INDICE

LA REVISTA SOLAR

PUBLICACION DE LA ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR (ANES) NUMERO 19 PRIMAVERA 1992
SECCION MEXICANA DE LA *INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY* (ISES)

Electrificación rural con fuentes renovables de energía

Reutilización de desechos orgánicos para la producción de energía

Aplicación de los sistemas de evaporación solar pasiva

Desarrollo de superficies selectivas

Precio Público $ 6 000

CURSOS SOBRE FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA

5 y 6 de Octubre 1992

ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR

CIIDIR-OAXACA

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL (CIIDIR-OAXACA)

La Asociación Nacional de Energía Solar y el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Oaxaca), tienen el agrado de invitarlo a sus cursos que impartirá en la ciudad de Oaxaca dentro del CIIDIR-Oaxaca, sobre los siguientes temas:

- *Diseño Térmico del Habitat*
- *Bombeo de Agua*
- *Destilación de Agua*

Los cursos tendrán lugar dentro de la Semana Nacional de la Energía Solar, los días 5 y 6 de octubre de 1992.

TEMARIO

CURSO: ***Diseño Térmico del Habitat***

• Objetivo

Presentar al diseñador y constructor de espacios habitables para el quehacer humano y la producción agropecuaria, el conocimiento y las técnicas disponibles para obtener el edificio con los parámetros ambientales ideales para el óptimo funcionamiento del habitante mismo, y a la vez, una aproximación al edificio de máxima eficiencia energética con este propósito.

• Contenido

1.- Respuesta térmica del organismo humano al medio ambiente.
2.- Relación de la producción agropecuaria con el medio ambiente.
3.- Trayectorias solares.
4.- Parámetros de clima y su manejo en el diseño térmico racional del espacio habitable.
5.- Cálculos de las cargas térmicas en edificios.

CURSO: ***Bombeo de Agua***

• Objetivo

Informar a estudiantes de ingeniería, promotores agropecuarios, funcionarios de agencias y bancos de fomento, financiamiento y aseguradoras, de las posibilidades técnicas y viabilidad económica del bombeo de agua e irrigación, utilizando la energía eólica y fotovoltáica como energético primario.

I) Opción Eólica

• Contenido

1.- Visión general de la problemática del bombeo de agua.
2.- Sistemas tradicionales de aerobombas.
3.- Aspectos técnicos específicos susceptibles de innovación tecnológica en los esquemas tradicionales.
4.- Sistema aerogenerador-bomba eléctrica.
5.- Otros sistemas de bombeo.

II) Opción Fotovoltáica

• Contenido

1.- Introducción.
2.- La celda solar, los módulos fotovoltáicos y sistemas fotovol-táicos.
3.- Sistemas de bombeo de agua fotovoltáicos.
4.- Circuitos básicos de sistemas fotovoltáicos.
5.- Ingeniería de los sistemas solares fotovoltáicos.

CURSO: ***Destilación de Agua***

• Objetivos

Analizar los procesos involucrados en la destilación de agua a través de diversos tipos de destiladores solares, sus diseños, así como ventajas y desventajas que ofrecen.

• Contenido

1.- Análisis teórico de los procesos en un destilador solar.
2.- Destilador solar tipo caseta.
3.- Experiencias de campo con destiladores solares largos.
4.- Destilador solar con convección natural.
5.- Destiladores solares de tipo: esférico, inclinados con flujo de agua y de múltiples efectos.

DURACIÓN

Cada curso tendrá una duración de 16 horas.

COSTOS DE RECUPERACIÓN

$ 150,000.00 Profesionales
$ 75,000.00 Estudiantes

INFORMES

En la Cd. de México:

Fís. Adolfo Finck Pastrana
Departamento de Física
Universidad Iberoamericana
Prol. Paseo de la Reforma No. 880
Col. Lomas de Sta. Fe
C.P. 01210 México, D.F.
Tel. (5) 570 7303

En la Cd. de Oaxaca:

Ing. Magdaleno Caballero C.
Subdirector de Desarrollo Técnologico y Apoyo Académico,
CIIDIR-IPN-OAXACA,
Calle Hornos s/n A.P. 674,
Santa Cruz Xoxocotlán,
C.P. 71230, Oaxaca, Centro,

EDITORIAL

La energía representa actualmente un pilar importante de la economía mundial.

Las fuentes convencionales están siendo superadas por la demanda, por lo que se requerirá tarde o temprano disminuir su consumo, el cual por falta de planeación, ha ocasionado serios problemas como lo es el deterioro del medio ambiente.

Esto nos hace buscar otros esquemas de suministro energético, capaces de sostener una base productiva para un crecimiento justo que permita la incorporación de sectores marginados al desarrollo.

Como ejemplo de los esfuerzos que llevan a cabo algunos gobiernos, en nuestro país se activó el Programa Nacional de Electrificación Rural con Fuentes Renovables de Energía, dando así una respuesta positiva a las demandas de comunidades marginadas diseminadas a lo largo del territorio, que por motivos económicos, no pueden ser atendidas con la red eléctrica y que es necesario su desarrollo.

La principal tarea del programa consiste en electrificar estas pequeñas comunidades, a través de Fuentes Renovables de Energía, haciendo un uso eficiente de la misma y aprovechando de manera racional los recursos naturales de que estén dotadas.

Esto tiene por objeto promover el bienestar social de sus habitantes y su vinculación a las actividades productivas, dando lugar a una infraestructura básica para el desarrollo, que permita disminuir la migración de la población rural hacia los centro urbanos.

Con base a lo anterior la ANES presenta en este número de la Revista Solar, artículos que muestran algunos de los esfuerzos que se llevan a cabo en México en relación a la implementación de Fuentes Alternas de Energía, las cuales contribuyen a la diversificación energética en nuestro país y a un uso más racional de sus recursos.

Ricardo Saldaña Flores
Editor

TODO SOBRE ENERGIA SOLAR

SOLAR TRONIC

Ingeniería, Investigación Tecnológica y Venta de Equipos para:

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

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

MORELOS SUR 1301 LETRA E, COL. CHIPITLAN, CUERNAVACA, MOR., TEL. (73) 18-97-14 FAX (73) 18-86-09

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.

