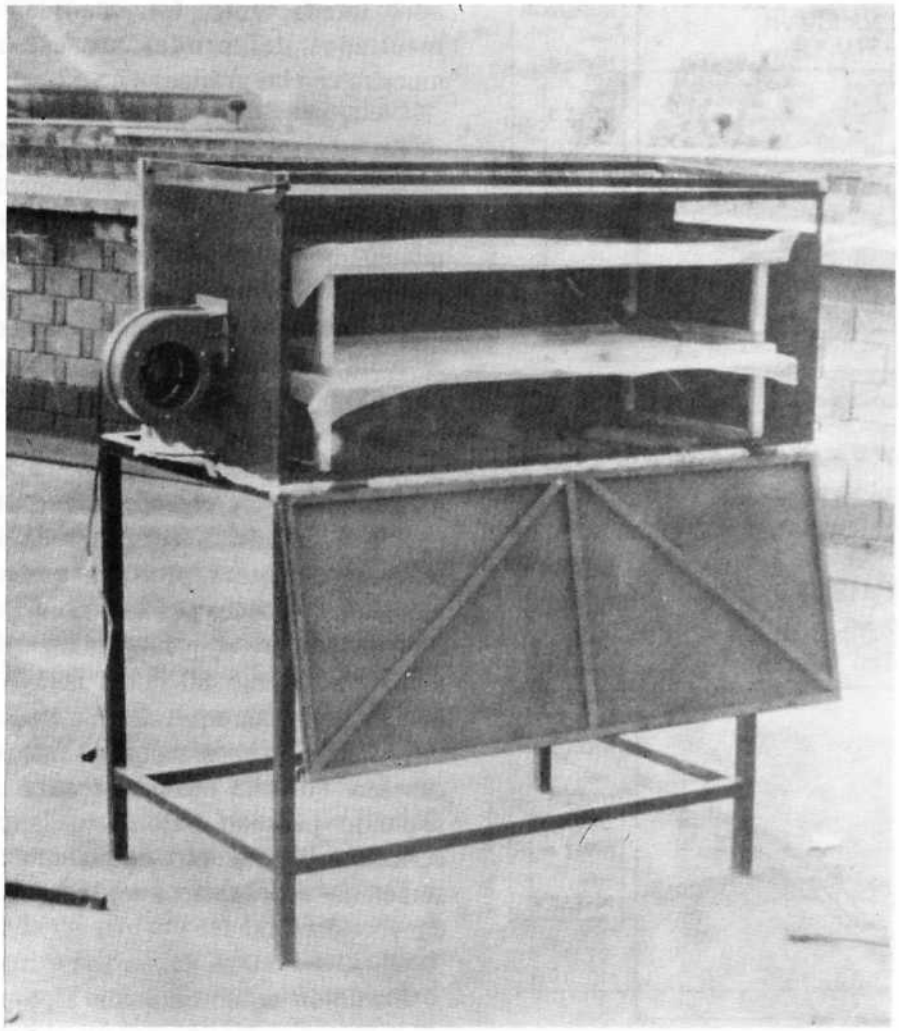
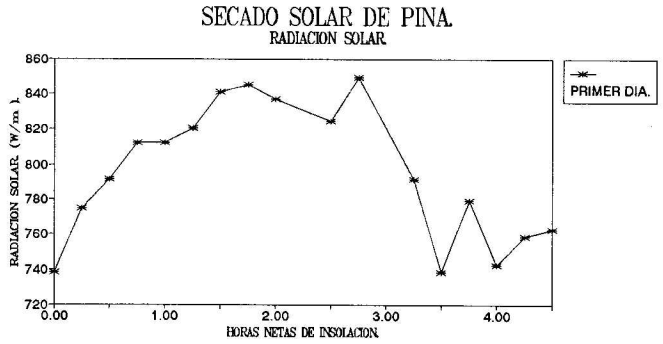


Figura 1 .- *Secador solar de piña. Dimensiones: 1.00 m de largo x 0.50 m de ancho x 0.50 m de altura.*

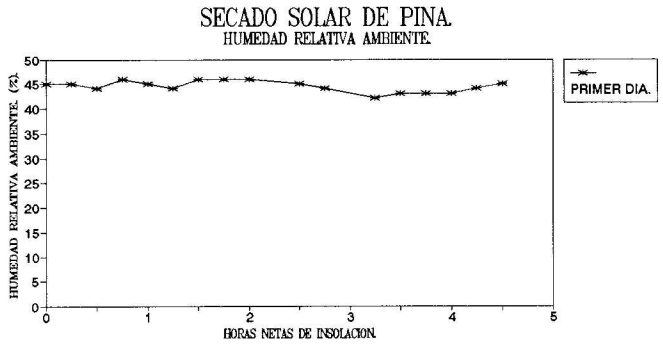
solución de glucosa para propiciar un cristalizado.

El proceso de convección forzada tuvo las siguientes características: velocidad de flujo de aire = 1.5 m/s y flujo de aire = 0.047 m^3/s. Los resultados obtenidos se muestran en las gráficas 56 a 58.

