INDICE

LA REVISTA SOLAR

PUBLICACION DE LA ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES) NUMERO 19 OTOÑO 1991
SECCION MEXICANA DE LA INTERNACIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY (ISES)

EN ESTE NUMERO:

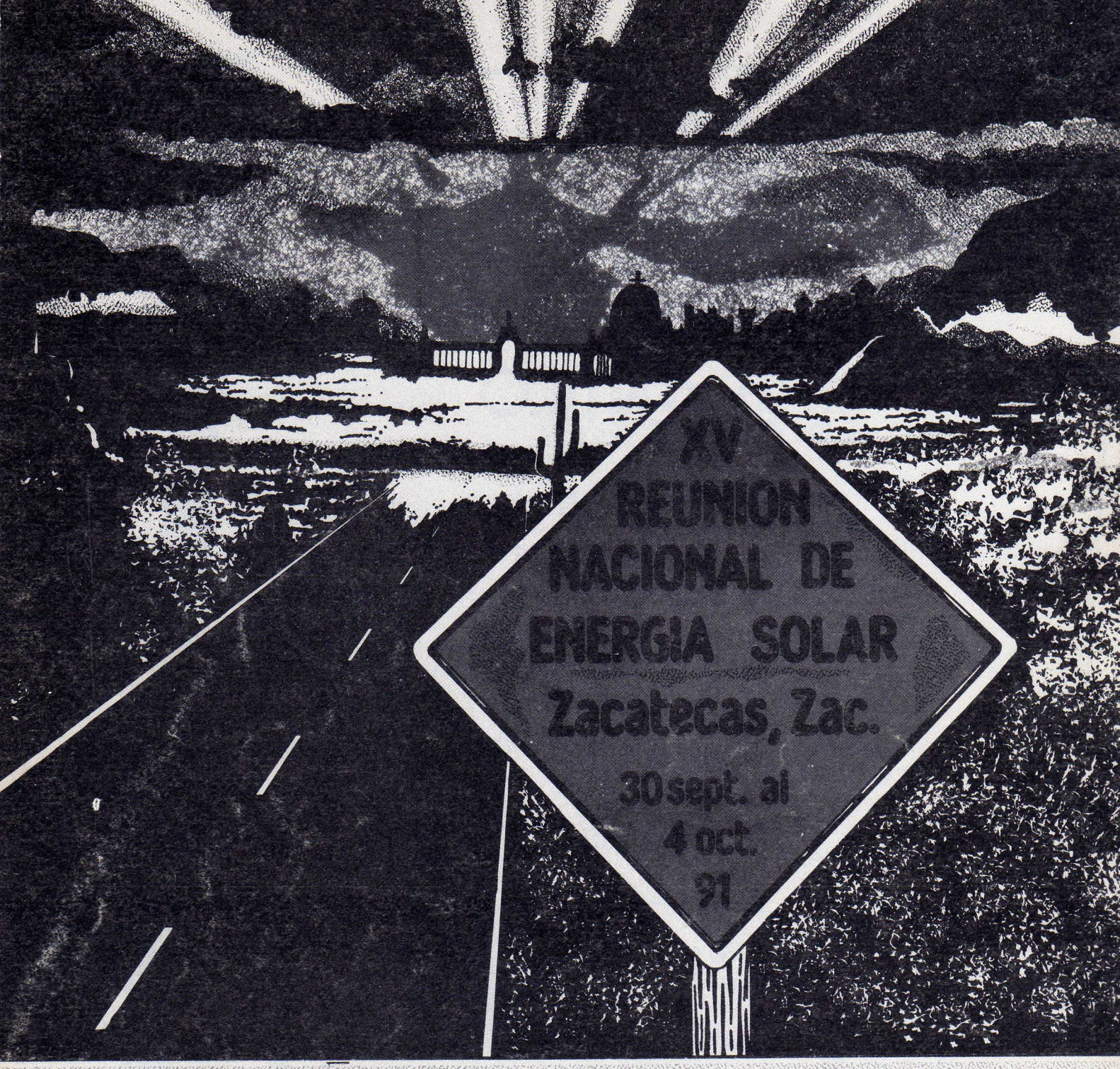
Fundamentos del Secado Solar

Una Edificación que se autoventila con Energía Solar

Destiladores Solares de Agua

Potencial Eoloenergético en la Ventosa, Oaxaca

$6000.00



ANES

ISES

CURSOS DE ACTUALIZACION

DEL 30 DE SEPTIEMBRE AL 1° DE OCTUBRE

— HELIOARQUITECTURA
— DESALACION DE AGUA
— BOMBEO SOLAR Y EOLICO

INFORMES:

M. EN C. MANUEL DE JESUS MACIAS PATIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS

FISICO ADOLFO G. FINCK PASTRANA
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
PROL. PASEO DE LA REFORMA # 880
COL. LOMAS DE SANTA FE 01210 MEXICO, D.F.

EDITORIAL

Revisando mis archivos encontré el número once del año 1 de NOTICIAS, órgano informativo de la Asociación, con fecha de noviembre de 1983. Como única noticia aparece en grandes titulares: **"INDUSTRIALIZACION DE FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA"**. El Lic. Eliseo Mendoza Berrueto, entonces subsecretario de Energía, inauguró una reunión de consulta sobre la industrialización de las fuentes alternas de energía, organizada por la misma SEMIP, **con el objeto de concertar y coordinar las acciones nacionales de investigación e industrialización para el desarrollo y la utilización de las FAE.** Durante la reunión el Dr José Luis Fernandez Zayas y el Ingeniero Enrique Ramoneda (qepd), queridos miembros y fundadores de la Asociación, participaron como oradores, dónde hicieron énfasis en el interés nacional de fomentar dichas tecnologias. Lo importante e interesante de la reunión fueron las conclusiones, que si lo vemos hoy en julio de 1991, es decir ocho años después, pareciera que el tiempo no ha transcurrido y hemos vivido un período estacionario. Efectivamente la situación no ha cambiado mas que sensiblemente y lo que los políticos hacían en aquella época hoy es el mismo cantar. Analicemos aquellas conclusiones y preguntémonos ¿cual es el presente y futuro de las FAE? y ¿cómo hacer cambiar el rumbo que toma nuestro país en materia energética?. ¿Las conclusiones?, pues son de la mayoría conocidas:

1.Los industriales no piden subsidios, sino un trato que permita el despegue de esta industria. Para lo cual se sugirió que los equipos destinados al aprovechamiento de las FAE estuvieran sujetos a un trato fiscal que permita su depreciación acelerada a un año.

2.La necesidad de normar los equipos para poder garantizarlos al usuario.

3.Realizar un estudio de mercado exterior para evaluar la rentabilidad de la exportación de los equipos.

4.La posibilidad actual para que los diversos organismos del gobierno consideraran las tecnologías de las FAE para su aplicación en unidades habitacionales, hospitales, hoteles etcetera, y así, utilizar el poder de adquisición del Estado para impulsar la industrialización.

Han pasado numerosas reuniones como esta y la situación no cambia, se han planteado cientos de soluciones y grandes ideas para el cambio, pero ¿para cuando serán las acciones?.

Hernando Romero-Paredes
EDITOR.

INDICE

ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES)

VI Consejo Directivo
Presidente
Dr. Hernando Guerrero Cázarez
Vicepresidente
Dr. Juan José Ambriz García
Tesorero
D.I. Ma. Mercedez Fernández
Secretario Gral.
Dr. Pedro Quinto Diez
SECRETARIAS:
Relaciones
Ing. Rodolfo Martínez Strevel
Publicaciones
Dr. Hernando Romero Paredes
Organización
Fisc. Adolfo Finck Pastrana
Vocalías
Ing. Ricardo Saldaña Flores
Asuntos Indutriales
Ing. Enrique Hill Bochelen
Asuntos Internacionales
Dr. Roberto Best Brown
Asuntos latinoamericanos
Dr. José Luis Mayorga
Secciones Regionales
Ing. Vicente Estrada Cajigal

Editor
Hernando Romero Paredes R.

Diseño y Formación
Dinámica Visual

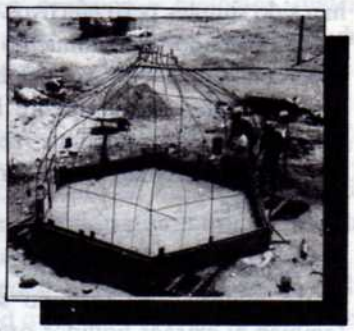
Editada por:
Kreko Producciones S.A. de C.V.
Av. Nuevo León 89, Col. Condesa Tel. 553-8577

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.

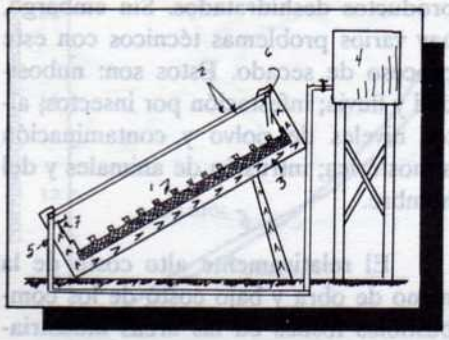
PORTADA
Secador Solar de Granos, frutas y verduras.
Construido en la UAM - I
Foto: Eugenio Torijano Cabrera

SUMARIO

Fundamentos del Secado Solar 4



Una Edificación que se autoventila con Energía Solar 8



Destiladores Solares de Agua 13

Potencial Eoloenergético en la Ventosa, Oaxaca 19

Fundamentos del Secado Solar

por Jorge Arias Torres*

El secado es uno de los métodos más antiguos conocidos por el hombre, para la conservación de alimentos. Desde tiempos remotos se ha aprovechado la energía solar para preservar los excedentes agrícolas. Los métodos usados han sido simples pero efectivos. Las cosechas, a menudo sin tratamiento previo, se esparcen sobre el piso o plataformas y se les voltea regularmente hasta que están lo suficientemente secas para poder almacenarse y, posteriormente, consumirse.

Secar significa eliminar agua de cierto material. El término se emplea también al extraer líquidos orgánicos de materiales sólidos.

El secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa. Implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada. Incluye una operación energética elemental y representa una de las acciones térmicas básicas en la industria de procesos y agro-alimentaria.

Para llevar a cabo el secado se necesita poco capital para compra de equipo, pero el proceso requiere el uso de mano de obra intensiva.

Se considera que la repercusión energética del secado en el sector industrial de los países desarrollados representa alrededor del 8 por ciento de la energía total consumida, aunque en muchas ramas industriales este porcentaje es mayor.

Así, por ejemplo, en las industrias de papel y agroalimentaria, la incidencia porcentual del proceso de secado en el consumo de combustibles es del orden de 62 por ciento; en la industria textil y de materiales de construcción es de 38 por ciento aproximadamente, y en la del cemento de 30 por ciento, en promedio.

Estas tecnologías se han originado en muchos países en desarrollo, de tal manera que no hay ningún problema social en su aceptación y consumo de los productos deshidratados. Sin embargo, hay varios problemas técnicos con este proceso de secado. Estos son: nubosidad y lluvia; infestación por insectos; altos niveles de polvo y contaminación atmosférica; intrusión de animales y del hombre.

El relativamente alto costo de la mano de obra y bajo costo de los combustibles fósiles en las áreas industrializadas causó el desarrollo de equipos para procesos de secado a gran escala. Posteriormente, el aumento en los costos de dichos combustibles y la mayor conciencia de su no renovabilidad estimularon y renovaron el interés hacia los secadores solares. Se dio énfasis al desarrollo de secadores solares agrícolas que atacaron las principales desventajas del secado solar clásico.

En nuestro país, uno de los problemas al cual se enfrenta el sistema alimentario es el de las enormes pérdidas en el periodo de postcosecha. Se estima que una tercera parte del mercado de granos es manejado por dependencias gubernamentales, en donde las pérdidas representan entre el 10 y 2 por ciento del total. Respecto al grano manejado por los campesinos, las pérdidas ascienden a más del 30 por ciento debido al uso de sistemas deficientes de secado y almacenamiento.

Al evaluar las tecnologías factibles de aplicación en las áreas en desarrollo debiera distinguirse entre los sistemas de pequeña y gran escala.

En general, los sistemas de pequeña escala podrían usarse en terrenos pequeños, donde los campesinos tienen cantidades mínimas de excedentes agrícolas. El objetivo sería deshidratar estos excedentes para el consumo familiar del productor o para ser vendidos en el mercado local de la comunidad.

Los sistemas a gran escala requieren usar una fuente energética convencional para la operación de ventiladores o extractores, ya que con ellos aumentan la eficiencia de operación del secado solar.

Como el costo de los energéticos convencionales ha ido en aumento, se tiende a desarrollar sistemas dependientes de la energía solar, de tal forma que la mayor parte de la energía consumida por ellos para la deshidratación sea solar.

Fundamentos

En general, **secar** significa remover cantidades de agua relativamente pequeñas de un cierto material. En cambio, la **evaporación** se refiere a la eli-

* Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
A.P. 55-534, 09340 México D.F.

minación de cantidades de agua bastante grandes. En este último proceso, el agua se elimina en forma de vapor al alcanzar su punto de ebullición. En contraste, en el secado el agua casi siempre se elimina en forma de vapor con aire.

En algunos casos, el agua puede eliminarse de los materiales sólidos por medios mecánicos: utilizando prensas, centrífugas y otros métodos.

El contenido de humedad del producto seco final varía, ya que depende del tipo de producto. La sal seca contiene 0.5 por ciento de agua, el carbón 4 por ciento y muchos productos alimenticios aproximadamente 5 por ciento.

El secado o deshidratación de materiales biológicos (en especial los alimentos) se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua.

Los procesos de secado pueden clasificarse de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer el vapor de agua: 1) en una primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a la presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire (Fig. 1); 2) en el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación; 3) en el secado por congelación el agua se sublima, es decir, pasa directamente del material congelado al aire.

Fig. 1 Eliminación de vapor de agua por medio de aire.

Al igual que en otros procesos de transferencia -como la transferencia de masa-, el proceso de secado de materiales debe considerarse desde el punto de vista de las relaciones de equilibrio y de las de velocidad. En la mayoría de los equipos de secado, el material se seca al entrar en contacto con una mezcla de aire-vapor de agua.