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. 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
Organización
Fis. Adolfo Finck Pastrana
Vocalías
Ing. Ricardo Saldaña Flores
Asuntos Industriales
Ing. Enrique Hill Bochelen
Asuntos Internacionales
Dr. Yasuhiro Matsumoto K
Asuntos Latinoamericanos
Dr. José Luis Mayorga
Secciones Regionales
Ing. Arturo Waley Martínez

Editor
Ing. Ricardo Saldaña Flores

Diseño y Formación
Dr. Francisco Villaseñor Rivero

Impresión
Lito Casa
Cuernavaca, Morelos.

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
Sistema híbrido fotovoltáico-eólico-diesel en María Magdalena, Hgo.
Cortesía del: Dr. Jorge Huacuz Villamar

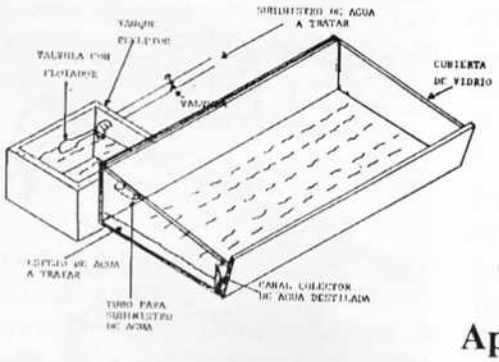
SUMARIO

4

Electrificación rural con fuentes renovables de energía

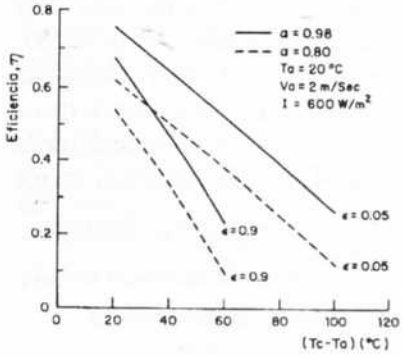
12

Reutilización de desechos orgánicos para la producción de energía



14

Aplicación de los sistemas de evaporación solar pasiva



19

Desarrollo de superficies selectivas

ELECTRIFICACION RURAL CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA

por : Jorge M. Huacuz Villamar *
Ana María Martínez Leal *
Carlos González Navarro **

1. Definiendo el problema.

Hasta hace un par de años, la electrificación rural en México se llevaba a cabo básicamente mediante extensiones de la red eléctrica, y algunas veces instalando generadores diesel en comunidades aisladas. Con este proceso, la mayoría (92%) de las comunidades rurales de mayor tamaño, entre 1000 y 2500 gentes, ya fueron electrificadas, al igual que una porción significativa (84%) de las comunidades medianas (de 500 a 1000 gentes). La labor ha sido más difícil en las comunidades más pequeñas, donde se han electrificado alrededor del 57% en el rango de 100 a 500 habitantes, mientras que sólo cuentan con servicio eléctrico el 8% de aquellas con menos de 100 gentes.

El número de comunidades no electrificadas en las dos últimas categorías es muy grande: 13,904 y 83,132, respectivamente. Aún en las dos primeras categorías, los números son todavía grandes: 462 para la primera, y de 1,563 para la segunda.

El grado de electrificación rural varía significativamente de un estado de la república a otro. Esto se debe a un conjunto de factores, incluyendo la distancia de la comunidad a la red eléctrica; el tamaño de la comunidad; el grado de dispersión de sus viviendas; la existencia de caminos de acceso; el grado de compromiso de la comunidad para contribuir financieramente al proyecto; el potencial para usos productivos de la electricidad; y la disponibilidad de fondos gubernamentales para los programas de electrificación rural. En consecuencia, entre más pequeña, más dispersa y más pobre es una comunidad, menos oportunidades tiene de ser electrificada mediante extensiones de la red.

Alumbrado público fotovoltaico en Los Sabinos, Nayarit.

* Instituto de Investigaciones Eléctricas
División de Fuentes de Energía
Departamento de Fuentes No Convencionales de Energía

** Comisión Federal de Electricidad
Departamento de Electrificación Rural

Desde su inicio, los programas de electrificación rural en México tienen un carácter eminentemente social; esto es, las inversiones no se hacen con fines utilitaristas. En consecuencia, la red de distribución se sigue extendiendo año con año, aún a las regiones más apartadas donde se podría pensar que las inversiones no tienen sentido. Con todo y eso, el ritmo es lento debido a los costos siempre crecientes.

Estudios de campo han demostrado que el consumo eléctrico en muchas comunidades rurales ya electrificadas por extensión de red es menor de lo que originalmente se esperaba que fuera. La mayoría usa electricidad básicamente para alumbrado doméstico y para algo de entretenimiento, principalmente a través de la radio. Más aún, la disponibilidad de electricidad ha probado no ser una condición suficiente para promover el desarrollo de tales comunidades: una vez que la electricidad se introduce, poca gente la utiliza para actividades realmente productivas. Los molinos de nixtamal son tal vez los mayores usuarios de electricidad en muchas comunidades actualmente. Con ellos se libera a las mujeres de la pesada tarea de moler a mano, pero esto no se traduce en un incremento de la productividad en el procesamiento del nixtamal o de la tortilla.

Bajo tales circunstancias, en los últimos tres años el Gobierno Federal Mexicano ha venido ensayando el uso de recursos energéticos locales renovables (ER) para la generación de electricidad en las comunidades rurales, en un intento por desarrollar esquemas de electrificación rural que sean baratos, rápidos de implementar, e igualmente confiables en relación con las extensiones de la red.

Ha quedado ya bien establecido que es posible llevar electricidad para alumbrado básico (unos cuantos focos) a las comunidades más pequeñas y más alejadas, en forma más barata con ER que con extensiones de la red. Lo mismo puede ser cierto, dentro de ciertos límites, del abastecimiento local de electricidad para aplicaciones productivas, usando una mezcla de recursos energéticos locales (energía solar, viento, biomasa, pequeños aprovechamientos hidráulicos, etc.). A la fecha, bajo esta premisa se han instalado más de 7000 sistemas fotovoltaicos (FV) de alumbrado para casas individuales en diferentes regiones de México. También se han instalado dos sistemas híbridos (FV-diesel y FV-eólico-diesel) de tamaño comunitario y cuatro sistemas FV-eólico están en proceso de instalación. Se espera que en el transcurso de los próximos años se instalen más sistemas de varios tipos. Con esto, el programa mexicano de electrificación rural con ER se convierte en uno de los programas más grandes de su género en el mundo actual.