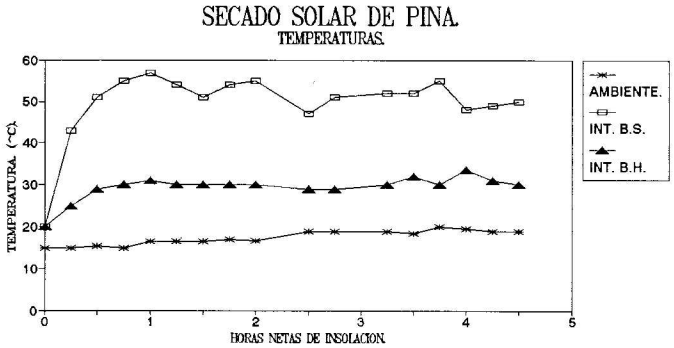
El secador solar de gabinete tipo horno se puede utilizar para la deshidratación de productos delicados, como la fruta, que exigen un mayor control en el proceso de secado. Este tipo de secador de gabinete también es adecuado para productos que no soporten la radiación solar directa. Otra conclusión importante es el hecho de que el proceso de secado utilizando flujo de aire por convección forzada, reduce hasta en un 50% el tiempo de proceso, requieréndose aproximadamente 40 horas netas de insolación, 5 días de proceso, para llevar al producto a la humedad requerida, esto significa la mitad de lo requerido en el proceso por convección natural. También es impresionante observar el incremento de temperatura (40° C aproximadamente), sobre la del medio ambiente, alcanzado con el secador solar de gabinete tipo horno, incremento que facilita el proceso en gran medida y propicia un mejor control del mismo. La capacidad de este secador solar de gabinete es limitada, sólo es recomendable para procesos donde se pretendan deshidratar algunos kilogramos de producto. La deshidratación de productos agropecuarios es primordial para la conservación y uso posterior de los mismos. Las pérdidas de cosechas por un mal o nulo secado representan una merma grave para los productores. Un secado solar rápido y controlado, optimizando el recurso solar, conlleva un incremento en la producción con menos pérdidas.



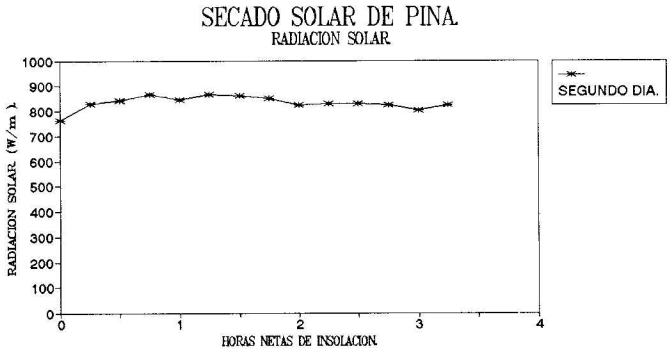
Gráfica 47 .- Radiación solar durante el primer día de secado del primer proceso (convección natural).



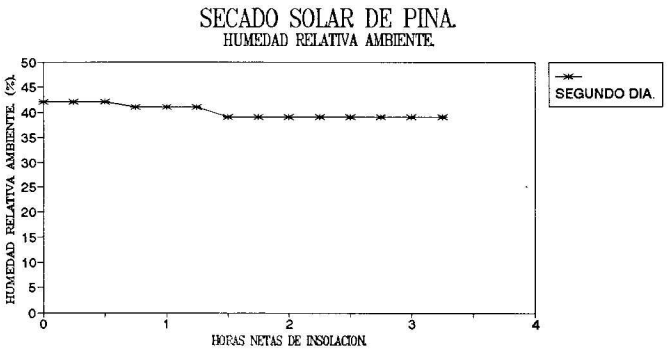
Gráfica 48 .- *Humedad relativa ambiente durante el primer día de secado del primer proceso (convección natural).*



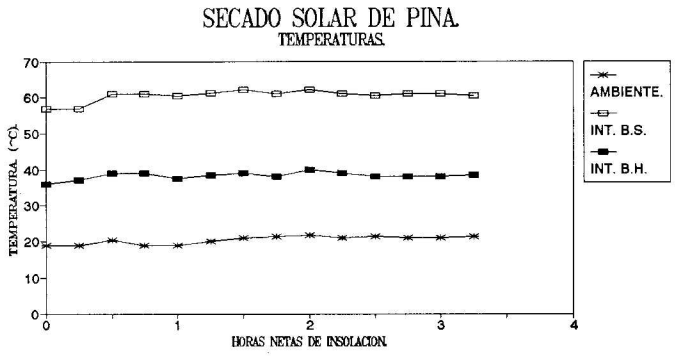
Gráfica 49 .- *Temperaturas ambiente e interiores durante el primer día de secado del primer proceso (convección natural).*



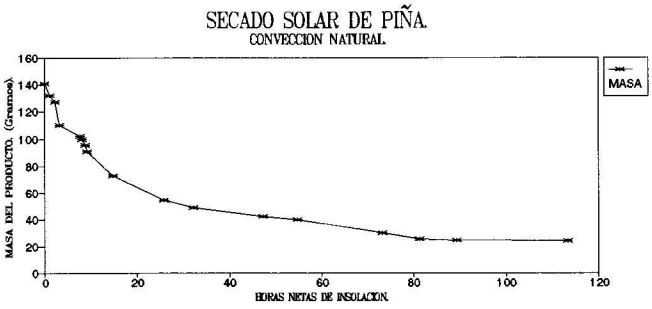
Gráfica 50 .- *Radiación solar durante el segundo día de secado del primer proceso (convección natural).*