Una variable importante en el secado de materiales es la humedad del aire en contacto con un sólido de determinada humedad. Supóngase que a un sólido húmedo se le aplica una corriente de aire con humedad y temperatura constantes. Supóngase, también, que se usa una gran cantidad de aire, por lo que las condiciones permanecen invariables.

Después de haber expuesto el sólido por tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, llegará un momento en que éste tendrá un contenido de humedad definido. A este valor se le conoce como **contenido de humedad de equilibrio** del material, bajo las condiciones especificadas de humedad y temperatura del aire. (Fig. 2)

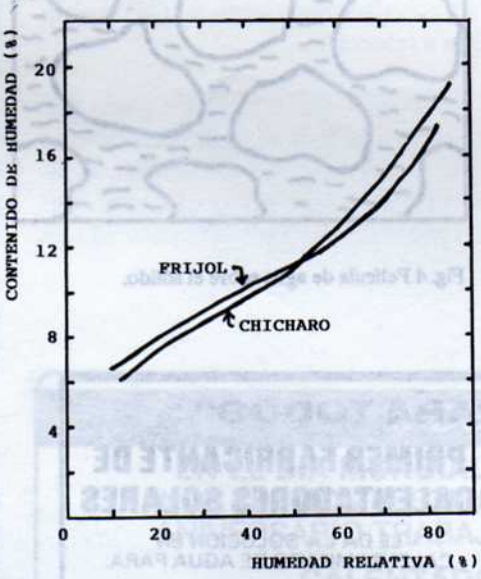


Fig. 2 Contenido de humedad en relación a la humedad relativa.

En general el contenido de humedad se expresa en base seca como Kg. de agua por Kg. de sólido sin humedad (completamente seco).

Si el material contiene más humedad que su valor de equilibrio en contacto con un gas a determinada humedad y temperatura, se secará hasta alcanzar su valor de equilibrio.

Si el material contiene menos humedad que su valor de equilibrio, absorberá agua hasta alcanzar dicho valor de equilibrio.

El contenido de humedad de equilibrio varía notablemente con el tipo de material para cualquier porcentaje de humedad relativa. Los sólidos insolubles no porosos tienden a presentar contenidos de humedad de equilibrio bastante bajos, tal como la lana de vidrio. Ciertos materiales esponjosos de tipo celular y de origen orgánico y biológico suelen exhibir altos valores de contenido de humedad de equilibrio.

El contenido de humedad de equilibrio de un sólido disminuye un poco al aumentar la temperatura. El **contenido de humedad libre** de una muestra es la humedad que está por encima del contenido de humedad de equilibrio. Esta humedad libre es la que puede eliminarse por secado con las condiciones dadas de porcentaje de humedad relativa.

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso es deseable estimar el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y temperatura para el aire empleado, y el tiempo requerido para lograr el grado de secado exigido.

Sin embargo, no es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que se hace necesario determinarlo por vías experimentales. De la misma manera, en muchos casos resulta indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado.

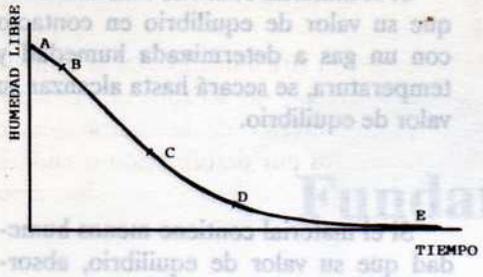


Fig. 3 Curva de velocidad de secado.

En la figura 3 se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Si se empieza con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento.

Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la figura es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante ese periodo. A esta zona se le conoce como **región de velocidad de secado constante**. En el punto C de la gráfica, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar al punto D. Finalmente, en el punto D, la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde ya no es apreciable.

El secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones constantes de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el periodo de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado: el periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente.

Durante el primer periodo, al principio la superficie del sólido está muy mojada y sobre ella existe una película de agua (Fig. 4). Esta capa de agua está siempre sin combinar y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación, con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y es esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura.

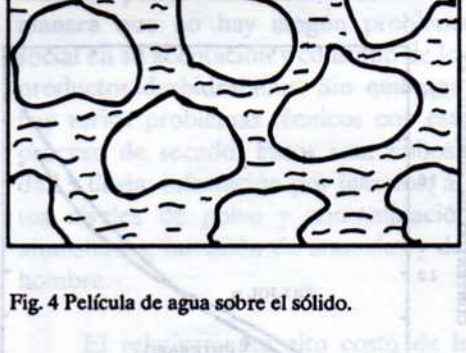


Fig. 4 Película de agua sobre el sólido.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene del interior del sólido. Este periodo continuará mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con que se evapora.

La evaporación durante este periodo es similar a la que existe cuando se determina la temperatura de bulbo húmedo; en ausencia de transferencia de calor por radiación o conducción, la temperatura de la superficie equivale, en forma aproximada, a la temperatura de bulbo húmedo.

El punto C de la gráfica corresponde a la situación en la cual no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente mojada, y la porción mojada comienza a disminuir durante este periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie quede seca en su totalidad en el punto D.

El segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto D. El plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie.(Fig. 5) El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización. El agu

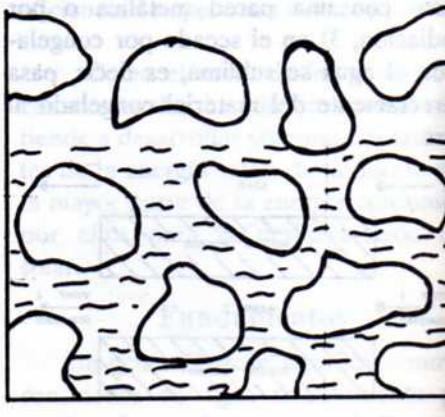


Fig. 5 Desplazamiento del plano de evaporación.

"EL SOL SALE PARA TODOS"
Solarmex, S.A.
PRIMER FABRICANTE DE CALENTADORES SOLARES
ALTA CALIDAD Y GARANTIA
LE DA LA SOLUCION EN CALENTAMIENTO DE AGUA 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 368-5712

vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea pequeña; no obstante, el tiempo requerido puede ser bastante largo.

Cuando el secado se verifica por evaporación de la humedad del área expuesta del sólido, la humedad debe desplazarse desde el interior del sólido hasta la superficie. Los mecanismos de este movimiento afectan al secado durante los periodos de velocidad constante y de velocidad decreciente.

La difusión del líquido se verifica cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie. Este método de transporte de humedad casi siempre se presenta en los sólidos no porosos, tal como son pastas, jabones y gelatinas.

Cuando se están secando sólidos granulares y porosos, la humedad libre o sin combinar se desplaza a través de capilares y espacios vacíos de los sólidos por acción capilar. Un sólido poroso contiene poros y canales interconectados de diversos tamaños. A medida que se evapora el agua, se forma un menisco de líquido en cada poro en el interior del sólido. Esto origina las fuerzas capilares por la tensión interfacial entre el agua y el sólido. Esta fuerza constituye el impulso para desplazar el agua a través de los poros hasta la superficie.

Un factor que afecta con frecuencia la velocidad de secado es la contracción del sólido al eliminarse la humedad. Los sólidos rígidos no se contraen de manera apreciable, pero los materiales coloidales y fibrosos, como vegetales y otros productos alimenticios, sí se contraen. El efecto más prominente es que puede desarrollarse una capa dura en la superficie del sólido, que resulta impermeable al flujo de líquido o de vapor y disminuye la velocidad de secado.

En muchos alimentos, si el secado se realiza a temperaturas muy altas, se forma en la superficie una capa de celdillas contraídas que se adhieren unas a otras formando un sello (Fig. 6). Esto representa una barrera a la migración de la humedad, y se conoce con el nombre de **endurecimiento superficial**. Otro efecto de la contracción es la causa de que el material se deforme y cambie su estructura. Esto puede suceder, por ejemplo, en el secado de madera.

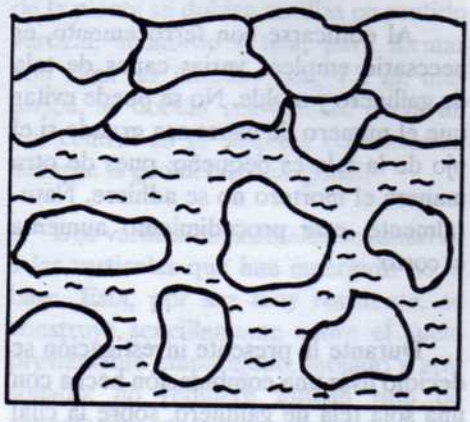


Fig. 6 Capa de celdillas contraídas.

Algunas veces, para disminuir estos efectos del secado, resulta aconsejable secar con aire húmedo. Así se disminuye la velocidad de secado, de tal manera que los efectos de la contracción, evidenciados por deformación o endurecimiento de la superficie, se reducen notablemente.

Con lo visto hasta aquí, ha querido darse una idea de los fundamentos del secado, para que una vez comprendidos, pueda sacárseles provecho. Para ello habrán de tomarse en cuenta, entre otras cosas, las curvas de velocidad de secado, las áreas de transferencia de calor y masa, y los patrones de flujo, además de seleccionar el equipo adecuado y evaluar su costo.

5 DE JUNIO

EN EL **DIA MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE**
NOS UNIMOS FESTEJANDO NUESTRO DECIMO
ANIVERSARIO TRABAJANDO PARA MEJORARLO

CALENTADORES SOLARES

SUNWAY DE
MEXICO, S.A. DE C.V.

- USO DOMESTICO, CALEFACCION DE ALBERCAS, HOTELES, ETC.
INFORMES: 686-9470
395-0041

- COLECTORES 100% DE COBRE GARANTIZADOS.
LIDER EN CALIDAD
Y EXPERIENCIA

Una Edificación que se autoventila con Energía Solar

por A. Fernández G. y T. Caballero A.*

Los que esto escriben diseñaron y construyeron un prototipo de edificación que mantiene su microclima interior dentro de límites agradables gracias a la ventilación producida por una chimenea negra de diseño original.

La estructura del prototipo es ligera, fuerte y monolítica; se puede emplear para diversos propósitos --vivienda, oficina, aula, clínica, etcétera-- y tiene un costo menor de la mitad que una construcción tradicional.

Descripción

Desde hace muchas décadas se ha utilizado el ferrocemento para construir habitaciones y edificios. Más recientemente, tanto en México como en otros países (1,2), se han hecho edificaciones con mortero reforzado por fibras naturales, en particular henequén. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y limitaciones.

El objeto del trabajo desarrollado por nosotros es combinar ambos métodos para aprovechar las respectivas ventajas y disminuir las limitaciones. De esta forma, usamos los materiales mencionados y el diseño apropiado para que la construcción se ventile por sí misma, aprovechando la energía solar.

Al edificarse con ferrocemento, es necesario emplear varias capas de tela de gallinero y molde. No se puede evitar que el número de capas sea grande si el ojo de la tela es pequeño, pues de otra manera el mortero no se adhiere. Naturalmente, este procedimiento aumenta el costo.

Durante la presente investigación se decidió usar una combinación hecha con una sola tela de gallinero, sobre la cual se teje de manera sencilla la fibra natural; de tal manera que ambas forman una malla lo suficientemente cerrada para que el mortero se adhiera con facilidad, contribuyendo tanto la tela como la fibra a reforzarlo.

El objetivo fue definir un espacio que permitiera el libre flujo de aire caliente para que, al subir por convección, se disipara al exterior a través de una chimenea negra de nuevo diseño, colocada en la parte central-superior de la edificación.

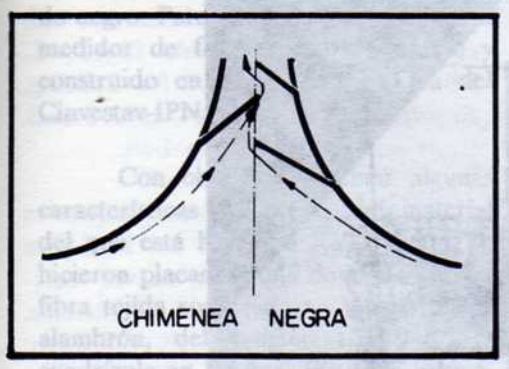
Se optó por emplear una base hexagonal, tomando en cuenta la eficiencia en la utilización de espacios que se observa en los panales de abejas, hechos con esta geometría; y además, porque el diseño se acerca razonablemente a una forma semiesférica, con las ventajas que ello representa (figura 1).

La chimenea negra se construyó con el mismo material. Lleva tres deflectores internos que forman una doble garganta, lo que impide que penetre el agua de lluvia, pero estimula la salida del aire caliente.

Al calentarse la chimenea por efecto de la radiación solar, transmite buena parte de ese calor al aire comprendido en su interior, mismo que está en

* Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Oaxaca. Calle Hornos s/n. Santa Cruz Xoxocotlán. A.P. 674 Oaxaca, Oax. Fax (951) 6.66.10

contacto con la superficie interna y con la superficie de los deflectores que constituyen también aletas de disipación térmica (figura 2).



Este nuevo diseño es más eficiente que la chimenea negra tradicional con tapa exterior. Esta, si bien evita que entre la lluvia, proyecta su sombra sobre la propia chimenea, disminuyendo la cantidad de radiación solar que incide directamente sobre ella. Esta característica le impide que aumente su temperatura, lo que limita su eficiencia.

El efecto de chimenea negra ayuda a dar salida al aire caliente que se genera en contacto con la superficie del interior de las paredes de la habitación. Y la geometría adecuada de la estructura propicia un flujo lento, pero constante, que mantiene el aire en movimiento ascendente hasta que se disipa en el exterior.

De esta manera la habitación se ventila a sí misma por un medio pasivo, lo cual ayuda a mantener un ambiente agradable en el interior.