Sin embargo, la cuestión de confiabilidad y durabilidad de las instalaciones aún está en el aire. El programa se encuentra todavía en su infancia, y nadie podría predecir ahora cómo se comportarán los sistemas de aquí a diez o más años. Para el Gobierno Mexicano, el dinero invertido en el programa representa un esfuerzo significativo para tratar de resolver de una vez por todas el problema del suministro de electricidad a estas comunidades. Por esta razón, la cuestión de confiabilidad y durabilidad se está enfrentando dentro del marco más general de la *sostenibilidad* de los proyectos, conceptos que enmarca el contenido de este artículo.

2. Experiencias previas.

El uso de ER para la electrificación rural no es una experiencia nueva en México. A finales de los 1970s, una serie de estudios llevados a cabo en el IIE, sentaron las bases del concepto tecnológico conocido como "Sistemas Energéticos Integrados", a través de los cuales los ER disponibles localmente podrían ser utilizadas para abastecer no sólo electricidad, sino también calor y potencia mecánica a comunidades rurales aisladas, para promover su desarrollo social y crecimiento económico. Se llevaron a cabo varios estudios de campo para identificar comunidades rurales que pudieran sostener proyectos de este tipo. Con base en los equipos entonces disponibles, se efectuaron diseños conceptuales y básicos para un pequeño grupo de comunidades seleccionadas. Algunas tecnologías, principalmente calentadores solares de agua, aerobombas y generadores eléctricos operados con biogás, fueron probadas en forma individual en comunidades rurales. Aunque el esquema era prometedor, el proyecto se detuvo debido a los difíciles tiempos económicos por los que atravesó México a principios de los 1980s.

En un esfuerzo paralelo investigadores del CINVESTAV, quienes ya para 1980 habían avanzado la tecnología de celdas FV monocristalinas a la etapa de producción piloto (4 kW por año), llevaron a cabo una serie de instalaciones en zonas rurales del país, incluyendo iluminación de albergues infantiles indígenas, radiotelefonía y televisión educativa[1]. Algunas de estas instalaciones han estado en el campo por un buen número de años. Otras ya están fuera de operación por varios problemas, no necesariamiente conectados en forma directa con la tecnología.

Los principales proyectos de electrificación rural con ER llevados a cabo en México incluyen aplicaciones de alumbrado doméstico o comunitario, telecomunicaciones, ayudas a la navegación, bombeo de agua, desalación de agua y algunos otros. En su mayoría se trata de pequeñas aplicaciones con potencias de unos cuantos watts a varias decenas de kilowatts, los cuales, aun en su conjunto, no tienen impacto sobre el balance eléctrico nacional. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo, sobre todo en lo que se refiere al mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de las zonas rurales, su contribución ha sido valiosa.

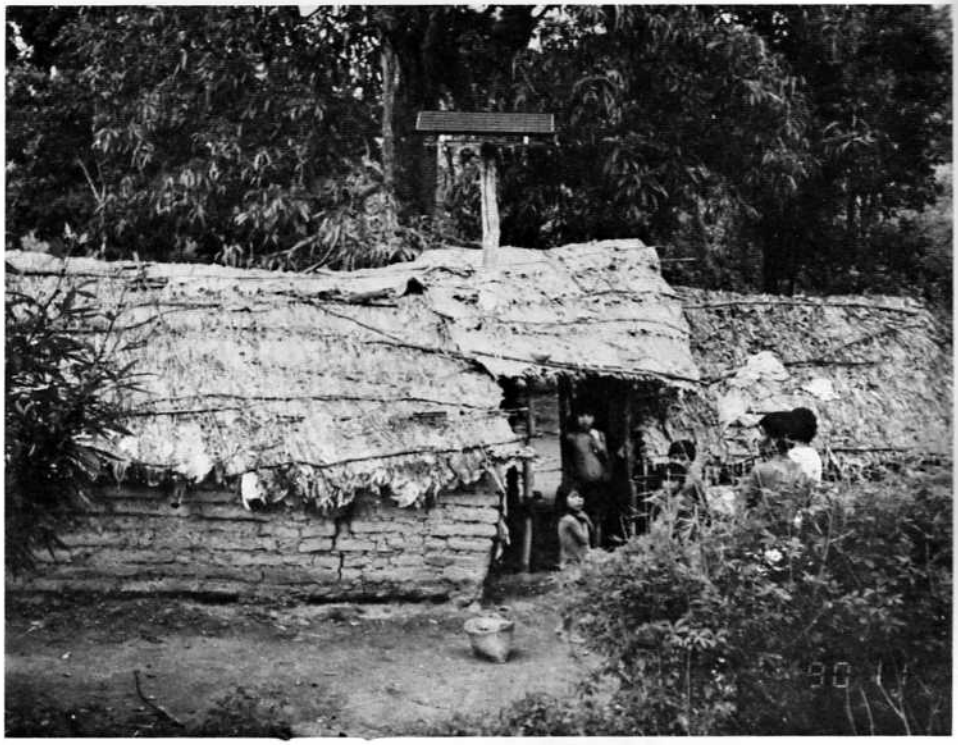
Como ejemplos se pueden mencionar el primer teléfono rural y el primer sistema de televisión educativa energizados por celdas FV, instalados por el grupo del CINVESTAV en 1977. En la actualidad los radio-transmisores operados con cel-

das FV e instalados en clínicas rurales juegan un papel muy importante, ya que permiten a los médicos jóvenes, residentes en esas clínicas, mantenerse en contacto con médicos especializados en clínicas más grandes, o solicitar asistencia en casos de emergencia. Desde un punto de vista sociológico, la radiocomunicación también ayuda a que los médicos jóvenes mitiguen el sentido de aislamiento que desarrollan en tales zonas y que los induce a regresar a la ciudad.

3. El reto actual.

Proporcionar electricidad a las comunidades rurales del país usando ER no es una tarea fácil. No sólo por las implicaciones logísticas que conlleva instalar un gran número (cientos de miles) de unidades generadoras muy pequeñas en condiciones topográficas difíciles sino, lo que es más importante, por los requerimientos que se deben satisfacer para garantizar la operación de largo plazo, eficiente y confiable de tales unidades, a fin de que las grandes inversiones involucradas cumplan su misión.