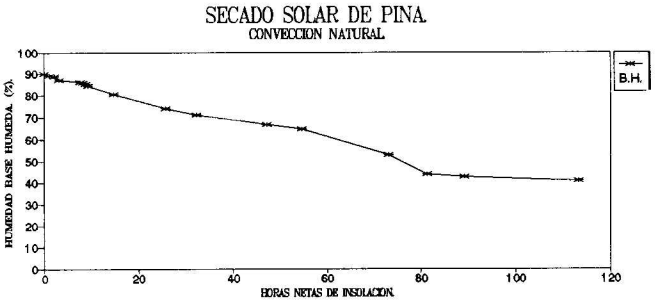
Gráfica 51 .- *Humedad relativa ambiente durante el segundo día de secado del primer proceso (convección natural).*



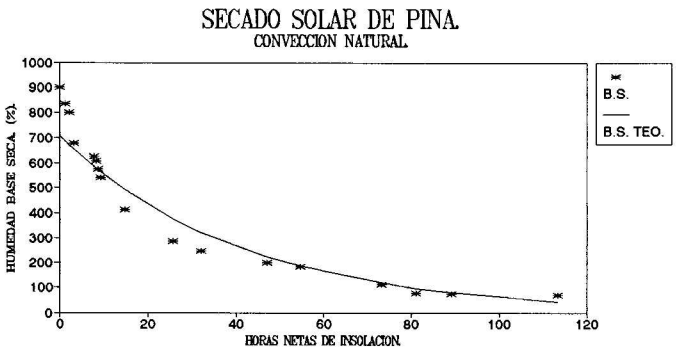
Gráfica 52 .- *Temperaturas ambiente e interiores durante el segundo día de secado del primer proceso (convección natural).*



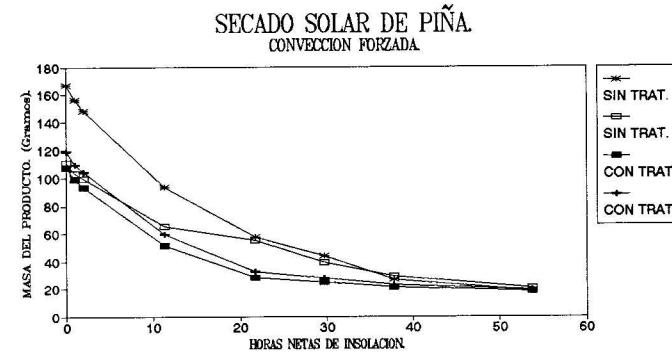
Gráfica 53 .- *Pérdida de masa del producto a través del primer proceso de secado (convección natural).*



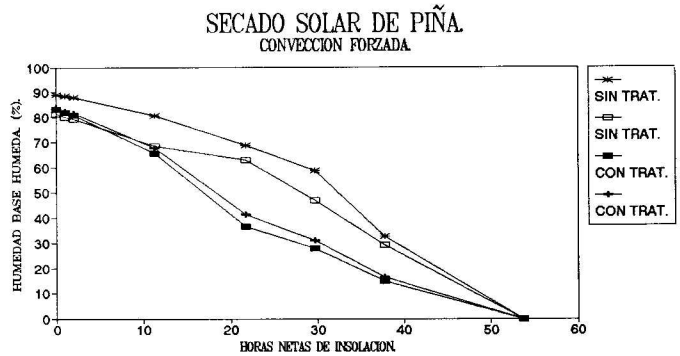
Gráfica 54 .- *Humedad base húmeda del producto durante el primer proceso de secado (convección natural).*



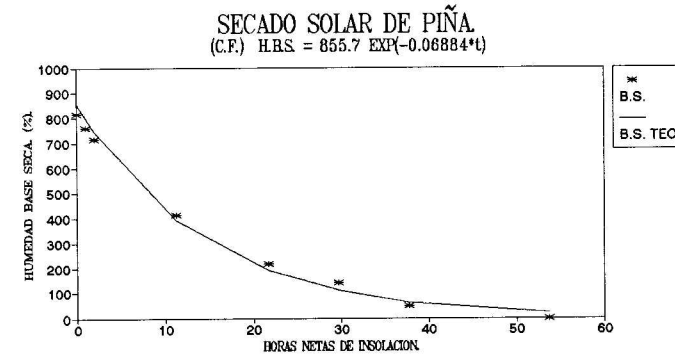
Gráfica 55 .- *Humedad base seca del producto durante el primer proceso de secado (convección natural).*



Gráfica 56 .- *Secado solar de piña. Pérdida de masa de cuatro muestras testigo, dos sin tratamient ˋ previo y dos con tratamiento previo (convección forzcda).*



Gráfica 57 .- *Secado solar de piña. Perdida de humedad base húmeda de las mismas muestras, dos sin tratamiento previo y dos con tratamiento previo (convección forzada).*



Gráfica 58 .- *Secado solar de piña. Curva de secado. Perdida de humedad base seca de una muestra sin tratamiento previo (convección forzada).*

BIBLIOGRAFIA

1) INMECAFE, "Instrucciones para el secado de café.", 1987. México, D.F.

2) Villaseñor Lunque A. , "Cafeticultura Moderna en México", Editorial Futura, S,A, 1987, México, D.F.