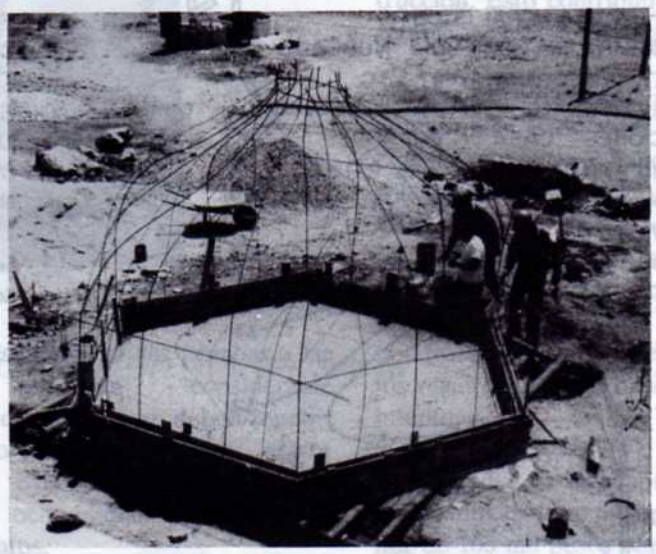
El ingreso del aire se realiza a través de puertas y ventanas o de ventilas abiertas en la parte inferior de la construcción. Esto ayuda a producir un recambio total del aire interior, lo cual es muy cómodo para uso humano e indispensable si la construcción se utiliza como granero.

Por otra parte, este nuevo tipo de construcción no solamente es más cómoda, sino más fuerte y segura que la mampostería ante movimientos sísmicos. Entre sus características están las de ser monolítica y razonablemente ligera, lo cual representa granjdes ventajas para el estado de Oaxaca y para una extensa región del país.

Metodología

La planta hexagonal de la vivienda se construye con varillas de 3/8", alternadas con alambrón, para formar una cuadrícula de aproximadamente 60 cms. por lado. A esta cuadrícula se sujeta tela de gallinero de 1" de ojo. En las orillas de la planta se doblan varillas en sentido vertical, alambrón y tela, para formar con ellos las paredes que, 1.2 m. más arriba, se doblan suavemente hacia un aro central en la cúspide, conservando siempre la geometría hexagonal.

Dos varillas horizontales se amarran a las verticales que han emergido de la base. Esta, por ser muy resistente, se construye sencillamente sobre el suelo previamente emparejado, mojado y apisonado; no requiere ningún tipo de cimentación, pues la propia base con un bordo perimetral de 30 cms. de alto forma una "charola" muy fuerte que distribuye el peso de la vivienda en toda su área (figura 3).



Las varillas que forman las aristas se doblan antes de su ensamble, para que adquieran todas ellas la curvatura adecuada y le den armonía a la construcción.

Ya que las varillas de las aristas están sujetas en su lugar, se unen entre sí con varillas alternadas por alambrones de geometría hexagonal en posición horizontal, formando así una cuadrícula de aproximadamente 60 cms. por lado. Hay que respetar los espacios de puertas y ventanas y hacer un marco que emerja de la construcción alrededor de ellas, con lo que aumenta su rigidez y se impide que penetre el agua de lluvia.

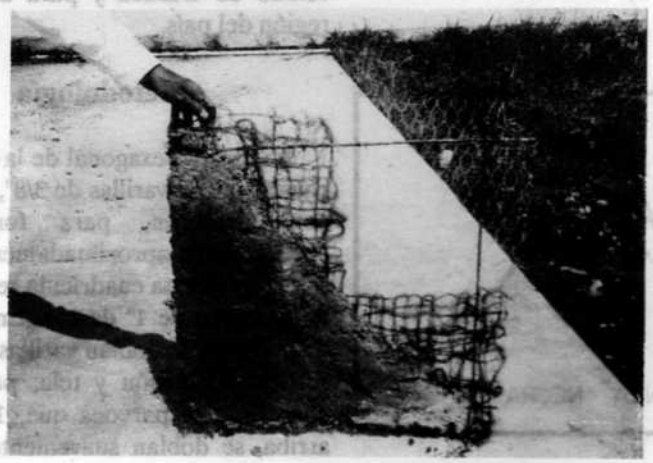
Una vez erigido el armazón que forma paredes y techo, se amarra a él la tela de gallinero en la cual se ha tejido previamente fibra de maguey. Esta ha sido secada al sol e impermeabilizada mediante una breve inmersión en aceite usado de motor de automóvil previamente calentado a unos 60º C, con objeto de eliminar la humedad y reducir la viscosidad. Posteriormente se sacude el zacate y se tiende al sol para eliminar el exceso de aceite de la superficie y mejorar su agarre con la matriz de mortero.

Al impermeabilizar la fibra se alarga considerablemente su vida útil, pues se protege contra el ataque químico que produce la alta alcalinidad del cemento y de las colonias de bacterias que se forman en su interior por la humedad, degradándola eventualmente (3,4).

La fibra tratada se teje sobre la tela de alambre en dos capas perpendicu-

lares entre sí. Con esto, se forma una malla suficientemente cerrada para cubrirla con mortero común, hecho en proporción 1:2.5:0.6 de cemento, arena y agua. Cuando el mortero endurece y antes de que seque totalmente, se aplana con cuchara de albañil para dejar una superficie lisa en el exterior e interior de la vivienda (fig. 4). Es muy importante curar las paredes recién hechas, habiendo necesidad de mojarlas varias veces al día durante una semana, sobre todo cuando la radiación solar es más intensa.

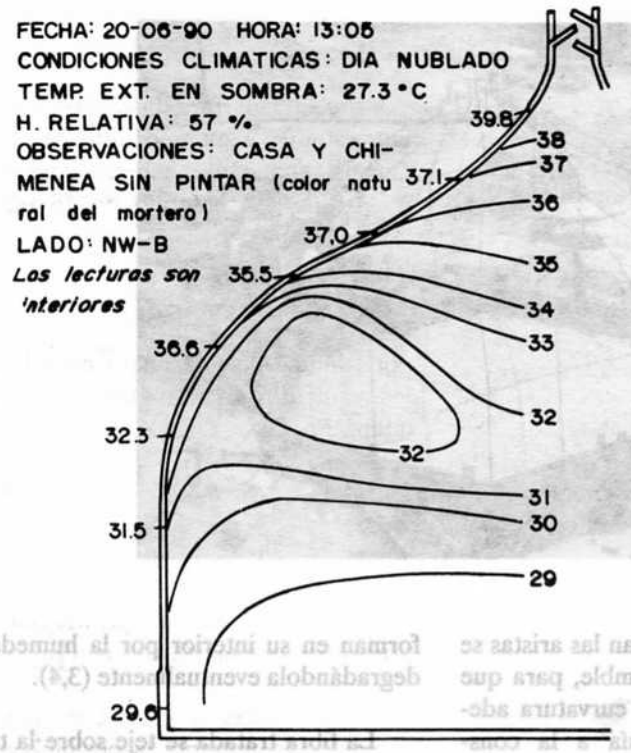
La chimenea negra se hizo utilizando el mismo procedimiento con un armazón de alambrón forrado de tela de gallinero con fibra, integrando los deflectores al cuerpo de la chimenea para evitar que el agua de lluvia penetre en la habitación y para asegurar una razonable continuidad térmica. Para mayor facilidad, se construyó la chimenea por separado de la estructura y se ensambló a ésta una vez hecha, sellando la unión con mortero común.

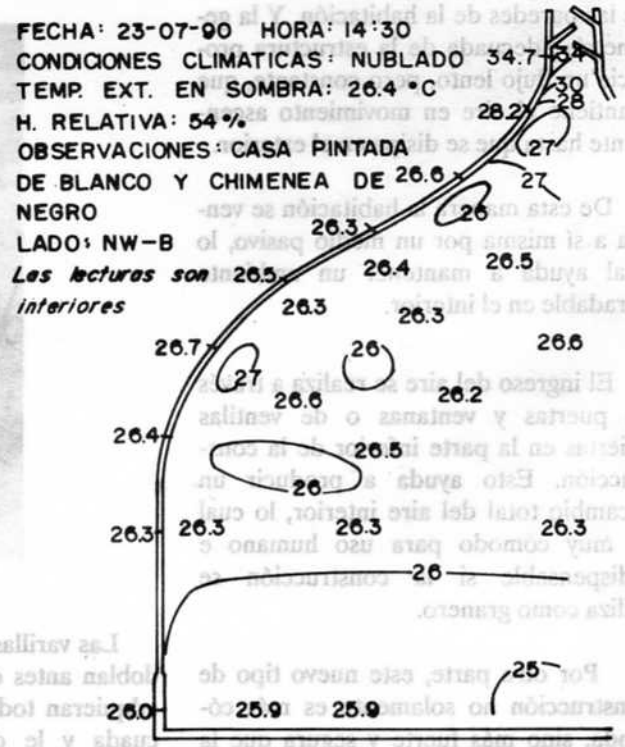


Características

Mediante un medidor digital de temperatura y humedad marca Cole Palmer, mod. 331300, se midieron éstas en puntos bien definidos del interior del prototipo, con las paredes de éste en el acabado y color normales de cemento aplanado (fig. 5).

Se repitieron las medidas ya con la superficie exterior pintada de blanco y la chimenea pintada de negro. (El blanco se consiguió mediante una lechereada de cal con agua impregnada con savia de nopal y sal, para aumentar la adherencia). Se registró una reducción de temperatura del orden de 8ºC en promedio, bajo la intensa incidencia de los rayos del sol (figura 6).





Del mismo modo, se hicieron tres distintas exploraciones del flujo de aire del interior de la habitación por efecto de la chimenea: en el primer caso con la chimenea sin pintar; en el segundo, pintada de blanco, y en el tercero pintada de negro. Para este efecto se utilizó un medidor de flujo de aire diseñado y construido en la Unidad Mérida del Cinvestav-IPN.

Con objeto de evaluar algunas características mecánicas del material del que está hecho la "Casa Gota", se hicieron placas de tela de gallinero con fibra tejida soportada en un marco de alambrón, del tamaño típico de la cuadrícula en las paredes de la misma, más una pestaña perimetral de 10 cms. (aproximadamente 70 x 80 cms.), dándoles un espesor promedio de 4 cms.

Con objeto de comparar, se hicieron también muestras de las mismas dimensiones, pero con refuerzo de tela de gallinero y de metal desplegado únicamente (figura 7).

Se realizaron pruebas a la flexión y a la torsión, para lo cual se utilizó un marco de pruebas marca ERKCO, modelo PH-51T, con una capacidad de carga máxima de 50 toneladas, y un claro para muestras de 87 cms. de ancho y 150 cms. de alto.

El sistema hidráulico de presión fue calibrado con un anillo de referencia, marca SOILTEST, con capacidad de carga de tres toneladas y provisto de un micrómetro de 1/4" de carrera graduado en 0.0001". Este anillo ya había sido previamente calibrado contra un equipo de referencia de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. De esta manera, se pudo medir con precisión de 18 Kg. la carga aplicada sobre las muestras. (figura 8).

Los resultados de las pruebas a las flexión muestran considerable dispersión de valores y se deben repetir, preparando las placas con mayor cuidado y evitando moverlas en los primeros ocho días para evitar agrietamientos.

Sin embargo, estas pruebas iniciales muestran un mejor comportamiento mecánico a la flexión en las placas reforzadas con tela de gallinero y fibra de maguey, con respecto a aquellas que sólo se reforzaron con tela de gallinero. También su comportamiento es mejor que el de las placas reforzadas con metal desplegado. Empero, estas últimas muestran valores a la falla con menos dispersión.

En cuanto a la torsión, la tela de gallinero con fibra de maguey muestra una mayor capacidad para resistir carga para una deformación dada, que la placa reforzada únicamente con tela de gallinero o con metal desplegado.

CONCLUSIONES

Esta construcción, ubicada en un sitio que recibe una alta densidad de radiación solar, ofrece importantes ventajas. Puede ventilarse a sí misma y mantener un ambiente interior agradable.

La chimenea negra, con deflectores internos, muestra cualitativamente un comportamiento adecuado; sin embargo, es necesario estudiar más cuidadosamente sus características para optimizar su diseño. Por supuesto, en épocas invernales, es fácil tapar total o parcialmente la chimenea. También se ha considerado la posibilidad de agregar un aglutinado de material con poca densidad que sea un buen aislante térmico sobre la superficie exterior de la construcción. Esto contribuiría a mejorar la estabilidad térmica del habitat.

Por otra parte, esta construcción es mucho más económica que la tradicional, aunque por haberse construido solamente un prototipo de 16 m2 de base, es tal vez demasiado pronto para asignarle un corto. Es bien sabido que los prototipos siempre son caros --sobre todo en cuanto a mano de obra-- pues por tratarse de una nueva experiencia, los resultados no se obtienen al primer intento.

Empero, la inversión de materiales empleados es sumamente reducida, menor de 100 mil pesos por metro cuadrado. Aunque el costo de mano de obra, aún en condiciones de producción, es probablemente mayor a esta cifra.

De todas formas, este tipo de construcción presenta la posibilidad de abatir los costos quizás tanto como en 50

%, con respecto al precio de edificación tradicional. Además, en parte, puede ser ejecutada fácilmente por mujeres y jóvenes, lo que representaría un ahorro en mano de obra por autoconstrucción.

Obviamente, las pruebas mecánicas realizadas no son suficientes y hay que repetirlas en mayor número de muestras adecuadamente preparadas. También es importante probar muestras para estudiar esfuerzos de tensión y efecto cortante, que seguramente se presentan durante movimientos sísmicos.

El prototipo descrito se construyó sobre una plataforma de maderos apoyados sobre otro madero perpendicular sobre el cual puede oscilar. Por esta razón, la base de este prototipo en particular se hizo más reforzado de lo que se necesitaría en condiciones normales. De esta manera se planea realizar pruebas de resistencia a movimientos telúricos.

También se planea realizar pruebas de resistencia al impacto y compararlas con otros tipos de materiales.

Reconocimientos

En este trabajo han colaborado de manera importante y continua los pasantes de ingeniería civil Eduardo López y Adán A. Díaz. Y en la realización de las pruebas, los pasantes Jesús Cano (ingeniería civil) y Rodrigo Méndez (arquitectura). A todos ellos se les dirige la tesis sobre este tema y otros relacionados. También se contó con la colaboración, por un breve periodo, del ingeniero Pedro Castro, asistente de investigación del Cinvestav, Unidad Mérida, quien ya tenía experiencia previa en prueba de características mecánicas de piezas de ferrocemento.