Así por ejemplo, mientras que el proceso de extensión de la red es una práctica bien establecida, con operaciones y equipos estandarizados y bien entendidos, muchas de las tecnologías de ER (TER) aún están siendo desarrolladas, principalmente con respecto al diseño e implantación de los sistemas. Incluso al nivel de componentes, algunos equipos tales como los controladores de carga, los convertidores CD/CA y las baterías para el almacenamiento de electricidad no son tecnologías con madurez comercial. Por otro lado, la variedad de opciones tecnológicas existentes para la electrificación rural con TER es grande, y va desde las tecnologías básicas para la conversión de la energía (módulos FV, generadores eólicos, unidades microhidroeléctricas, biodigestores, gasificadores de biomasa, o combinaciones de estas dependiendo de la disponiblidad de los recursos energéticos), hasta un menú de configuraciones de los sistemas, incluyendo sistemas centralizados o descentralizados, autónomos o híbridos, aislados o interconectados a la red, y otros. A nivel de componentes las opciones son también muchas, complicadas por el hecho de que algunos vendedores pasan por alto mencionar las limitantes de sus productos y es difícil decidir cuándo aplicarlos y cuándo no. Ante esta situación el diseño de los sistemas se vuelve un asunto complicado que requiere de cuadros de especialistas bien formados en este campo.



Servicio domiciliario fotovoltaico en el Estado de Oaxaca.

La electrificación rural con TER demanda una infraestructura adecuada en varios sentidos. De primordial importancia es el desarrollo de una industria con base local fuerte, no sólo para suministrar los sistemas, los equipos y las componentes y partes de repuesto, sino también para proporcionar servicios de ingeniería, de consultoría, de instalación y de mantenimiento. Esto a su vez demanda gente bien entrenada, lo que es un recurso escaso actualmente, aun en las naciones industrializadas.

A mediados de los años 1980 la industria de las TER para generación eléctrica en México era muy pequeña. En el área fotovoltaica la mayoría de las compañías eran esencialmente distribuidores locales de una empresa más grande, comercializadora de sistemas y componentes. Por un tiempo todos los productos FV que se vendían en México eran importados de los Estados Unidos. Para finales de la década, conforme los mercados fueron creciendo, esta empresa inició la manufactura de ciertos componentes de los sistemas, incluyendo controladores de carga y balastras electrónicas. En la actualidad la mayoría de los componentes de los sistemas para electrificación de viviendas en el medio rural se fabrican en el país, a excepción de los módulos FV que se importan en su totalidad, aunque con una fuente de suministro ya más amplia, que incluye a Estados Unidos, Europa y Japón. Algunas compañías extranjeras están estableciendo operaciones en México y el número total de empresas cuando menos se ha triplicado en los últimos tres años.

Conforme el tamaño del mercado mexicano de sistemas de TER crece, se hacen patentes una serie de limitaciones en la base industrial nacional de estas tecnologías. Primero, está claro que no todas las empresas en este campo tienen

un entendimiento adecuado de los requerimientos y particularidades de la actividad de electrificación rural. Para algunas lo importante parece ser vender muchos equipos, sin preocuparse de los conceptos de calidad, confiabilidad y sostenibilidad. De esta forma, con el afán de abatir el precio de los productos, los sistemas en ocasiones se subdimensionan, por lo que fallan prematuramente. Para casos de proyectos más grandes y más complejos, algunas compañías prefieren vender soluciones "técnicas" llave en mano, sin prestar atención a la interacción tecnología-usuario. Esto tarde o temprano desemboca en problemas de sostenibilidad.

El uso de baterías automotrices en las instalaciones FV es sólo un ejemplo de otra área de preocupación, que se refiere al grado desigual de desarrollo de los componentes individuales de un sistema FV: mientras que los módulos FV son altamente confiables, otros componentes del sistema pueden no serlo. Tal es el caso, por ejemplo, de las baterías, los controladores, e incluso las lámparas fluorescentes. Este hecho es pasado por alto en algunas industrias, las cuales en ocasiones desarrollan esquemas simplistas para responder al problema. Por ejemplo, algunas baterías automotrices que se sabe han sido previamente utilizadas en instalaciones FV ahora se comercializan con etiquetas que indican "para uso fotovoltaico", sin tomar en cuenta las características intrínsecas de la batería ni su desempeño previo.

Finalmente, el diseño e integración de sistemas es una área en la cual la industria se encuentra todavía en proceso de aprendizaje. Por ejemplo, no se ha desarrollado aún la suficiente experiencia en relación con tecnologías como los sistemas híbridos. En la mayoría de los casos se ha seguido un esquema de "prueba y error" en el desarrollo de este tipo de proyectos. Este es un proceso costoso y lento que necesita mejorarse.

Las limitaciones antes mencionadas no son privativas de la industria mexicana de TER. Muchas otras alrededor del mundo, en los países desarrollados y subdesarrollados, muestran un perfil similar. Los siguientes conceptos pueden ayudar a rebasar tales limitaciones:

- *Sensibilizar a los directivos de las empresas.* Las oportunidades de venta de las tecnologías de TER pueden ser grandes, pero el mercado en sí es actualmente muy frágil; el grado de fragilidad depende de la calidad de los productos y servicios que proporcionan las empresas. Se espera que al tener conciencia de ello, las industrias desarrollen mejores diseños, capaciten mejor a su personal de producción y a sus instaladores, y se mantengan al día de los últimos avances internacionales de la tecnología.

- *Transferencia de conocimientos y de tecnología.* Se dá en la actualidad una buena integración entre las empresas mexicanas y sus contrapartes extranjeras, las que en ocasiones tienen un mayor potencial tecnológico. Este proceso necesita vigorizarse y profundizarse, incrementando la base de conocimientos de las empresas mexicanas mediante talleres y seminarios técnicos sobre tópicos críticos tales como baterías, controladores y diseños de sistemas y aplicaciones, y mediente el flujo de información sobre tecnologías, mercados y costos.