3) "Manual del cafetero colombiano.", auspiciado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Editorial Bedout, 1969. Colombia.

4) ATECYR, "Aplicaciones de la energía Caracterización y Optimización de un Túnel sin Estructura para Secado de Café por medio de Energía Solar", (pruebas de laboratorio), Memorias de la XII Reunión de Energía Solar, 1988, Puebla, Pue.

5) Corvalan Paíva R., " Secado de madera mediante el aprovechamiento de la energía solar"., Madrid, 1985.

6) Finck, A. D. et. al. "Construcción Caracterización y Optimización de un Túnel sin Estructura para Secado de Café por medio de Energía Solar", (pruebas de laboratorio), Memorias de la XII Reunión de Energía Solar, 1988, Puebla, Pue.

7) Desrosier, Norman W., "Conservación de Alimentos", Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V., 1989, México, D.F.

8) Daniels, Farrington., "Uso Directo de Energía Solar", H. Blume Ediciones, 1982, Madrid, España.

9) Finck, A. G. et. al. "Construcción, Caracterización y Optimización de un Túnel sin Estructura para Secado de Café por medio de Energía Solar", (pruebas de campo), Memorias de la XIII Reunión Nacional de Energía Solar, 1989, Morelia, Mich. México.

10) Lacerca, Alberto M., "Industrialización Casera de Frutas y Hortalizas", Editorial Albatros, 1987, Buenos Aires, República Argentina.

11) Finck, A.G. et. al., "Secado Solar de Chile". Memorias de a XV Reunión Nacional de Energía Solar, 1991, Zacatecas, Zac. México.

MODELACION DE LA DISPERSION DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS

Por: R. Saldaña, A. Salcido

1. INTRODUCCION

El 1o. de marzo de 1988, entró en vigencia la "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente", en la que se señalan los objetivos fundamentales en relación a la protección de la atmósfera. Estos objetivos son:

a) La calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país.

b) Las emisiones contaminantes a la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas o controladas para asegurar una calidad de aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Esta ley genera la confirmación de nuevas disposiciones reglamentarias en materia de control de la contaminación atmosférica. Así tenemos el "Reglamento en Materia de Prevención y Control de la contaminación de la Atmósfera", el cual define la responsabilidad de la entonces Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) hoy Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), de formular los criterios ecológicos generales que deberán observarse en la prevención y control de la contaminación de la atmósfera. Tales criterios a su vez establecen las bases para la definición de las "Normas Técnicas Ecológicas" (NTE), las cuales determinan los niveles máximos permisibles de la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Las Normas elaboradas se aplican a:

- Plantas productoras de ácido sulfúrico.
- Hornos de calcinación de la industria del cemento.
- Vehículos en circulación y de planta que usan gasolina.
- Fuentes que operan procesos de combustión con diesel, carbón, combustóleo o gas natural, y para las que emiten partículas sólidas.
- Emisiones de bióxido de azufre, neblinas de trióxido de azufre y ácido sulfúrico.
- Características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los niveles de emisión de contaminantes.

La Norma NTE-CCAT-007/88, establece los niveles máximos permisibles de emisión de partículas, monóxido de carbono, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión en fuentes fijas, que utilicen únicamente combustóleo como combustible, cuando los gases de combustión no estén en contacto directo con los materiales de proceso. Esta norma aclara que para los efectos de cuantificación de las emisiones, deberán utilizarse los procedimientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, en su caso, identificadas como: NOM-AA-23-1986 y NOM-AA-107-1988. La primera trata los temas de protección al ambiente, contaminación atmosférica y terminología; la segunda se refiere a la calidad del aire, estimación de la altura efectiva de una chimenea y de la dispersión de contaminantes.

2. USOS GENERALES DE LA MODELACION

Cuando existen fuentes de contaminantes en un área determinada, la calidad del aire en los alrededores varía debido a la presencia de compuestos ajenos al medio ambiente natural. Un modelo de calidad del aire puede ser utilizado para determinar las concentraciones de los contaminantes dentro de una zona específica. Cuando una nueva fuente de contaminación va a ser implementada o una ya existente se va a modificar, es conveniente usar la modelación para predecir los efectos en la calidad del aire. Sin embargo, no siempre se utiliza la modelación para tales propósitos, y una fuente nueva o la modificación de otra se decide, la mayoría de las veces, con otros criterios. Los modelos usados para determinar las concentraciones de contaminantes tratan de ser una representación matemática de la dinámica de los diferentes procesos de transporte y difusión que ocurren en la atmósfera, pero debido a la naturaleza de ésta y la complejidad de sus interacciones con los continentes y los océanos, los modelos siempre involucran un número de hipótesis que irremediablemente limitan sus capacidades de predicción. A pesar de esto, es claro que los modelos reflejan nuestro mejor entendimiento de los procesos más relevantes, y constituyen una buena base lógica para la toma de decisiones. Las modelaciones y sus resultados pueden ser utilizados, en general, para el desarrollo de planes de control, para la evaluación del impacto ambiental y para la proyección de la tendencias de la calidad del aire, entre otras aplicaciones.