Referencias

1. "Mortero reforzado con sosquil", A. Fernández y P. Castro, Construcción y Tecnología, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, vol. II, no. 19, dic. 1989.

2. "Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres", L. Nilsson, Swedish Council for Building, Research Document D14, 1979 Svensk Byggtjanst, Stockholm, pp. 1-68.

3. "Estudio de la degradación química y biológica de la fibra del henequén usada como refuerzo en nuevos materiales de construcción", A. Fernández, M. Barceló, P. Castro, IX Encuentro Nacional de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, Guanajuato, mayo de 1988.

4. "Durability of alkali-sensitive fibres in concrete", S. G. Bergström, H. E. Gram, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.

UN ANUNCIO EN SOLAR EQUIVALE A MÁS DE CIEN VENDEDORES EN LAS CALLES...

ANÚNCIESE EN SOLAR Y VEA RESULTADOS.

PARA MÁS INFORMACIÓN, LLÁMENOS A LOS TELÉFONOS 686-1409 Y 686-2075, EXTS. 232 Y 233.

LA REVISTA SOLAR

EN SU NUEVA EPOCA

Destiladores Solares de Agua

por Hugo E. Solís Correa*

La destilación solar de agua es un proceso que se asemeja al ciclo natural del agua. En éste, los mantos superficiales de agua -desde los charcos hasta los océanos- reciben la energía del sol y la transforman en el calor que se utiliza para evaporarla. El vapor asciende por las capas atmosféricas y, al encontrar una masa de aire frío, condensa y se precipita.

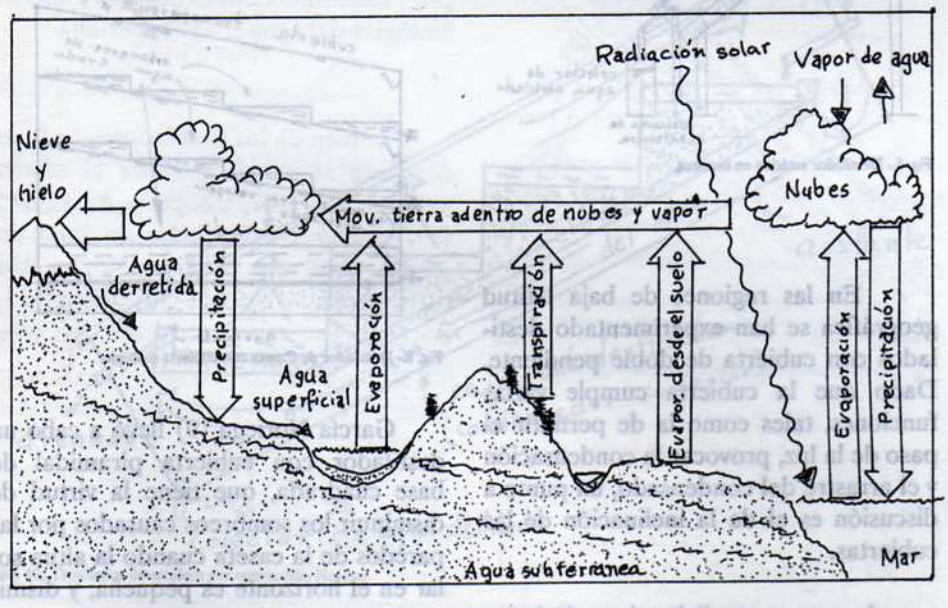


Fig. 1.- El Ciclo Natural del Agua.

Los destiladores solares operan con el mismo principio. En los dispositivos se observan tres zonas de importancia: la de captación de radiación solar y conversión de ésta en calor; la zona de calentamiento y evaporación del agua y, por último, la zona de condensación del vapor y recolección del destilado.

Existe alrededor de un centenar de diseños de destiladores solares de agua. Las filosofías de diseño pugnan por adecuar o mejorar la eficiencia de los procesos que se dan en las tres zonas citadas anteriormente. En este trabajo mostraré algunos diseños que sean de interés por su simplicidad, eficiencia o bajo costo.

Destiladores estáticos o de agua estancada

Los destiladores estáticos, también llamados "convencionales", son los de tecnología más sencilla. El dispositivo clásico es conocido como de tipo "caseta". Este equipo se caracteriza por tener una cubierta transparente con una charola asentada en el piso. El fondo de la charola está pintada en color negro mate y tiene como función captar energía solar y convertirla en calor.

La charola contiene dispositivos de alimentación del agua cruda y de mantenimiento de nivel o control de descargas. Como las paredes de la caseta son enfriadas continuamente por el viento, el vapor condensa y escurre hacia canaletas de recolección (1) (2).

Existen muchísimas variantes del destilador de caseta. Una diferencia común entre ellas estriba en el diseño de las cubiertas. Estas pueden ser de una o dos pendientes.

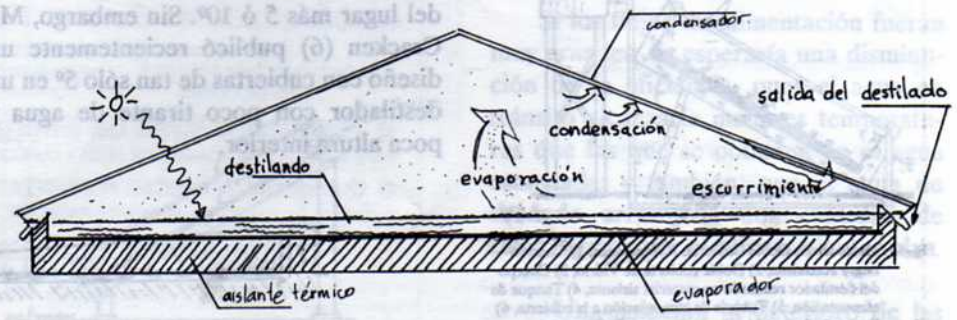


Fig. 2.- Destilador de Caseta.

* Departamento de Ciencias Básicas.
Universidad Autónoma Metropolitana.
Unidad Azcapotzalco.
A.P.

En las regiones geográficas de latitud elevada, en donde la altura solar sobre el horizonte es normalmente pequeña, los diseños tienden a ser de una pendiente. Algunas veces se aprovecha el reflejo de la pared opuesta a la incidencia de radiación, con la intención de aumentar la superficie de captación de radiación (3). En estos casos es normal que la inclinación de la cubierta sea grande, pues ello facilita la penetración de la luz, o disminuye las reflexiones.

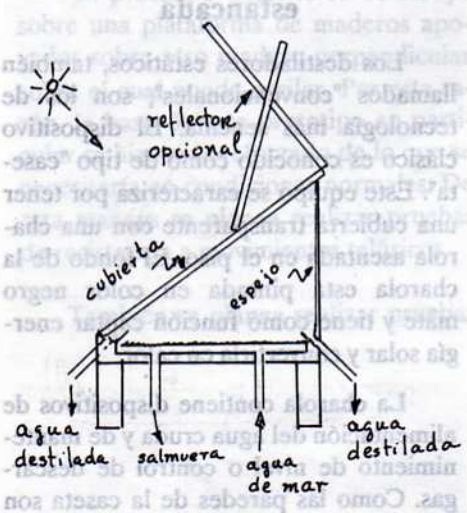


Fig. 3.- Destilador de Caseta con una pendiente.

En algunas ocasiones se construye la cubierta con una doble capa de material transparente, con el objeto de hacer circular el agua cruda entre las capas (4). Esto tiene como fin garantizar que la capa interna esté suficientemente fría como para provocar la condensación del vapor. Además de que así se puede recuperar el calor invertido en la evaporación, "precalentando" el agua de alimentación. Estos tipos de dispositivos no son formalmente estáticos, puesto que el agua cruda puede ser alimentada en forma lenta, aunque continua.

Cuando la pendiente de la cubierta llega a ser pronunciada, ocurre que la masa de aire encerrada es grande y puede provocar la condensación precoz del vapor, antes de llegar a la cubierta. Una forma de evitar este fenómeno es mediante la construcción del fondo en forma de escalera, colocando una charola en cada escalón.

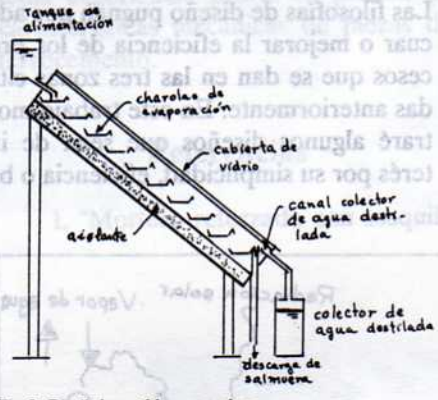


Fig. 5.- Destilador estático en escalera.

En las regiones de baja latitud geográfica se han experimentado destilados con cubierta de doble pendiente. Dado que la cubierta cumple varias funciones, tales como la de permitir el paso de la luz, provocar la condensación y el arrastre del condensado, un punto a discusión es el de la inclinación de las cubiertas.

La receta tradicional es darle un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar más 5 ó 10º. Sin embargo, Mc Cracken (6) publicó recientemente un diseño con cubiertas de tan sólo 5º en un destilador con poco tirante de agua y poca altura interior.

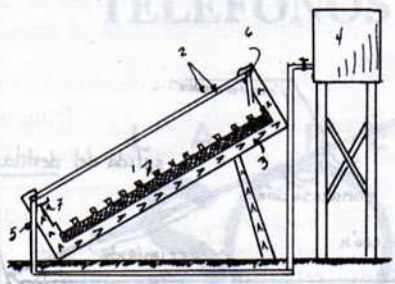


Fig. 4.- Destilador de Doble Cubierta. Acotaciones: 1) Charola negra acanalada, 2) Doble cubierta de Vidrio, 3) Cuerpo del destilador realizado en material aislante, 4) Tanque de alimentación, 5) Tubería de alimentación a la cubierta, 6) Descarga de la cubierta a la charola y 7) Canal para colectar el destilado.

Fig. 6.- Destilador estático con cubierta en "V".

En el otro extremo, Fernández Zayas y colaboradores (7) estudiaron el efecto de grandes inclinaciones (mayores de 45º) y encontraron que el movimiento convectivo del aire ayuda a arrastrar el vapor hacia las superficies de condensación. Delyannis (8) desarrolló un destilador con cubierta en V con buenos resultados.

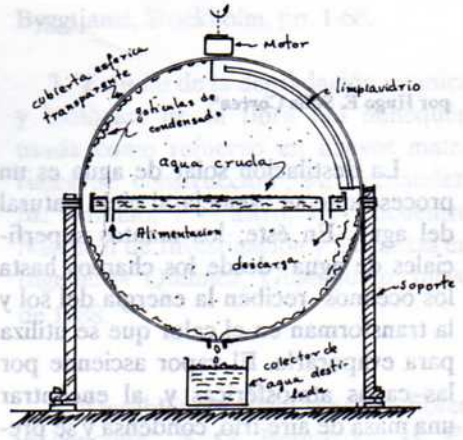


Fig. 7.- Destilador esférico de Menguy (Ref. 10)

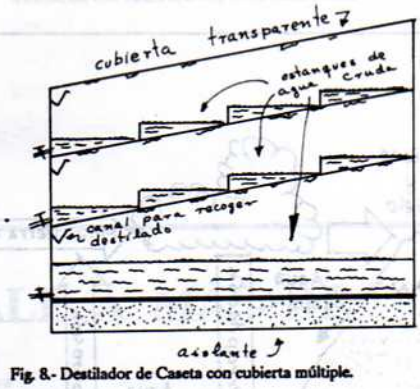


Fig. 8.- Destilador de Caseta con cubierta múltiple.

García Noriega (9) llevó a cabo un destilador con cubierta piramidal de base cuadrada, que tiene la virtud de disminuir los sombreos causados por las paredes de la caseta cuando la altua solar en el horizonte es pequeña, y disminuye la importancia de la orientación del dispositivo. En esta misma dirección, Menguy (10) desarrolló un dispositivo de forma esférica con limpiador, ya que las gotículas adheridas a la cubierta disminuyen la transmisión de la luz hacia la charola.

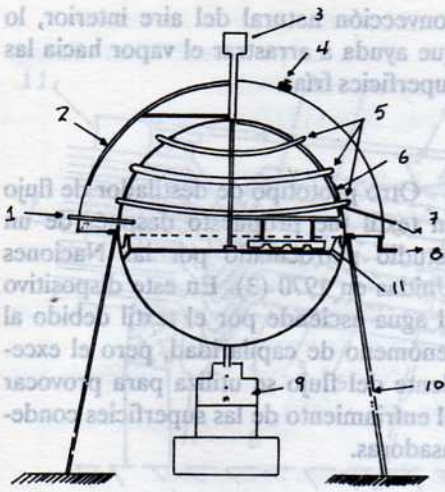


Fig. 9.- Destilador Esférica de doble Efecto. Acotaciones: 1) Entrada de agua a destilar, 2) Limpiador de la superficie condensadora, 3) Motor del limpiador y del agitador, 4) Entrada de agua a destilar en el segundo efecto, 5) Canales de agua en el segundo efecto, 6) Limpiador de la superficie condensadora del primer efecto, 7) Salida de agua, 8) Agua destilada del segundo efecto, 9) Agua destilada del primer efecto, 10) Soporte metálico y 11) Agitador del agua caliente.

lor por conducción en la base del dispositivo y otros efectos, la productividad de la mayoría de los equipos de destilación es aproximadamente de 2.5 a 4 Kg./día.m2 (eficiencias del 35 al 55 %).

Una forma de aumentar la productividad es mediante el diseño de dispositivos que reusen el calor, procurando que el calor de condensación del vapor sea utilizado como calor de evaporación de otra fracción del agua alimentada. A estos destiladores se les denomina "de efecto múltiple". Lobo y Araujo (11) diseñaron un destilador estático tipo caseta, con varias cubiertas que tienen la posibilidad de producir un estanque entre las cubiertas. El objeto era lograr el efecto múltiple.