- *Desarrollo de normas y especificaciones técnicas y guías de diseño.* Esta actividad se debe dar con el propósito de desarrollar un marco conceptual dentro del cual se puedan crear productos y servicios de mejor calidad. Son dos los factores que determinan la necesidad de llevar a cabo esta actividad: Primero, las etapas incipientes de desarrollo en que se encuentra la tecnología de TER a nivel mundial; y segundo, la necesidad de asegurar la operación confiable, eficiente y a largo plazo de los sistemas con ER instalados como parte del programa de electrificación rural. Es conveniente que este marco conceptual se desarrolle con la participación activa de la propia industria que habrá de adoptarlo. En nuestro país se han dado ya los primeros pasos al respecto con la emisión de especificaciones técnicas para los sistemas FV de iluminación rural.

- *Soporte técnico.* Es importante que las industrias involucradas en el proceso de electrificación rural con ER cuenten con apoyos técnicos que les ayuden a encontrar formas nuevas e innovadoras de resolver los problemas. Tales apoyos pueden incluir el desarrollo y prueba de prototipos industriales, optimación de procesos de manufactura, etc. Las instituciones nacionales de investigación y desarrollo tecnológico podrían jugar un papel importante al respecto.

4. El papel de la CFE y del IIE.

La CFE ha sido designada por el Gobierno Federal mexicano como el organo normativo del proceso de electrificación rural con TER. En este nuevo esquema de electrificación se pretende que sean las empresas privadas quienes ejecuten las obras bajo contrato con los gobiernos estatales, con apoyo económico del Gobierno Federal, y con un alto grado de participación de los usuarios.

En su papel normativo, la CFE tiene entonces la responsabilidad de velar por la calidad y la sostenibilidad de los proyectos. Para ello la CFE revisa, y aprueba o rechaza, los proyectos de electrificación rural que son turnados a la Federación con solicitudes de apoyo económico. También desarrolla, promueve y aplica, las normas, especificaciones y guías para la ejecución de dichos proyectos. Esto lo hace con apoyo del IIE y de comités *ad hoc* integrados por grupos de expertos nacionales, asesorados en casos necesarios por expertos internacionales.

Además la CFE realiza esfuerzo de planeación a nivel de micro-regiones con objeto de identificar en mayor detalle las "áreas oscuras" en los estados, a las cuales tal vez las líneas de distribución nunca lleguen por las razones antes mencionadas. Se espera que esta actividad resulte en la definición del universo de aplicación de las TER en las áreas rurales de México, y en una estrategia concomitante para la

mejor ejecución de etapas subsecuentes del programa de electrificación rural. También como parte de este proceso de planeación, CFE ha identificado aquellas comunidades en áreas oscuras que en el pasado fueron dotadas de generadores diesel y que pueden ahora estar operando con muy altos costos, ya sea porque están plagados de problemas técnicos, o bien porque el combustible y su transporte a la comunidad se han encarecido demasiado. La idea detrás de esta actividad es explorar la posibilidad de reconfigurar estas instalaciones en sistemas híbridos-diesel fotovoltaico-eólico, para incrementar la confiabilidad del sistema y abatir los costos de operación.

Una parte importante del proceso de aseguramiento de calidad establecido por CFE en apoyo del programa de electrificación rural con TER, es el seguimiento y evaluación de los sistemas, luego que estos han sido construidos y entregados por los contratistas. Para el caso de los sistemas de iluminación doméstica, que ya se cuentan por miles, se toman muestras en forma aleatoria, tanto geográfica como temporalmente, y se inspecciona cada uno de los sistemas en esa muestra. El número total de estos sistemas inspeccionados a la fecha rebasa los 600 y abarca todas las entidades federativas que cuentan con programas de esta naturaleza. Los sistemas de tamaño comunitario se inspeccionan caso por caso. La labor de inspección es difícil, lenta y costosa, dada la ubicación y dispersión de las comunidades.

Las evaluaciones cubren tres aspectos principales: a) el estado físico y operativo de los sistemas; b) el grado de satisfacción de los usuarios; y c) algunos aspectos importantes de la sostenibilidad del proyecto, incluyendo la cantidad y la efectividad de la información y de la capacitación recibida por el usuario al momento de la instalación de su sistema, y la disponibilidad local de partes de repuesto y servicios de mantenimiento. En la siguiente sección se discuten algunos de los resultados de estas inspecciones.

Las inspecciones juegan un papel importante, pues sus resultados sirven para varios propósitos. Primero, ayudan a calificar sistemas y sus componentes, y el desempeño de los contratistas. Además los contratistas reciben información que puede ayudarles a mejorar sus productos y servicios en proyectos subsecuentes. Por otro lado, los Gobiernos Federal, Estatales y Locales encuentran en las inspecciones el instrumento que les proporciona información imparcial sobre la efectividad práctica de los proyectos. Finalmente, los resultados de la inspección sirven de retroalimentación a los organismos y comités técnicos que participan en la elaboración de especificaciones y guías de diseño de los sistemas, a fin de que éstas sean permanentemente mejoradas.

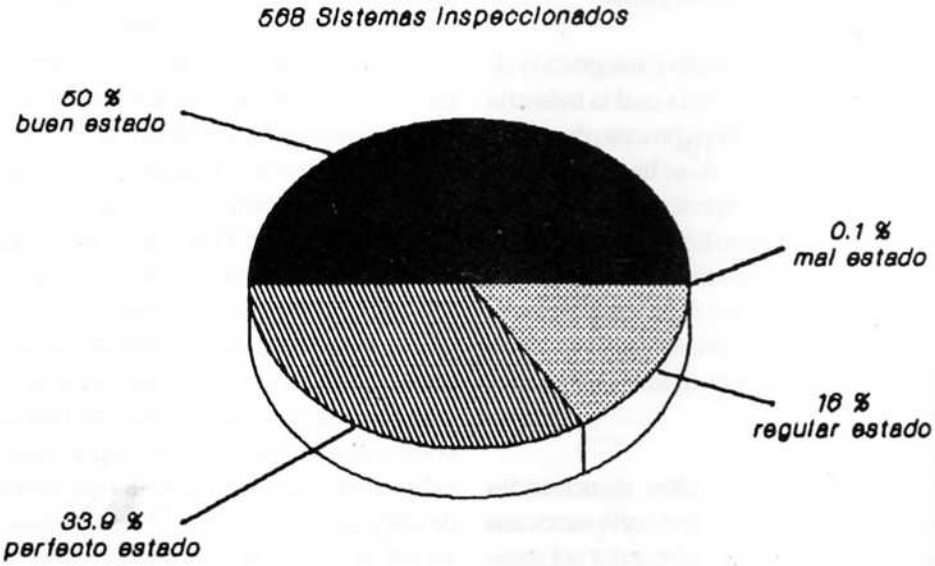
Conforme el número y la diversidad de aplicaciones de la TER para zonas rurales crece (por ejemplo bombeo de agua, molienda, etc.), otras agencias públicas y privadas empiezan a acudir a CFE en búsqueda de asesoría y asistencia técnica. Esto obedece al hecho de que en general cuando la ciudadanía piensa en electricidad, piensa invariablemente en CFE. Entre los apoyos solicitados se encuentra la información sobre la disponibilidad de tecnologías, listas de proveedores, diseños conceptuales, y preparación de especificaciones para el procuramiento de sistemas. Para responder a tales demandas, CFE se apoya en los servicios técnicos del IIE.