3. PROBLEMAS EN LA MODELACION

A menudo cuando se requiere hacer una modelación no se cuenta con la información adecuada para la aplicación del modelo que mejor representa la situación particular considerada, lo cual obliga, generalmente, la utilización de algún otro modelo menos adecuado para tal situación, y esto repercute en los resultados de las modelaciones reduciéndolas a la categoría de preliminares. En términos generales la información requerida para llevar a cabo un modelado es la siguiente:

- Datos de emisión de la fuente contaminante.

* Instituto de Investigaciones Eléctricas

- Parámetros meteorológicos de la zona donde se ubica la fuente.

- Parámetros del entorno que rodea al foco de contaminación.

Una manera de sortear el primer problema consiste en estimar las emisiones por medio de un balance estequiométrico que describa de manera mas o menos confiable el proceso de combustión.

En el segundo caso resulta un problema aun mas difícil que el anterior ya que la información con la que se cuenta en la mayor parte del país no contempla la determinación de algunos parámetros empleados por los modelos de dispersión de contaminantes. Por otro lado no siempre se cuenta localmente con información meteorológica teniendo la tarea de analizar con mayor detalle la información disponible en puntos aledaños a la zona de estudio, la cual se circunscribe al área que rodea la central termoeléctrica.

4. MODELACIONES REALIZADAS DENTRO DE ZONAS DE INFLUENCIA DE ALGUNAS CENTRALES TERMOELECTRICAS

A la fecha en el IIE se han realizado algunos modelados en diversas centrales termoeléctricas tales como: Lerdo, Manzanillo, Mazatlán , Monterrey, Río Escondido, Salamanca, Valle de México y Tula. En el caso específico de Lerdo[2] la modelación sirvió como punto de partida para el diseño de una red de monitoreo de la calidad del aire con la cual será posible determinar los niveles de concentración de SO_2, NO_x partículas en suspensión totales. En el resto de las centrales se llevó a cabo un estudio global sobre la contaminación considerando en primer término el medio ambiente atmosférico. La primera etapa dentro de este proyecto contempló una modelación tipo "screen" con la información recabada por medio de prontuarios y observaciones in situ realizadas en cada una de las centrales.

El objetivo de esta modelación además del conocimiento preliminar de los niveles de concentración de contaminantes, consiste en poder definir puntos para el muestreo de las inmisiones dentro del área de influencia de las centrales. Posteriormente contando con datos de emisiones e información meteorológica recabada por medio de estaciones meteorológicas instaladas en las inmediaciones de las centrales, se procederá a emplear modelos más precisos que definan mejor el fenómeno en el medio atmosférico.

5. DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA PARA LA MODELACION

Uno de los obstáculos más frecuentes para la modelación de los fenómenos de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera es la carencia de la información meteorológica histórica requerida por los diferentes modelos disponibles. La información que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional, tanto de superficie como de radiosondeos, casi siempre viene incompleta y en ocasiones no está depurada ni decodificada. Debido a esto, aunque las tareas de depuración y decodificación son relativamente sencillas, en general es necesario invertir tiempo y esfuerzo para la organización y elaboración de las bases de datos meteorológicos requeridas por los modelos.

En el IIE se está desarrollando una metodología para la organización y validación de bases de datos meteorológicos y para la determinación de aquellos parámetros requeridos por los modelos que pueden ser calculados a partir de estos datos. En este sentido, se están elaborando varios programas de cómputo que permiten realizar de manera automatizada los procesos de depuración y decodificación de los mensajes sinópticos y radiosondeos, así como la validación de los datos meteorológicos disponibles en estas fuentes. Dos de estos programas se describen en las secciones siguientes.

Por otra parte, también se han venido elaborando algorítmos y programas de cómputo para el cálculo de otros parámetros importantes, tales como las alturas de mezcla, que son requeridos por algunos modelos de calidad del aire. El programa para el cálculo de alturas de mezcla se describe en la sección 5.3. Todos los programas que aquí se describen, así como otros que se encuentran en proceso de elaboración, se han desarrollado usando Turbo Pascal 6.0 para ser ejecutados en computadoras personales compatibles con IBM.

5.1. Depuración y Decodificación de los Mensajes SYNOP

Para la depuración y decodificación de los mensajes SYNOP fué elaborado el programa SYNDEC. Este programa esta constituido por dos módulos básicos, el modulo de depuración y el módulo de decodificación y de selección de los parámetros de salida. En el primer módulo, el programa extrae el mensaje SYNOP la información relativa a las sesiones 0 y 1 del mensaje para todas las estaciones de observación. Estas sesiones siempre vienen incluidas y constituyen la parte más importante de los mensajes SYNOP. Con esta información, el programa produce un archivo nuevo, depurado y reducido que sirve de entrada para el segundo módulo.

En esta fase del proceso, el usuario especifica las variables que considera relevantes para sus propósitos y enseguida se realiza la decodificación y se genera un archivo terminal con la información decodificada.[3]

5.2. Elaboración y Validación de las Bases de Datos Meteorológicos

Para la validación de los datos meteorológicos, así como para la organización de la base de datos correspondiente a cada estación meteorológica se desarrolló el programa DBSYN. Este programa permite la elaboración de una base de datos meteorológicos sinópticos decodificados para cada una de las estaciones mexicanas registradas en un archivo auxiliar del programa. Estos datos son ordenados de acuerdo con la fecha y la hora de observación, y son validados, uno por uno, de acuerdo con ciertos criterios de calidad proporcionados por el usuario durante la corrida.[3] Los archivos de entrada para este programa son generados por el programa SYNDEC.