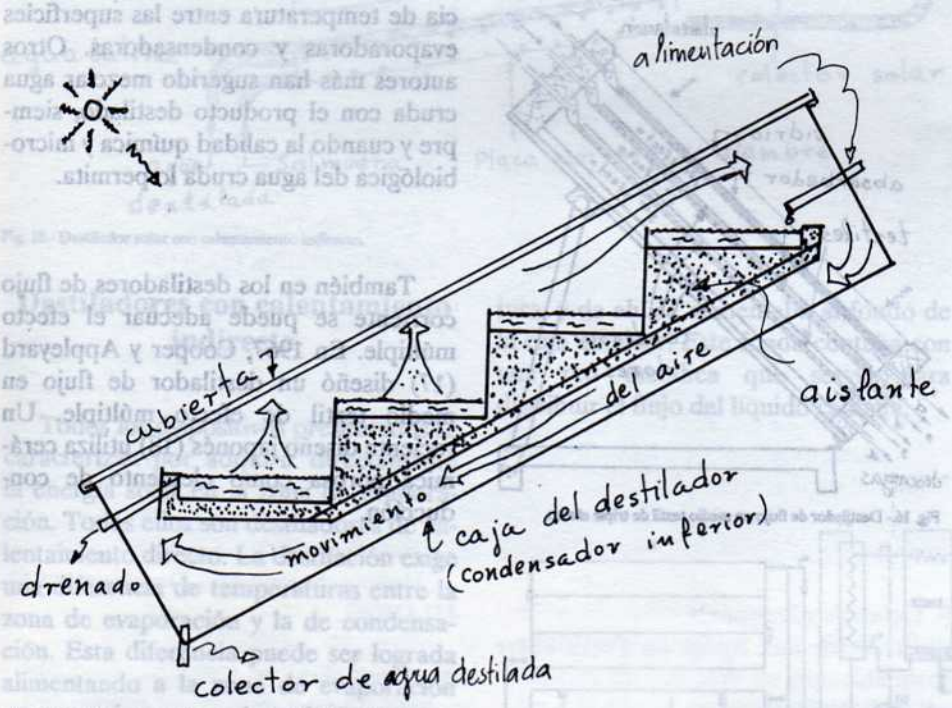


Fig. 10.- Destilador de escalera por convección Natural.

La ganancia de calor en la charola del destilador es del orden de 17 MJ/día.m2 como promedio diario anual, en las regiones de buena insolación. Si este calor pudiera ser utilizado para generar vapor, la productividad de un destilador sería del orden de 7 Kg. de agua destilada por m2 al día.

Sin embargo, debido a la reflexión de la luz en las cubiertas, a pérdidas de ca-

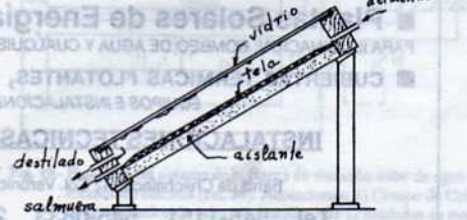


Fig. 11.- Destilador Inclinado de flujo en medio textil.

Sodha y su grupo produjeron una versión más sencilla en 1980 (12). Barrera y Enríquez (13) trabajan con un destilador esférico de doble efecto.

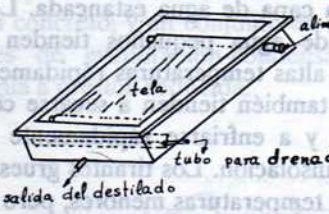


Fig. 12.- Destilador de flujo en textil suspendido.

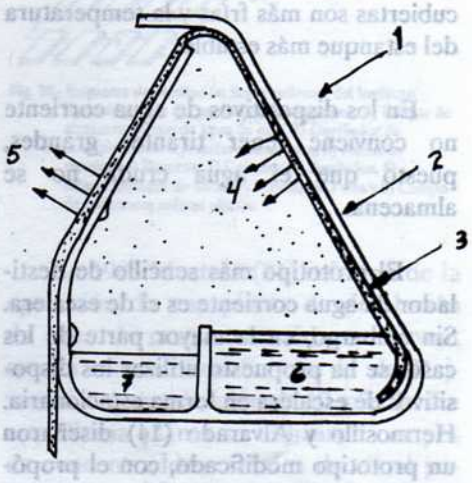


Fig. 13.- Diseño ONU de destilador solar. Acotaciones: 1) Radiación Solar, 2) Cuerpo del destilador extruido en plástico, 3) Textil grueso embebido con agua salina, 4) Vapor en el interior, 5) Evaporación en el exterior, 6) Agua salina y 7) Recolección de condensados.

Destiladores de agua corriente

Uno de los problemas tradicionales en la operación de los destiladores de agua estancada es el de la formación de sarros sobre las superficies de las charolas. Por tal motivo, es aconsejable poner el agua en movimiento, con un gasto que sea al menos del doble de la productividad esperada.

Si los flujos de alimentación fueran muy grandes, se esperaría una disminución de la eficiencia, pues el agua en tránsito alcanzaría menores temperaturas que las que se obtienen en el agua estancada; y también, que el agua de drenado arrastraría una cantidad de calor lograda por el calentamiento solar.

Una solución al deterioro de las superficies captadoras por la formación

de sarros es el uso de colorantes en el agua de la charola.

Otra decisión que hay que tomar en los destiladores estacionarios es el grosor de la capa de agua estancada. Los tirantes de agua pequeños tienden a alcanzar altas temperaturas rápidamente, pero también tienden a secarse con facilidad y a enfriarse rápidamente al cesar la insolación. Los tirantes gruesos alcanzan temperaturas menores, pero el calor absorbido es almacenado por más tiempo. Estos dispositivos producen mayor destilado en el periodo nocturno que en el diurno, ya que en la noche las cubiertas son más frías y la temperatura del estanque más estable.

En los dispositivos de agua corriente no conviene tener tirantes grandes, puesto que el agua cruda no se almacena.

El prototipo más sencillo de destilador de agua corriente es el de escalera. Sin embargo, en la mayor parte de los casos se ha propuesto utilizar los dispositivos de escalera en forma estacionaria. Hermosillo y Alvarado (14) diseñaron un prototipo modificado, con el propósito de permitir que el aire encerrado sufra un proceso de convección natural y esto mejore el arrastre del vapor hacia las superficies condensadoras.

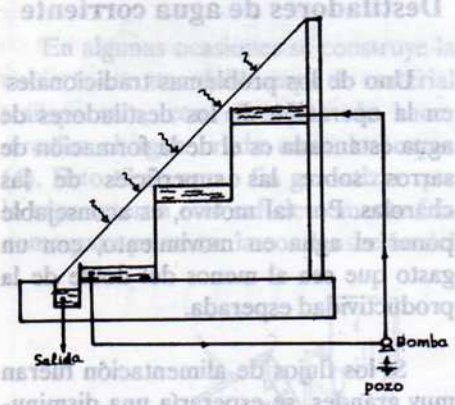


Fig. 14.- Destilador con recirculación de agua cruda.

Destilador de escalera por convección natural

En 1976, Telkes (15) propuso un dispositivo que puede ser denominado el pionero entre los destiladores de flujo. En este prototipo las charolas

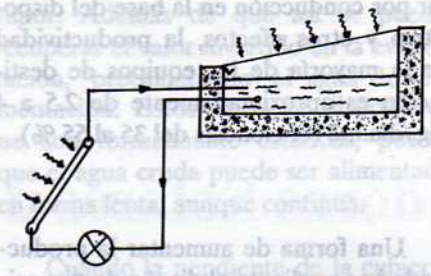


Fig. 15.- Destilador con recirculación y precalentamiento apoyado en un Colector Solar Plano (CSP).

fueron sustituidas por una tela, de tal manera que el grosor del tirante de agua se reduce al mínimo. En 1979, Mustafá (16) evaluó otro destilador, en el que la tela se encontraba suspendida. En este equipo se nota que la superficie de evaporación se duplica, así como también la superficie de condensación. En este diseño al parecer se logra el proceso de convección natural del aire interior, lo que ayuda a arrastrar el vapor hacia las superficies frías.

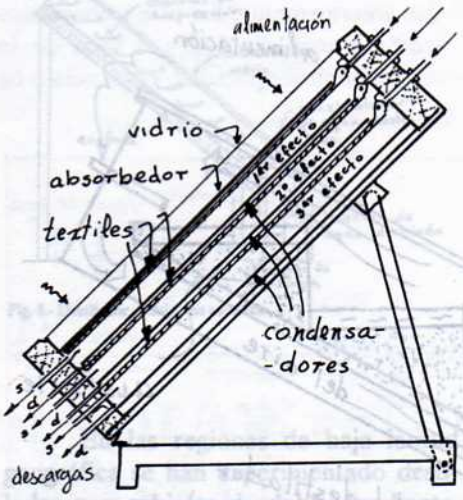


Fig. 16.- Destilador de flujo en medio textil de triple efecto.

Otro prototipo de destilador de flujo en textil fue propuesto después de un estudio patrocinado por las Naciones Unidas en 1970 (3). En este dispositivo el agua asciende por el textil debido al fenómeno de capilaridad, pero el excedente del flujo se utiliza para provocar el enfriamiento de las superficies condensadoras.

Algunos autores han propuesto dispositivos en los que se recicla el agua dura drenada del destilador. Otros proponen el uso de calentadores solares de agua con objeto de aumentar la diferencia de temperatura entre las superficies evaporadoras y condensadoras. Otros autores más han sugerido mezclar agua cruda con el producto destilado, siempre y cuando la calidad química y microbiológica del agua cruda lo permita.

También en los destiladores de flujo corriente se puede adecuar el efecto múltiple. En 1967, Cooper y Appleyard (17) diseñó un destilador de flujo en medio textil de efecto múltiple. Un reciente diseño japonés (18) utiliza cerámica porosa como elemento de conducción.

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

ITE

■ **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

INSTALACIONES TECNICAS ESPECIALIZADAS, S.A.

Bahía de Chachalacas 42 Col. Verónica Anzurez 11300, México, D.F.

Tel 545-1151 545-0833 203-9698 FAX 255-2584

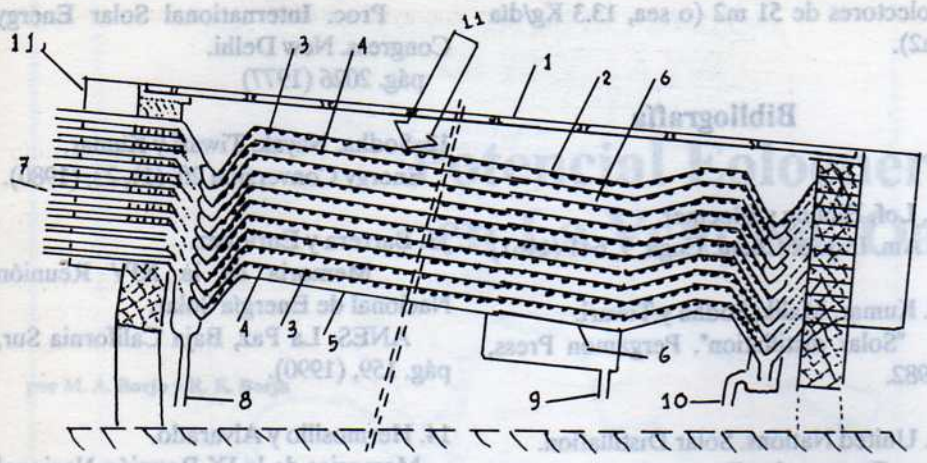


Fig. 17.- Modelo Japonés de Destilador de múltipe efecto. Acotaciones: 1) Cubierta de vidrio, 2) Placa de recepción solar, 3) Material poroso, 4) Placa de penetración de calor (condensadora), 5) Placa de radiación de calor, 6) Descarga de agua fresca, 7) Entrada de agua salina, 8) Excedentes, 9) Salida del agua destilada, 10) Salida de salmuera y 11) Radiación Solar.

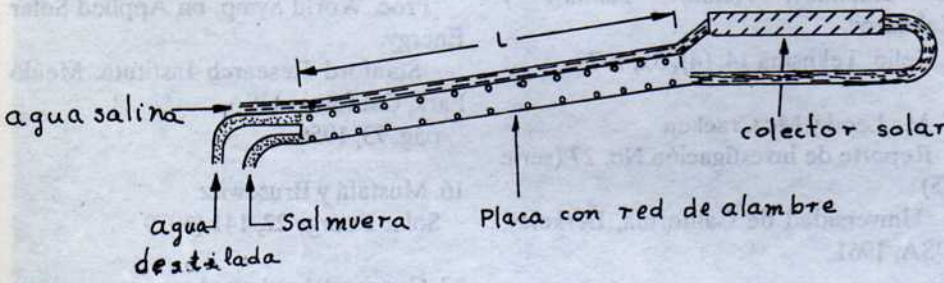


Fig. 18.- Destilador solar con calentamiento indirecto.

Destiladores con calentamiento indirecto

Todos los dispositivos presentados se caracterizan por adquirir directamente la energía solar en la zona de evaporación. Todos ellos son destiladores de calentamiento directo. La destilación exige una diferencia de temperaturas entre la zona de evaporación y la de condensación. Esta diferencia puede ser lograda alimentando a la zona de evaporación agua previamente calentada por métodos solares. El colector solar plano es el dispositivo generalmente utilizado para tal propósito.

Bartali (19) publicó en 1976 un modelo de destilador con calentamiento indirecto. El destilador operaba de la siguiente forma: en una caja con doble tapa (opaca) se alimentaba el agua cruda. Al quedar ésta en contacto con la parte superior de la caja, garantizaba una superficie fría para la condensación. El agua cruda pasaba a un calentador solar en donde aumentaba de temperatura, y de ahí se alimentaba al fondo de la caja anterior. Este fondo contaba con una red metálica que servía para distribuir el flujo del líquido caliente.

En 1980 Rajvanshi (20) presentó un esquema para un sistema de desalación de agua de mar mediante dos subsistemas: el calentamiento de agua en un campo de colectores solares construidos en concreto, y un conjunto de 20 unidades de evaporación-condensación de agua a presión reducida.