También a través del IIE, CFE apoya el desarrollo, prueba y caracterización de sistemas de TER para electrificación rural, con el propósito de ayudar a la industria nacional a mejorar sus productos.

La actividad normativa en el campo de TER es algo nuevo alrededor del mundo. Para CFE, ésto significa no sólo desarrollar la normatividad, sino actualizar sus estructuras operativas para aplicarla adecuadamente y con buen juicio. Una normatividad muy laxa puede resultar en sistemas de mala calidad, poco confiables y de muy corta vida; por el contrario, una normatividad muy rígida puede inhibir los esfuerzos innovadores de parte de las empresas privadas que ejecutan los proyectos. Para enfrentar este reto, CFE lleva a cabo un programa de capacitación entre personal de las Zonas de Distribución, para que conozcan las ventajas y limitaciones de los nuevos sistemas de electrificación rural, y los detalles de la normatividad y cómo aplicarla. Hasta ahora, cerca de 200 ingenieros de CFE en todo el país se han beneficiado con este programa, y ya auxilian a las entidades de los Go-

FIGURA 1

Distribución de los sistemas de acuerdo con su estado físico y operativo general.



biernos Municipales y Estatales, e interactúan con los proveedores con mejor conocimiento de causa.

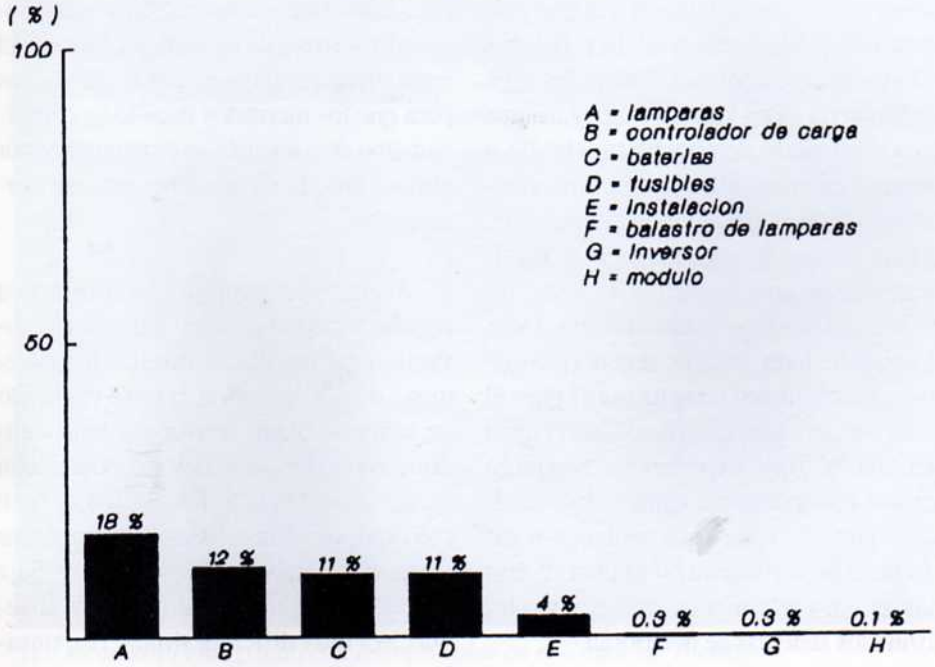
5. Algunos resultados.

Mucho se ha aprendido desde que se iniciaron las actividades de electrificación rural con TER. Desde el punto de vista técnico, lo que al principio eran instalaciones de iluminación doméstica rusticas, o que relegaban a segundo plano detalles importantes, ahora son instalaciones muy profesionales, y en ocasiones incluso ejemplares. Según los resultados de las evaluaciones en campo, de una muestra de 568 sistemas, casi el 34% se encontraron en perfecto estado, el 50% en buen estado, y sólo el 16% en regular estado, con un 0.1% en mal estado (ver figura 1).

Sin duda las acciones normativas, incluyendo el seguimiento y evaluación de los proyectos, han jugado un papel importante en el mejoramiento de los sistemas, junto con otros factores como el proceso de aprendizaje que se está dando en las empresas. Los problemas siguen gravitando alrededor de ciertos componentes críticos, como las lámparas, los controladores y las baterías, que se espera vayan mejorando confome la base industrial evoluciona (ver figura 2). Por el lado de los sistemas comunitarios el camino por recorrer es más largo, como se discutió en párrafos anteriores. Se puede afirmar que en términos generales los usuarios se encuentran satisfechos con los sistemas, y que sus actitudes hacia las TER son positivas. Hay atención y cuidado hacia los equipos, y en ningún caso se han encontrado evidencias de vandalismo. Pero una buena actitud de parte del usuario no es garantía de sostenibilidad. En esta etapa del desarrollo de la tecnología, la electrificación rural con TER debe verse como un proceso de innovación, del cual el usuario es el último eslabón, y el más débil. Corresponde a los gobiernos tomar la decisión de llevar a cabo los programas y respaldarlos con financiamiento; corresponde a las compañías privadas diseñar y fabricar los equipos e integrar los sistemas involucrados; corresponde a la CFE desarrollar y aplicar la normatividad para que dichos equipos y sistemas respondan a la necesidad que se plantea resolver, con los mejores estándares de calidad; pero es el usuario quien determina el éxito o el fracaso del proyecto, tanto por la forma como interactúa con el sistema para operarlo y mantenerlo, como por el grado de satisfacción que obtiene de los beneficios que le brinda la tecnología.

FIGURA 2

Incidencia de problemas en los principales elementos del sistema.