5.3. Cálculo de Alturas de Mezcla

Uno de los parámetros importantes requeridos por los modelos de la dispersión atmosférica de contaminantes es la altura de mezcla. Para el cálculo de este parámetro existen varios métodos, uno de los cuales ha sido implementado en el programa ALTMEZ. Para el cálculo de la altura de la mezcla, este programa utiliza el perfil de la temperatura atmosférica obtenido mediante radiosondeos, así como la máxima temperatura diurna. El método utilizado es el de la adiabática seca.

El programa ALTMEZ, por otro lado, permite también realizar algunos análisis estadísticos como la determinación de la densidad de probabilidad asociada con la distribución de las alturas de mezcla en un cierto período de observación.

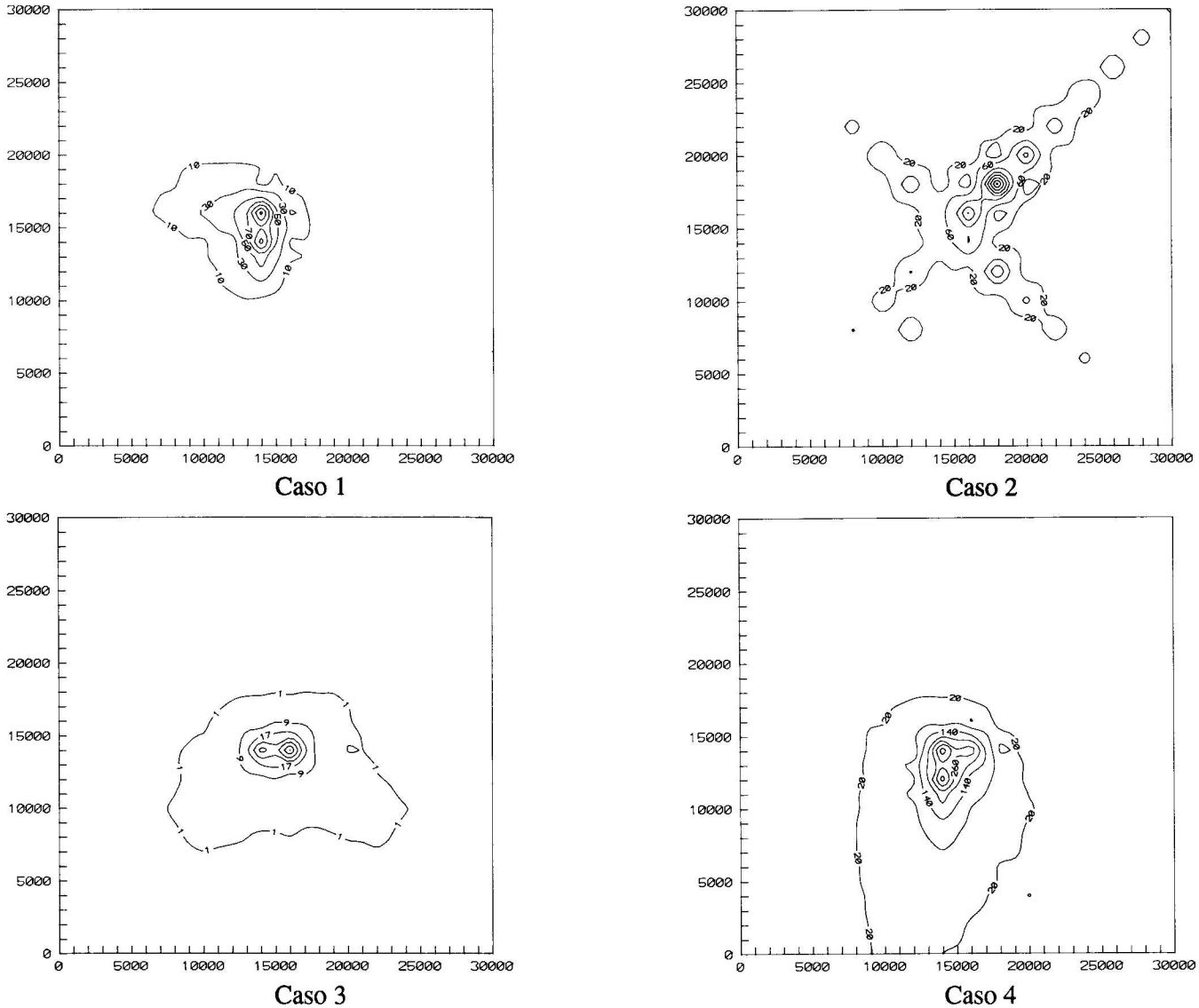
6.DESARROLLO DE MODELOS ALTERNATIVOS DENTRO DEL IIE

En el IIE también se están desarrollando algunos modelos alternativos para los fenómenos de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera. La razón de esto radica, por un lado, en el hecho de que la mayoría de los modelos utilizados generalmente para la simulación de estos fenómenos, introducen una gran cantidad de hipótesis que muchas de las veces sobresimplifican los diferentes procesos dinámicos, termodinámicos y químicos que simultánemente tienen lugar en la atmósfera durante la ocurrencia de tales fenómenos; y por otro lado, en el hecho de que los modelos más realistas (generalmente clasificados como alternativos) requieren no sólo de sistemas de cómputo muy rápidos y con grandes capacidades de memoria, sino también de una gran cantidad de información detallada que en general no se encuentra disponible.