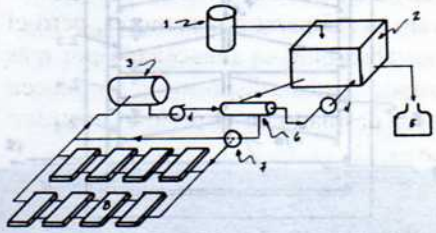


Fig. 20.- Esquema de destilación Solar indirecta del Instituto Tecnológico de la Paz, B.C.S. Acotaciones: 1) Tanque de almacenamiento de agua de mar, 2) Destilador de múltiple efecto a presión atmosférica, 3) Almacén térmico, 4) Bombas, 5) Colector de destilados, 6) Intercambiador de calor, 7) Válvula de 3 vías y 8) Campo de colectores solares planos.

En 1985 Mustafá (21) informó de la operación de una planta de desalación de agua de mar, construida en Kuwait con la misma filosofía que la de Rajvanshi, con producción de 10 m3/día. En esta última planta se utilizaron campos de concentradores solares de canal parabólico.

Fernández y Chargoy (22) desarrollaron en el ITLP un desalador de agua de

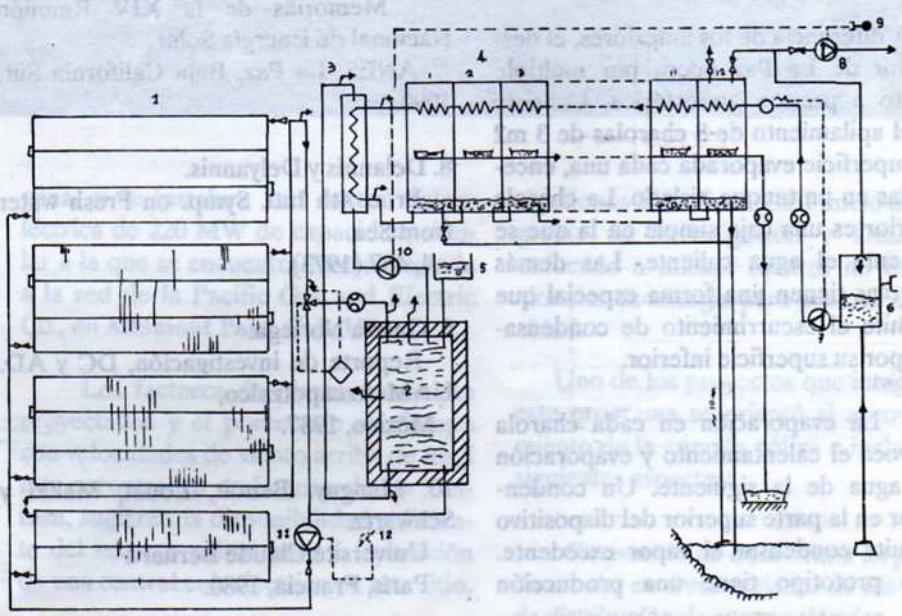


Fig. 19.- Esquema del sistema de la planta de desación solar de agua por calentamiento indirecto mediante el proceso de evaporación forzada en cascada (ref. 20). Acotaciones: 1) Campo de Colectores Solares por concentración, 2) Almacenamiento térmico, 3) Intercambiador de calor, 4) Conjunto de 12 unidades de evaporación forzada en cascada, 5) Recipente de expansión y vacío, 6) Desaireador, 7) Bomba para alimentación de agua de mar, 8) bomba de vacío, 9) Arrancador, 10) Bomba para el ciclo del intercambiador de calor, 11) Bomba para alimentación del campo de Colectores y 12) Sensor de sol.

múltiple efecto, con calentamiento indirecto. Al igual que en los casos anterio-

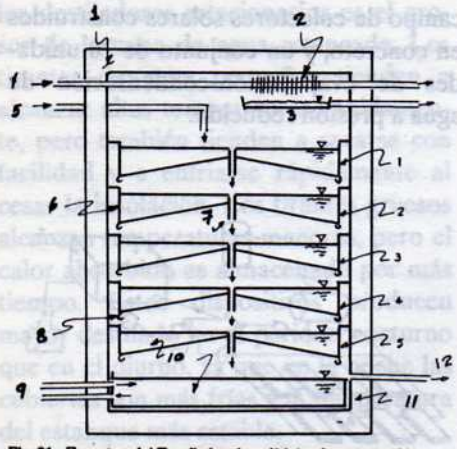


Fig. 21.- Esquema del Destilador de múltiple efecto a presión atmosférica del ITLP. Acotaciones: 1) Tanque adiabático, 2) Condensador, 3) Colector principal de condensado, 4) Agua de enfriamiento, 5) Alimentación de agua de mar, 6) Charolas de evaporación, 7) Reboseaderos, 8) Colectores de destilado, 9) Entrada/salida del agua caliente, 10) Agua a destilar, 11) Charola de base y 12) Derramadero.

res, se utilizan dos subsistemas independientes: en uno de ellos se circula agua tratada a través de un banco de colectores solares planos y se almacena el agua caliente en un tanque térmico bien aislado; en el otro se circula agua a destilar desde la charola inferior del destilador y se calienta en un intercambiador de calor alimentado térmicamente por el circuito anterior.

A diferencia de los anteriores, el destilador de La Paz opera por múltiple efecto a presión atmosférica. Consiste en el apilamiento de 8 charolas de 3 m2 de superficie evaporada cada una, encerradas en un tanque aislado. La charola inferior es una caja simple en la que se alimenta el agua caliente. Las demás charolas tienen una forma especial que permite el escurrimiento de condensador por su superficie inferior.

La evaporación en cada charola provoca el calentamiento y evaporación del agua de la siguiente. Un condensador en la parte superior del dispositivo permite condensar el vapor excedente. Este prototipo tiene una producción diaria de 680 Kg/día, con un campo de colectores de 51 m2 (o sea, 13.3 Kg/día m2).

Bibliografía

1. Lof, Eibling y Bloemer.
Am. Inst. of Chem. Engn. 7, 641 (1961)

2. Kumar, Malik, Sodha y Tiwari.
"Solar distillation". Pergamon Press, 1982.

3. United Nations. Solar Distillation.
Depto. de Economía y Asuntos Sociales.
Nueva York, 1970.

4. Akhtamov, Achilov, kamilov y Kakharov.
Gelio. Tekhsiha 14, (4), 51, 1978.

5. Mc Leod y Mc Cracken.
Reporte de investigación No. 27 (serie 75)
Universidad de California, Berkeley, USA, 1961.

6. Mc Cracken y Porta. Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar. ANES. La Paz, Baja California Sur, 1990.

7. Fernández Zayas, Palacio y Castrejón.
Memorias de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar.
ANES. La Paz, Baja California Sur, 1990.

8. Delannis y Delyannis.
Proc. 4th Intl. Symp. on Fresh water from Sea.
4, 487 (1973).

9. García Noriega.
Reporte de investigación, DC y AD. UAM-Azcapotzalco,
México, 1987.

10. Menguy, Benoit, Louat, Makki y Schwartz.
Université Claude Bernard
París, Francia, 1980.

11. Lobo y Araujo.
Proc. International Solar Energy Congress. New Delhi.
pág. 2026 (1977)

12. Sodha, Nayak, Tiwari y Kumar.
Energy Conversion 20, (1), 23, (1980).

13. Barrera y Enríquez.
Memoria de la XIV Reunión Nacional de Energía Solar.
ANES. La Paz, Baja California Sur, pág. 159, (1990).

14. Hermosillo y Alvarado.
Memorias de la IX Reunión Nacional de Energía Solar.
ANES. Mérida, Yucatán, 1985.

15. Telkes.
Proc. World Symp. on Applied Solar Energy.
Stanford Research Institute. Meulo Park, California USA.
pág. 73, 1956.

16. Mustafá y Brusewitz.
Solar Energy 22, 141 (1979 = .

17. Cooper y Appleyard.
Sun at Work, 12, (1), 4 (1967).

18. Toyama.
Conferencia dictada en la UAM-Iztapalapa. México, 1989.
(Citada en las notas del curso "Destilación solar de agua de mar"). ANES, 1990.

19. Bartali et al.
Heliotechnique and Development II, 431 (1976).

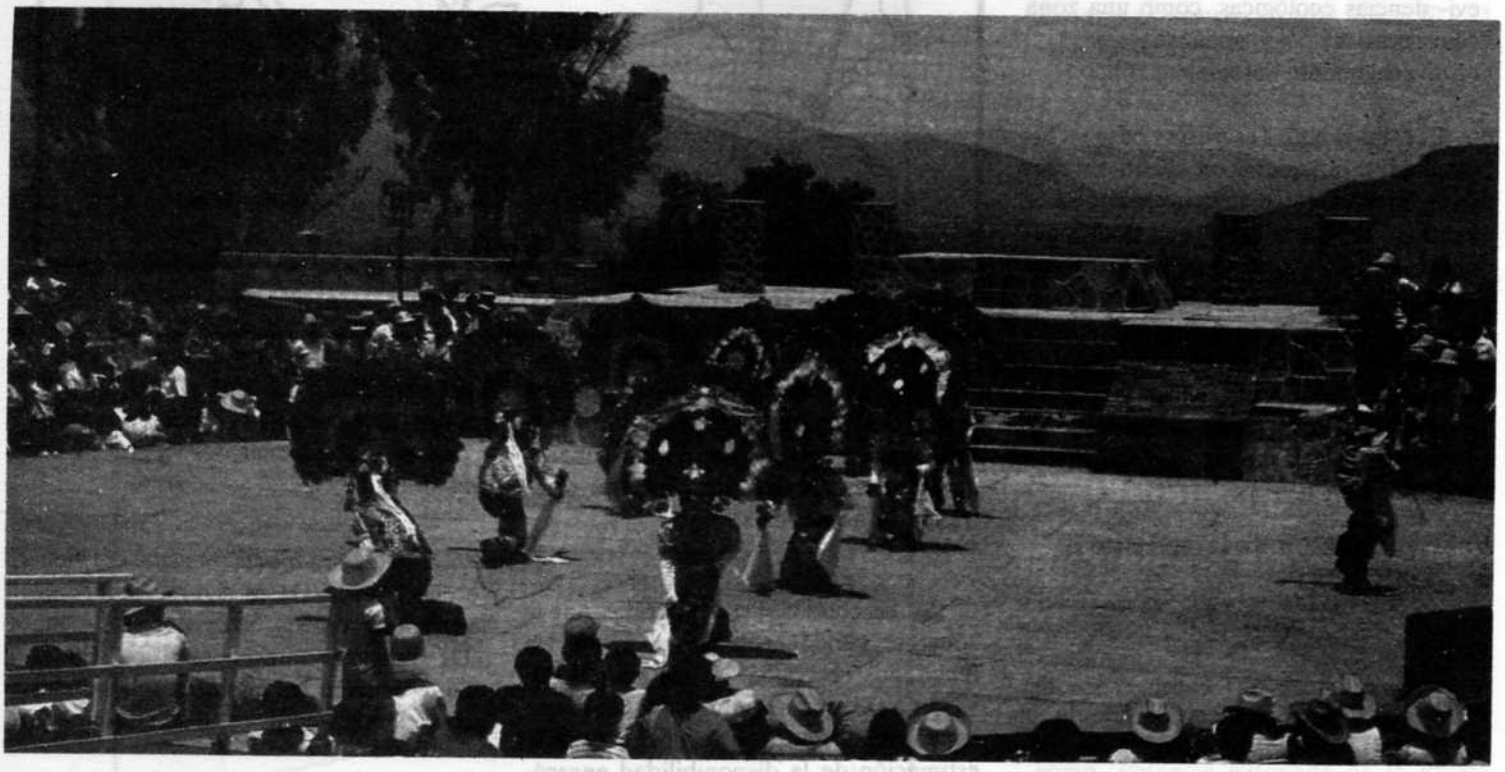
20. Rajvanshi.
Solar Energy, 24, 551-60, (1980).

21. Mustafá, Jarrar y El-Mansy.
Solar Energy 35, (4), 333-40, 1985.

22. a) Fernández Zayas y González.
Memorias de la XI Reunión de Energía Solar. ANES, 1987.
b) Fernández y Chargoy.
Solar Energy 44. (4), 215-23, (1990).

Potencial Eoloenergético en La Ventosa, Oaxaca

por M. A. Borja y R. E. Borja



Con el propósito de probar la factibilidad técnica de la instalación de una central eoloeléctrica en **La Ventosa, Oaxaca, México,** se utilizaron los resultados obtenidos en la investigación denominada **Evaluación del Potencial Eoloenergético en La Ventosa.** Con ellos, se estimó la cantidad de energía eléctrica que podría producirse en esta zona, si se instalara una central eoloeléctrica de 220 MW de capacidad, similar a la que se encuentra interconectada a la red de la Pacific Gas and Electric Co., en **Altamont Pass, Cal., USA.**

Los factores de planta mensuales proyectados y el porcentaje de tiempo con velocidades de viento arriba de los 5 m/s encontrados en la zona de **La Ventosa,** sugieren la disponibilidad suficiente del recurso eólico para la operación de una central eoloeléctrica en este sitio.

Antecedentes

Ya desde 1977, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) inició un Programa de Investigación y Desarrollo enfocado a utilizar fuentes no convencionales de energía para generar electricidad.

Uno de los proyectos que integraban este programa se orientó al aprovechamiento de la energía eólica e incluyó los siguientes aspectos:

. Generación de electricidad en pequeña escala, en áreas alejadas de las líneas de distribución de energía eléctrica.

Desarrollo de Pequeños Sistemas Conversores de Energía Eólica (PSCEE).

*Departamento de Fuentes Alternas de Energía
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
A:P: 475
Cuernavaca, Morelos C:P: 62000
México.

. Prospección y evaluación del potencial energético eólico en sitios de interés.

. Estudios de factibilidad para interconexión de pequeñas, medianas y grandes centrales eoloeléctricas, a las líneas de distribución de energía eléctrica.