En el proceso de electrificación rural con extensiones de red, el usuario juega un papel hasta cierto punto limitado a sus capacidades de aportación económica o física mediante trabajos sencillos. Sin embargo, para el caso de electrificación rural con TER, la participación del usuario debe ir más allá, en varios sentidos. Primero, el usuario debe jugar un papel activo en la definición de los usos que se deberán dar a la electricidad generada por la TER. Tal vez su definición no sea muy clara o no la exprese en términos técnicos, pero debe participar activamente en este proceso. En caso contrario, aun cuando el sistema puede estar bien diseñado, adecuadamente construido y correctamente instalado, seguramente va a fallar más temprano que tarde. La razón para ésto es simple: El usuario no cuidará del sistema a menos que la electricidad obtenida satisfaga sus propios deseos y espectativas.

Otra forma de involucrar al usuario en el esquema de electrificación, que aumenta su interés y incrementa las probabilidades de éxito del proyecto, es su participación activa en el proceso de llevar físicamente los equipos a la comunidad, auxiliar en las actividades de instalación, y cubrir parte de los costos de los sistemas en la medida de sus posibilidades. En muchos casos esto último se traduce en asistir a los técnicos de las empresas instaladoras con agua, comida, alojamiento, etc. En realidad, éste es uno de los postulados básicos del PRONASOL en el que se enmarcan las actividades de electrificación rural con TER, y forma parte importante de la normatividad que se aplica a los proyectos.

Pero el papel más importante que juega el usuario es como consumidor de electricidad. En principio, ésto no debería ser distinto del caso de los servicios conectados a la red. Sin embargo, hay distinciones sustanciales entre las extensiones de la red y los sistemas generadores con TER. Tal véz las más obvias son la limitada capaci-

dad de los sistemas con TER y en muchos casos el tipo de corriente suministrada y su rango de voltaje. Para el usuario, quien en la mayoría de los casos no ha tenido experiencia previa en el uso de la electricidad, tales diferencias son transparentes, y fácilmente llega a sobrecargar el sistema de TER, o conectar aparatos electrodomésticos de corriente alterna a contactos de corriente directa. En el caso de los sistemas individuales de iluminación doméstica, el usuario eventualmente aprende a no hacer tales cosas ya que él es quien tiene que pagar las consecuencias de sus errores cuando el sistema queda fuera de servicio o debe comprar nuevas baterías, etc. Sin embargo, en el caso de sistemas centralizados a nivel comunitario, el problema es más complejo, ya que la comunidad en su totalidad puede sufrir las consecuencias de los errores o los abusos de unos cuantos.

Finalmente, el usuario debe jugar un papel activo operando y dando mantenimiento básico al sistema con TER. Este es un elemento totalmente nuevo en la práctica de abastecer servicios eléctricos a usuarios domésticos. Pero en realidad sería muy impráctico y sumamente costoso si la CFE tuviera que operar y mantener miles de unidades de generación dispersas por todo el territorio nacional (como ha sido la experiencia con los generadores diesel). La única posibilidad razonable entonces parece ser que éstas operaciones se lleven a cabo en el sitio, por la gente que más interacciona con el sistema: los usuarios. Por lo tanto, un requerimiento normativo es que los procedimientos de operación y mantenimiento de los sistemas con TER sean simples y mínimos, para asegurar que el usuario los pueda ejecutar correctamente.

La experiencia muestra que, desde esta perspectiva, el principal requerimiento para hacer las cosas correctamente es proporcionar información y capacitación al usuario. Esta es ciertamente una tarea enorme, dado que la mayoría de los residentes en zonas rurales tienen poca o ninguna escolaridad, y en muchos casos las únicas piezas de tecnología con las que están familiarizadas son el machete, el azadón y el hacha (y últimamente el radio de transistores); sin embargo, ésta es una condición *sine qua non* para la operación confiable y de largo plazo de los sistemas de generación con TER.

No se prentende con ésto que cada usuario se convierta en un técnico especializado en estos sistemas. La información que se debe proporcionar es simple e incluye el cómo trabajan los sistemas, qué clase de servicios habrá de proporcionar, cuáles son sus limitaciones inherentes, qué clase de electrodomésticos se le pueden contectar, dónde puede encontrar asistencia técnica en caso de requerirla, etc. El usuario debe saber, entre otras cosas, como operar adecuadamente su sistema, cómo y cuándo limpiar sus módulos FV o lubricar un aerogenerador o una pequeña turbina, cómo mantener una batería, cómo reemplazar lámparas fundidas, etc. Obviamente entre más grande y más complejo sea el sistema TER, más demandantes serán los requerimientos de información y capacitación.

Muchos de estos requerimientos pueden parecer triviales, para gente de las ciudades, pero ciertamente no lo son para campesinos en áreas rurales apartadas. Por ejemplo, el postulado "es necesario poner agua pura a las baterías", es interpretado de muchas maneras: hay quienes religiosamente verifican el nivel del agua en la batería todos los días y agregan agua para mantenerlo siempre hasta el borde, a pesar de que ésto es una práctica incorrecta; otros hierven el agua antes de agregarla, apesar de que el agua después de hervir tiene mayor concentración de sales, las cuales son nocivas para la batería. Pero, después de todo ¿cuál es el concepto que estas gentes tienen de agua pura? pues el agua que no causa enfermedades: el agua hervida. Y ¿qué experiencias tienen en cuanto a proporcionar agua a otros sistemas? pues dar agua a sus animales, regar sus plantas o calmar su propia sed. Y ésto hay que hacerlo regularmente o de otra forma los sistemas se deterioran.

Hay todavía en el ambiente cierto debate en torno a quién tiene la responsabilidad de informar y capacitar al usuario. Hay quienes opinan que ésto es una responsabilidad del gobierno; otros piensan que no corresponde a nadie, y que el usuario debería aprender por sí mismo, de forma análoga a como aprendemos individualmente y por interés propio a conducir un auto o a utilizar aparatos electrodomésticos. Nuestra opinión es que en un proceso de electrificación rural de gran escala como el que se está llevando a cabo, con los ritmos a los que se está ejecutando, con las inversiones que se están haciendo, y con el grado de desarrollo de la tecnología que se está utilizando, es en el mejor interés de todos los entes involucrados que la información y capacitación al usuario se dé de manera inducida, con un ritmo al menos igual al de la introducción de los sistemas. También estamos convencidos de que sería un error crear burocracias cuya misión fuera la de informar y capacitar a los usuarios en torno a las TER.