Los modelos que están elaborando en el IIE pretenden ser modelos intermedios entre estos extremos, y hacen uso de algunas de las técnicas más recientes para el estudio de sistemas y procesos dinámicos complejos, tales como los métodos de autómatas celulares y los modelos de partículas con técnicas de Monte Carlo.

6.1. Modelos de Autómatas Celulares

Los autómatas celulares son sistemas dinámicos totalmente; evolucionan en un espacio-tiempo discreto y sus estados posibles constituyen un conjunto discreto. Estos sistemas se están utilizando



Resultados de la modelación de la dispersión de contaminantes en $\mu g/m^3$. Las distancias se presentan en Kms. y la fuente se localiza en las coordenadas X=15 Km.; Y=15 Km.

actualmente como modelos para el estudio de los fenómenos de transporte de masa, momento y energía en fluidos bidimensionales.[4] Algunas de las ventajas que presentan radican en el hecho de que hacen uso de una aritmética entera y, por lo mismo, no involucran los típicos errores de redondeo y los problemas de estabilidad que siempre están presentes en todas las técnicas numéricas de solución de ecuaciones diferenciales. Estos modelos, por otro lado, permiten fácilmente la implementación de condiciones de frontera complejas, tales como las que se requieren cuando existen obstáculos de geometrías arbitrarias en el campo de flujo de un fluido.

Uno de los modelos que se están desarrollando en el IIE para los fenómenos de transporte y dispersión de contaminantes usa de los métodos de autómatas celulares para modelar un gas con dos componentes químicas no reactivas, el cual evoluciona sobre un terreno complejo y en presencia de un campo de fuerzas externas del tipo gravitacional.

Este modelo se define sobre una malla bidimensional cuadrada donde las partículas pueden estar en reposo o moviéndose en las direcciones de los ejes coordenados o en las direcciones perpendiculares a éstas. Las reglas de interacción entre las partículas, las cuales definen la dinámica del modelo, satisfacen los principios de conservación de masa, momento y energía. Los diferentes procesos dinámicos y térmicos que ocurren la dispersión de contaminantes están representados en este modelo a nivel de las reglas de colisión-dispersión que definen su dinámica microscópica de esta manera, a diferencia de otros modelos, tales procesos se encuentran acoplados naturalmente en el sistema.

Aunque este modelo aun se encuentra en una etapa de desarrollo, algunos resultados preliminares obtenidos en simulaciones de prueba que estos métodos pueden ser de gran utilidad para el estudio de los fenómenos antes mencionados.[5]

6.2. Modelos de Partículas

Otro de los modelos que se está desarrollando en el IIE, utiliza los métodos de partículas [6, 7], en particular el método con interacciones del tipo partícula-partícula-partícula-malla (P^3M), para la simulación computacional del comportamiento de un gas con varias componentes químicas no reactivas. Los modelos de partículas hacen uso de un cierto número de objetos computacionales, para simular la dinámica de algún parámetro seleccionado (masa, calor, densidad de carga eléctrica, etc.). El movimiento de las partículas se produce mediante ciertas velocidades y seudovelocidades generadas usando técnicas de Monte Carlo.

En su estado actual, el modelo que estamos elaborando ya que permite el estudio del proceso de elevación de plumas, haciendo uso de información meteorológica sobre los perfiles de temperatura y de velocidad de viento que se obtienen de radiosondeos. La parte relacionada con el proceso de dispersión se está desarrollando actualmente haciendo uso de técnicas de Monte Carlo.

7. CONCLUSIONES

Existe una serie de dificultades para llevar a cabo el modelado de la dispersión atmosférica de contaminantes propiciada por una fuente en particular, toda vez que se requiere conocer los niveles de las concentraciones de fondo para poder conocer el impacto real debido a la operación de la misma.

Por otro lado la carencia de información sobre emisiones así como de parámetros meteorológicos hace que en muchas ocasiones se realicen simplificaciones que demeritan la calidad de los resultados obtenidos de la modelación. Por último se requiere implementar y/o desarrollar herramientas que permitan manejar toda aquella información suceptible de servir como entrada de distintos modelos con objeto de facilitar el proceso de modelación, dando como resultado un notable ahorro en el costo implícito del mismo.

REFERENCIAS

1.- **F. Morales,** "Aspectos Meteorológicos involucrados en la Dispersión Atmosférica de Contaminantes en una Central Termoeléctrica". Tesis de Licenciatura. Facultad de Física, Universidad Veracruzana, 1992.

2.- **M. Muriel, R. Saldaña, B.I. Romero, C. Meléndez.** "Estudios sobre la Modelación Atmosférica de Contaminantes en Centrales Termoeléctricas". The First International Symposium on Urban Climate, Air Pollution and Planning Large Tropical Cities. Book of Abstracts Short and Extended, Mexican Meterorology Organization. Nov. 1990. Guadalajara, Jal.

3.- **A. Salcido, R. Saldaña.** Software para la Elaboración de Bases de Datos Meteorológicos. Memorias de la III Reunión Nacional de Ingeniería de Energía y Recursos Energéticos, San Luís Potosí, Marzo, 1992. Editorial Universitaria Potosina. En prensa.