Posteriormente, los últimos seis meses de 1984 y todo 1985, se desarrolló un proyecto relativo a la **Evaluación del Potencial Eólico en La Ventosa, Oaxaca.** Esta zona previamente había sido identificada en forma cualitativa, mediante evi- dencias ecológicas, como una zona con características adecuadas para el aprovechamiento del recurso eólico.

El trabajo aquí descrito se basa en los resultados obtenidos en dicho estudio (ref. 1), y contiene la estimación de la cantidad de electricidad que podría generarse en esta zona si se instalara una central eoloeléctrica de 220 MW de capacidad. Este tipo de central es similar a la que operaba en octubre de 1984 en **Altamont Pass, Cal., USA, y que se hallaba** interconectada a la red de suministro eléctrico de la Pacific Gas and Electric Co.

Descripción de la zona de la Ventosa. Resultados.

La Ventosa se localiza al sur del Istmo de Tehuantepec y comprende un área de aproximadamente 1,584 Km2.

En la figura 1 se muestra un mapa de esta región. Asimismo, la localización de los sitios **VO1, VO2, VO3, VO4 y VO5,** donde se instalaron, a una altura de diez metros, sistemas de adquisición de datos para obtener información básica de la velocidad media del viento y de su dirección dominante, en intervalos continuos de 15 minutos, a lo largo de año y medio.

La información fue procesada mediante programas computacionales desa rrollados por el propio Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Como resultado del procesamiento y análisis de la información, se delimitó el área sombreada en la figura 1. Corresponde a aquélla en la que ocurren las velocidades de mayor magnitud y persistencia del viento, ya que son éstas las que pueden aprovecharse para operar una central eoloeléctrica y generar electricidad a gran escala.

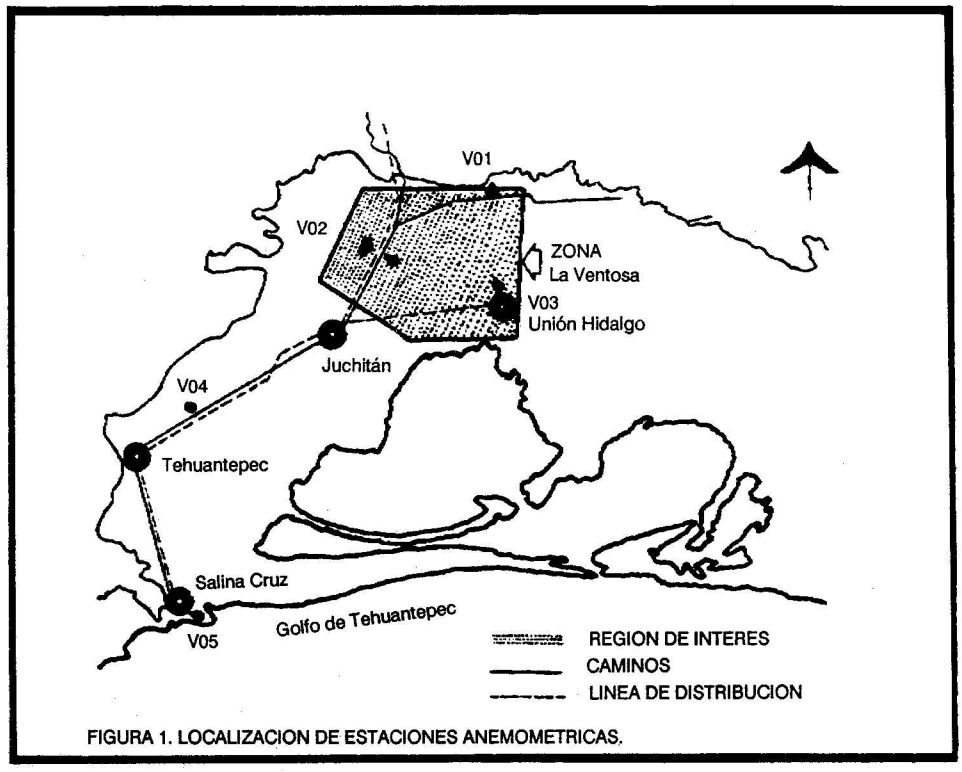


FIGURA 1. LOCALIZACION DE ESTACIONES ANEMOMETRICAS.

Por las condiciones topográficas de la zona, se combinaron de tal forma los resultados obtenidos en los sitios **VO1, VO2 y VO3,** que se obtuvo un sólo grupo de datos, mismo que se utilizó para la estimación de la disponibilidad energética del viento en la totalidad del área delimitada.

Los resultados sobre la velocidad media del viento y los factores K y C (factor de forma y escala, respectivamente) de la función de distribución de probabilidad de Weibull, obtenidos originalmente en estudios realizados a una altura de 10 metros, se extrapolaron a 27.5 metros. El propósito era compararlos con los resultados de otro estudio llevado a cabo en 1985, correspondiente a la **Pacific Gas and Electric en Altamont Pass, Cal., USA.**

En la tabla 1, la información de las líneas 1 a 9 muestra los valores obtenidos para los sitios **VO1, Vo2 y VO3,** y en la fitura 3 se muestra la gráfica de la velocidad media mensual del viento en los tres sitios.

La velocidad media mensual del viento en el sitio **VO1** es significativamente mayor que en los otros dos. Le sigue **VO2,** mientras que en el sitio **VO3** es donde ocurren las menores velocidades promedio de viento.

Sin embargo, se observa que el comportamiento de las velocidades medias mensuales de viento, a lo largo del año, es similar para los tres sitios. Las mayores velocidades promedio mensuales ocurren durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, mientras que los valores menores se dan en mayo y junio.

Las magnitudes de la velocidad media anual son: 9.82 m/*s* para **VO1**; 7.26 m/*s* para **VO2** y 6.34 m/*s* para **VO3.**

Debido a la variabilidad de las velocidades de viento sobre el área de **La Ventosa** y con el propósito de realizar una cuantificación conservadora de la disponibilidad eoloenergética del viento

FIG. 2 VELOCIDAD PROMEDIO MENSUAL EN LOS SITIOS V01,V02 & V03

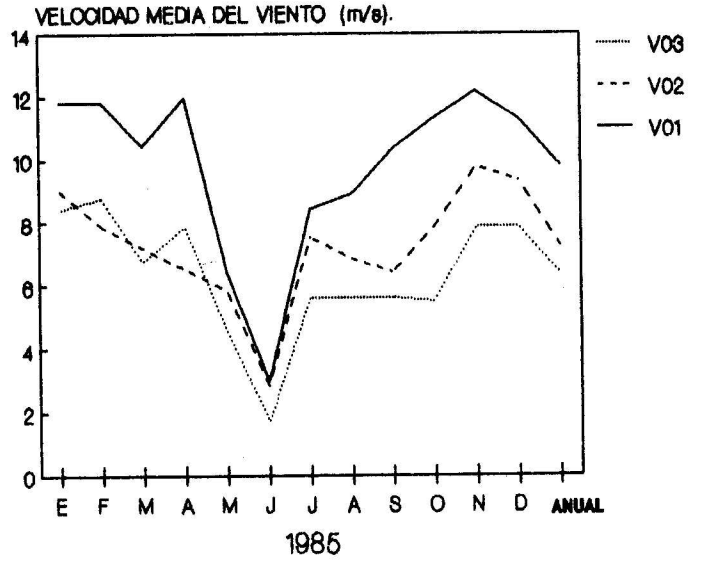
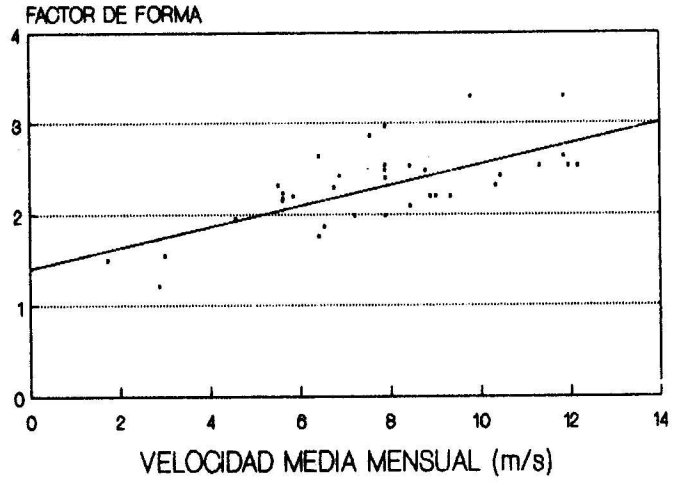


FIG. 3 FACTOR DE FORMA (K) PARA LA f.d.p. DE WEIBULL EN "LA VENTOSA" (a 27.5 MTS. de altura) (1985).



en toda la zona, se determinó el valor promedio de las velocidades medias mensuales de viento para los sitios **V01, V02** y **V03**, y el resultado se consideró como el valor medio mensual de la velocidad de viento en toda la zona. Los resultados obtenidos se muestran en la línea 10 de la tabla 1.

Los factores de forma (K) de la función de densidad de probabilidad de Weibull, asociados a las velocidades medias mensuales de viento en la zona de **La Ventosa**, también fueron determinados de manera conservadora, utilizando la tendencia de los 36 valores disponibles para los sitios **V01, V02** y **V03**. En la figura 3 se muestra la tendencia de estos valores.

Los factores mensuales de escala (C) para la función de Weibull se determinaron aplicando la fórmula convencional:

$$C = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1+\frac{1}{K})}$$

Los resultados obtenidos para ambos factores se muestran en las líneas 10 y 11 de la tabla 1.

La Central Eoloeléctrica de Altamont Pass

El objetivo de este documento es realizar una comparación entre la disponibilidad del potencial eoloenergético en **La Ventosa** y **Altamont Pass**, y estimar la energía que se podría generar si una central como la instalada en **Altamont Pass** para la **Pacific Gas and Electric Co.** (220 MW en octubre de 1984), se construyera en **La Ventosa**.

Para conseguir este propósito, se utilizó la curva de potencia presentada como "Potencia Estimada de la Planta Eólica de Altamont, como si los 220 MW instalados fueran un sólo Aerogenerador", en el documento titulado "Status of the 220 Megawatt Altamont Wind Plant" (referencia 2). Cabe hacer notar que esta curva de potencia representa sólo a los aerogeneradores instalados para la Pacific Gas and Electric y no a todas las centrales eoloeléctricas instaladas en Altamont Pass.

Por otra parte, del reporte de EPRI, titulado "Altamont Wind Power Plant Evaluation for 1986", preparado por PG & E (referencia 3), se obtuvieron las velocidades medias mensuales durante 1985 para este sitio.

En la tabla 1 se pueden consultar estos datos en la línea 18.

Comparación y resultados

En la figura 4 se muestran los promedios mensuales de las velocidades de viento obtenidas para **La Ventosa** y **Altamont Pass**, bajo condiciones similares, esto es, ambas a 27.5 metros de altura.

Como puede observarse, en **La Ventosa** se presentaron velocidades medias de viento con valores arriba de los 7 m/*s* durante 10 meses del año, mientras que en **Altamont Pass estos valores se observan únicamente durante 4 meses.**

La velocidad media anual de viento en La Ventosa es de 7.8 m/*s* , mientras que en **Altamont Pass** es de sólo 5.4 m/*s*.

Con base en la función de densidad de probabilidad de Weibull y en los factores de K y C obtenidos para **La Ventosa**, se determinó el porcentaje de tiempo con velocidades de viento arriba de 5 m/*s*. Los resultados obtenidos se muestran en la línea 13 de la tabla 1. En la figura 5 se presenta una gráfica de los mismos datos, donde puede observarse que durante 9 meses del año, el tiempo con velocidades de viento arriba de los 5 m/*s* es superior al 70 % y que el porcentaje anual tiene un valor de 71.66 %.

FIG. 5 PORCENTAJE DE TIEMPO CON VELOCIDADES MAYORES QUE 5 m/s EN "LA VENTOSA"

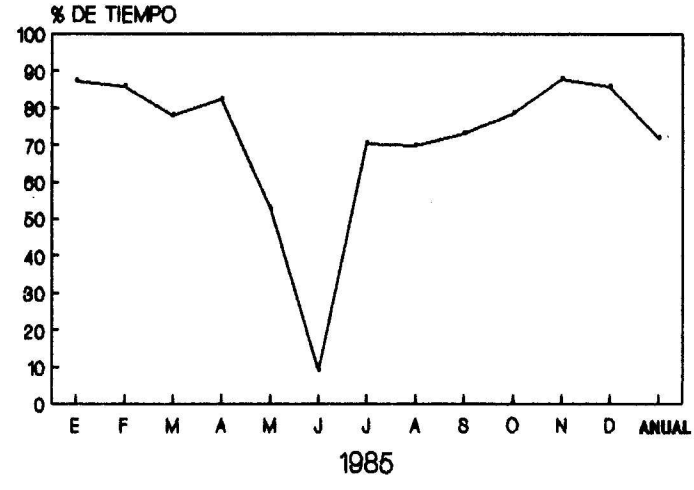
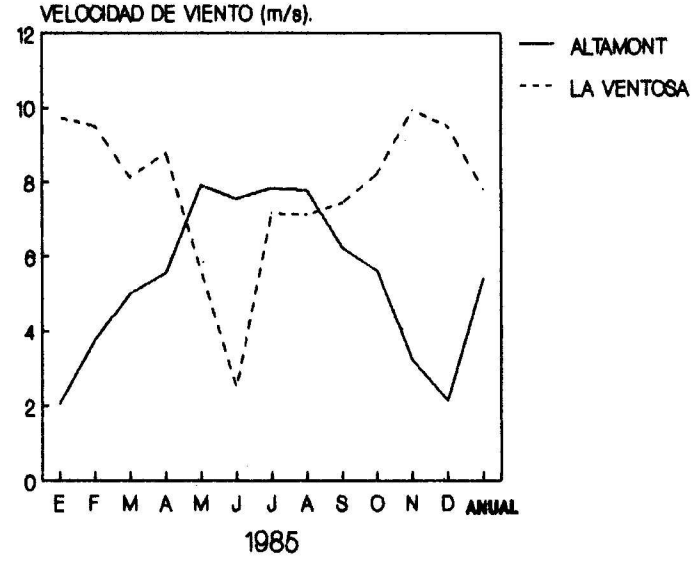


FIG. 4 VELOCIDAD MEDIA MENSUAL EN "LA VENTOSA" Y "ALTAMONT PASS"



En la figura 6 se muestra un histograma de la velocidad de viento para 1985 en **La Ventosa**, conjuntamente con la curva de potencia estimada para la central de 220 MW de Altamont Pass.