4.- **A. Salcido, R. Rechtman.** Equilibrium Properties of Cellular Automaton for Thermofluid Dynamics. En: Nonlinear Phenomena in Fluids, Solids and Other Complex Systems, Eds. P. Cordero, B. Nachtergaele, Elsevier Science Publishers B.V. (1991). pp. 217-229

5.- **A. Salcido.** "Un Modelo de Autómatas Celulares para la Dispersión Atmosférica de Contaminantes (Ideas y Resultados Preliminares)". Memorias de la III Reunión Nacional de Ingeniería de Energía y Recursos Energéticos, San Luis Potosí, Marzo, 1992. Editorial Universiaria Potosina. En prensa.

6.- **R. W. Hockney, J. W Eastwood.** Computer Simulation Using Particles. Mc. Graw-Hill, N.Y. (1981).

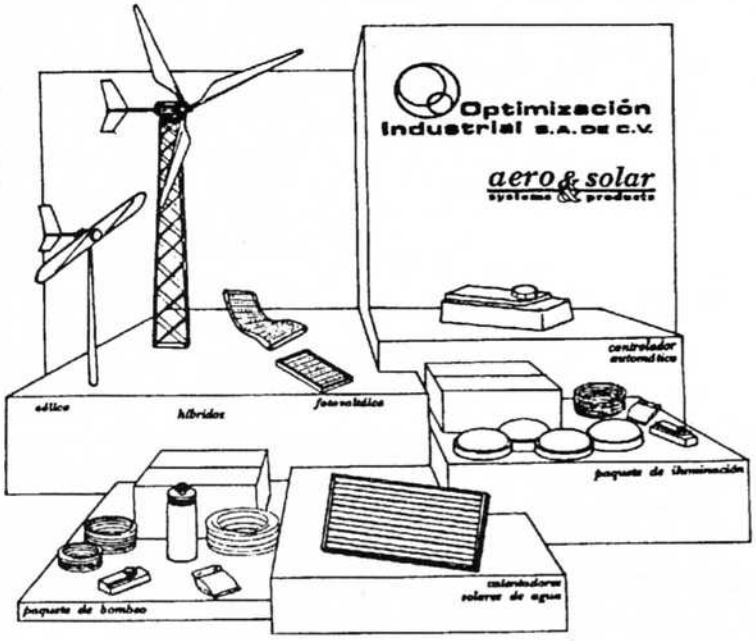
7.- **L. F. Greengard.** The Rapid Evaluation of Potential Fields in Particle Systems. The MIT Press, Cambridge, Mass. (1987).

Optimización Industrial S.A. de C.V.

Don Juan Manuel No.14
Col. San José Insurgentes
México D.F. 03900

Tel 593 24 67 Tel/Fax 660 59 25

Productos, Ingeniería y Proyectos



División: Fuentes No Convencionales de Energía

Fabricante y distribuidor de productos:

- Aerogeneradores
  de 400 watts a 400 Kwatts, modelos terrestres y marinos, corriente directa (C.D.) y corriente alterna.
- Módulos Fotovoltáicos
  de 5 a 64 watts de silicio semicristalino y amorfo modelos rígidos y flexibles.
- Calentadores solares
  Colectores planos de 1.92m^2 y 2.5m^2, cubiertos y desnudos.
- Paquetes de bombeo
  en C.D. de 12-24 volts, con bombas sumergibles.
- Paquetes de iluminación
  en C.D. 12 y 24 volts, para interiores y exteriores.
- Periféricos
  luminarias para interiores y exteriores
  C.D. 5,7,9 y 13 watts
  controladores 12 y 24 volts
  balastras 5,7,9,13 y 20 watts, etc.

"EL SOL SALE PARA TODOS"

solarmex, s.a.

PRIMER FABRICANTE DE CALENTADORES SOLARES
LE DA LA SOLUCION EN CALENTAMIENTO DE AGUAS PARA:

ALBERCAS, HOTELES, INDUSTRIAS, HOSPITALES, UNIDADES HABITACIONALES, UNIDADES DEPORTIVAS Y USO DOMESTICO

PARA MAYOR INFORMACION VISITE NUESTRAS INSTALACIONES EN:

PONIENTE 148 No. 519 COL. NVA. IND. VALLEJO 07729 MEXICO, D.F.

O LLAME A LOS TELS. 368-4929 368-1355 FAX 368-7894

Equipos y Sistemas de Captación Solar

- **Calentadores Solares ITE**

PARA AGUA DE ALBERCAS, USO DOMESTICO, INDUSTRIAL Y RURAL

ABSORBEDORES SOLARES 100% DE COBRE — PRONOSTICOS DE TEMPERATURA POR COMPUTADORA — SUPERFICIE SELECTIVA DE CROMO NEGRO

- **Plantas Solares de Energía Eléctrica**

PARA ILUMINACION, BOMBEO DE AGUA Y CUALQUIER APARATO ELECTRICO

- **CUBIERTAS TERMICAS FLOTANTES, Filtros, Bombas y Accesorios para alberca.**

EQUIPOS E INSTALACIONES GARANTIZADOS

ITE

INSTALACIONES TECNICAS ESPECIALIZADAS, S.A.

Bahía de Chachalacas 42 Col. Verónica Anzures 11300, México, D.F.
Tels. 260-0573, 260-5284, 260-2799 Fax 260-2685