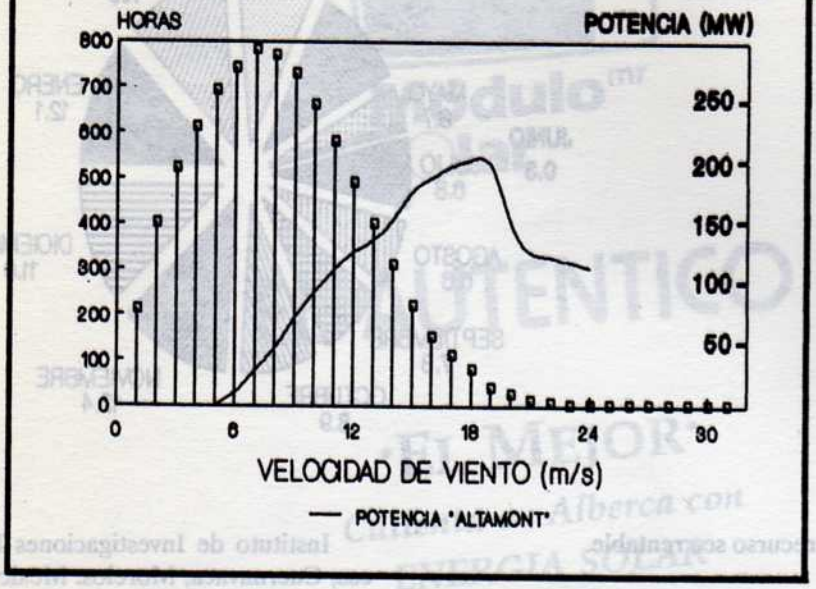
Las estimaciones de energía que sería posible producir se realizaron aplicando la fórmula:

$$\Upsilon = \tau \int_{V_i}^{V_s} \wp(v) p_m(v) dv$$

Donde:

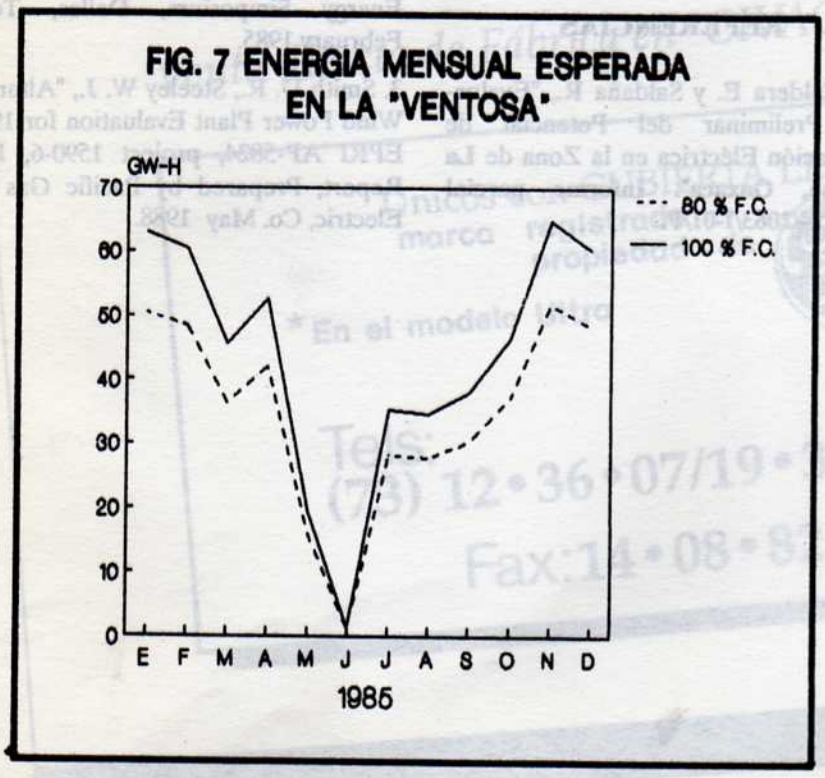
- Υ = Energía mensual estimada
- τ = Horas del mes (estadarizado a 720 horas)
- $\wp(v)$ = Potencia estimada que produciría la planta de 220 MW (instalada por PG & E en octubre de 1984), si fuera un sólo aerogenerador
- $p_m(v)$ = Función de densidad de probabilidad de Weibull con los factores K y C determinados para La Ventosa.

FIG 6. HISTOGRAMA ANUAL DE VELOCIDAD DE VIENTO EN "LA VENTOSA" Y CURVA DE POTENCIA DE "ALTAMONT"



En la línea 14 de la tabla I se muestran los resultados obtenidos y puede observarse una estimación de la energía anual producida de 522.37 GW-h para 1985. Estos resultados se afectaron por un factor de comportamiento (FC) de 80 %, obteniéndose 417.89 GW-h/año. Estos resultados también se encuentran en la tabla 1, renglón 15 y en la figura 7 se muestra una gráfica de los mismos.

FIG. 7 ENERGIA MENSUAL ESPERADA EN LA "VENTOSA"



A partir de los resultados anteriores, se determinó el Factor de Planta mensual para las dos condiciones de operación de la planta, es decir, con el 100 y 80 % del factor de comportamiento. Los resultados obtenidos se muestran en los renglones 16 y 17 de la tabla 1.

En la figura 8 se presentan los mismos resultados de energía que podría producirse. Como puede observarse, durante todo el año podría haber una producción significativa de energía, excepto en el mes de junio.

En la siguiente página, la tabla 1 muestra los datos y resultados involucrados en este trabajo. Las abreviaciones y simbología utilizadas en esta tabla son:

$\bar{v}$ = Velocidad media mensual de viento
k = Factor de forma de la función de densidad de probabilidad de Weibull
C = Factor de escala de la función de densidad de probabilidad de Weibull
% T V.V > 5 m/s = Porcentaje de tiempo con velocidades medias de viento arriba de los 5 m/s
P.E.O = Energía mensual estimada
F.C. = Factor de comportamiento
F.P.E. = Factor de planta mensual estimado.

CONCLUSIONES

Este trabajo representa un esfuerzo enfocado a demostrar la factibilidad técnica de la instalación de una central eoloeléctrica en **La Ventosa**, Oaxaca, México.

Los resultados de este trabajo de investigación confirman la disponibilidad de suficiente recurso eólico para la generación de electricidad de gran escala en esta zona.

FIG. 8 FACTOR DE PLANTA ESPERADO EN LA "VENTOSA"

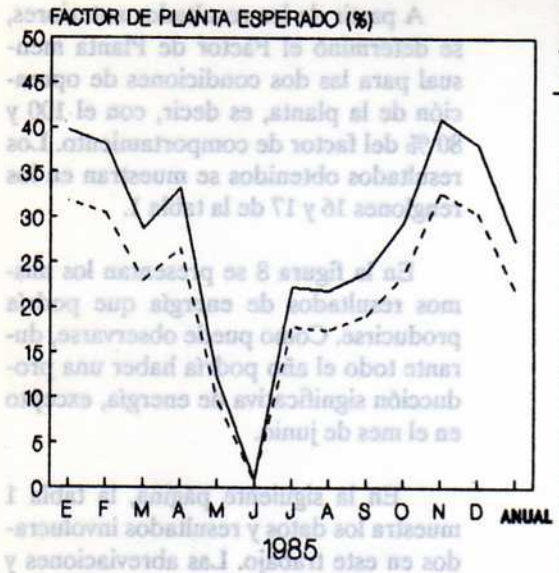
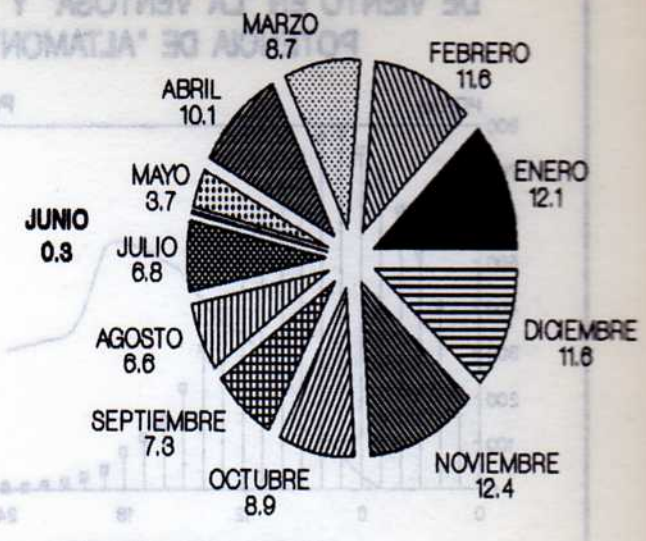


FIG. 9 ENERGIA MENSUAL ESPERADA EN "LA VENTOSA"



Sin embargo, es un hecho fundamental que el desarrollo de la central eoloeléctrica más grande del mundo (Altamont Pass, Cal. USA) se debe no sólo a la existencia de un buen recurso eólico, sino también a los programas de apoyo establecidos por el gobierno de los Estados Unidos y a la receptividad y apertura de las compañías eléctricas a la tecnología eólica.

En México se necesita realizar estudios detallados sobre la factibilidad técnica y económica para la instalación de centrales eoloeléctricas en otros sitios del país y sobre la legislación actual, a fin de encontrar las condiciones más favorables en las cuales la utilización de este recurso sea rentable.

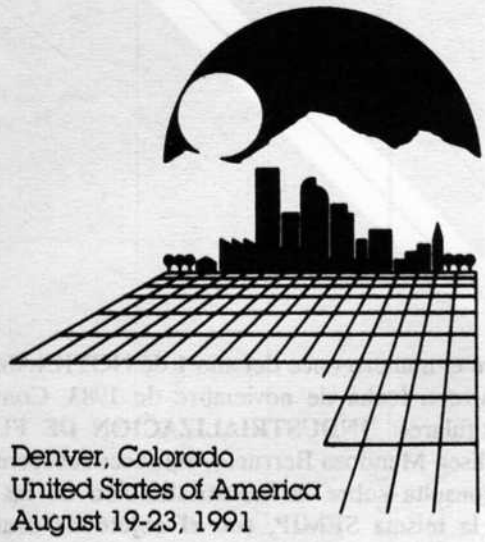
También es necesario que tanto el gobierno como las compañías eléctricas nacionales se interesen por cuantificar el potencial eólico del país y apoyen e incentiven la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad en gran escala.

REFERENCIAS

1. Caldera E. y Saldaña R., "Evaluación Preliminar del Potencial de Generación Eléctrica en la Zona de **La Ventosa, Oaxaca". Informe parcial FE/10/14/2063/I-01/P.** Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos. México, abril de 1986.

2. Smith D. R., Steeley W. J., Hillesland T. Jr., "Status of the 220 MW Altamont Wind Power Plant", Pacific Gas and Electric Co., Departament of Engineering Research, Report 007.1-84.12, presented at the American Society of Mechanical Engineers Fouth Wind Energy Simposium, Dallas, Texas, February 1985.

3. Smith D. R., Steeley W. J., "Altamont Wind Power Plant Evaluation for 1986", EPRI AP-5824, project 1590-6, Final Report, Prepared by Pacific Gas and Electric, Co. May 1988.



Denver, Colorado
United States of America
August 19-23, 1991

1991 World Congress of the International Solar Energy Society

Contact: American Solar Energy Society • 2400 Central Avenue, B-1
Boulder, CO 80301 • 303-443-3130

LA REVISTA **SOLAR**

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

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.

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

Nombre _____
APELLIDO PATERNO APELLIDO MATERNO NOMBRE

Domicilio _____
CALLE NUMERO

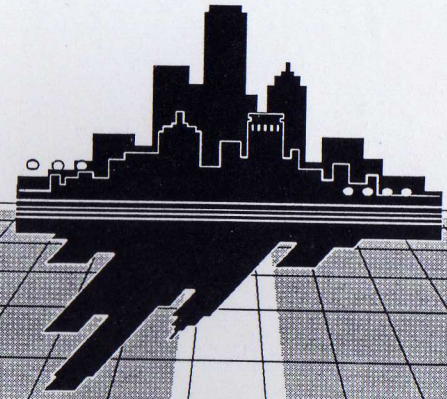
NUMERO ANTERIOR COLONIA CODIGO POSTAL

CIUDAD ESTADO TELEFONO

XV REUNION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS
ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

PRESENTACION DE TRABAJOS



Se invita a investigadores y profesionales a presentar trabajos para la XV Reunión Nacional que se llevará a cabo los días 2 ,3, y 4 de octubre de 1991 dentro de la Semana Nacional de Energía Solar con sede en la ciudad de Zacatecas, Zac.

Las fechas límite son:

1) Presentación de resúmenes: *30 de abril de 1991.*

2) Notificación de aceptación: *30 de Mayo de 1991.*

3) Entrega de trabajos terminados: *31 de julio de 1991.*

Para la presentación de resúmenes se recomienda emplear papel tamaño carta mecanografiado de un solo lado. A la cabeza del mismo debe incluirse título, autor o autores con dirección postal completa y teléfono o telefax. Los resúmenes pueden escribirse en inglés o español, y no deben exceder de 400 palabras. Enviar original y copia al apartado postal 20-633, San Angel México 01000, D.F. No enviar por correo registrado.

Módulo mr
Solar

EL AUTENTICO

·EL MEJOR·

Calienta su Alberca con
ENERGIA SOLAR

GARANTIZADO !!

+ de 60 mil m² instalados desde 1975 , Fluxes 100% cobre

Venta directa de Fábrica en CIVAC, Morelos

Unicos con CUBIERTA LEXAN*
marca registrada propiedad de GE

*En el modelo Ultra

Tels:
(73) 12 • 36 • 07/19 • 37 • 43

Fax: 14 • 08 • 82