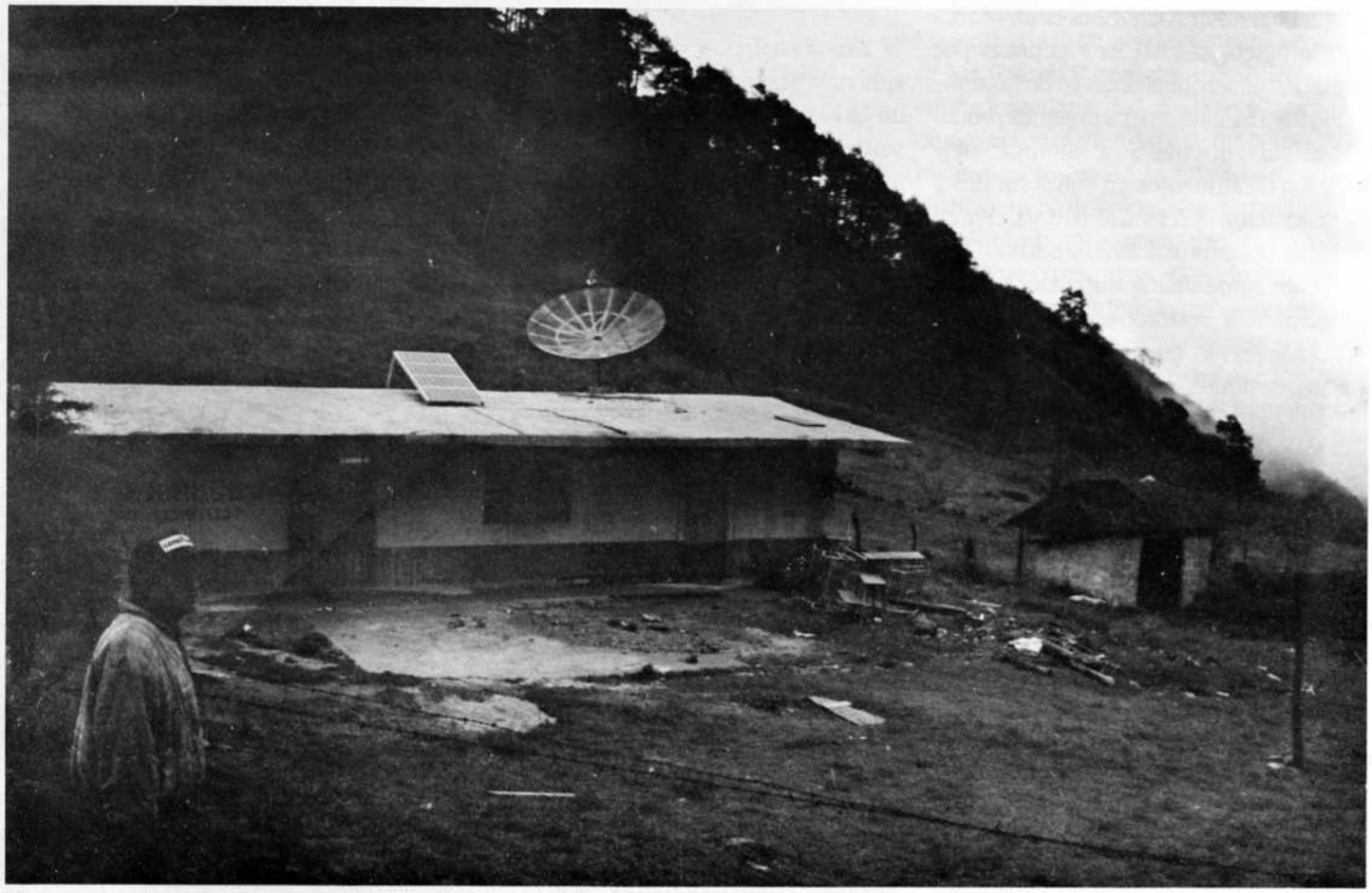
Creemos que un camino seguro para llevar a cabo estas tareas es a través de los propios contratistas, por varias razones: primera, la experiencia práctica demuestra que se puede hacer con muy buenos resultados; segunda, es el contratista quién conoce mejor sus propios equipos y sistemas y por lo tanto es quien mejor sabe sus requerimientos de operación y mantenimiento; tercera, es en el mejor interés del contratista que haya usuarios satisfechos para que los mercados no sólo se conserven sino que además se expandan; y por último, porque se facilita el proceso normativo.

A principos del programa era práctica regular comprar equipos a distintos proveedores e integrar e instalar los sistemas a través de contratistas. El resultado en muchos casos fueron sistemas subdimensionados, a veces sin contar con todos los elementos necesarios, o bien con equipos en ocasiones incompatibles entre sí, o instalaciones de muy baja calidad. Si algo iba mal con tales sistemas, era muy difícil deslindar responsa-

bilidades: los proveedores individuales las rehuian culpando a los otros. Luego se desarrolló la práctica de comprar sistemas en paquete, incluida la instalación. Sin embargo, si algo iba mal, los proveedores aún tenían la posibilidad de culpar al usuario por malas prácticas de operación y mantenimiento. Actualmente la normatividad establece que el contratista deberá proveer los sistemas completos, incluyendo instalación, información y capacitación al usuario, y servicios postventa. Más aún, el sistema debe satisfacer ciertos estándares de desempeño, eficiencia y durabilidad, y está calificado por la cantidad de electricidad que debe entregar a la carga de iluminación (u otros servicios, según el caso). Con ésto, el esquema de electrificación rural con TER ha evolucionado de un proceso basado en la compra-venta e instalación de equipos, a uno centrado en la prestación de servicios. Los contratistas activos en los programas han adoptado este esquema en forma expedita, con buenos resultados hasta ahora.

El proceso de asimilación de una tecnología por parte de la sociedad puede llegar a tomar décadas, más aún tratándose de la fracción menos favorecida de esa sociedad. En México estamos apenas en los albores de ese proceso en relación con las TER. Se está dando un primer paso, ciertamente modesto si lo comparamos con todas las oportunidades que sin duda habrán de materializarse en el futuro, pero es un paso muy importante, cuyos resultados en el balance son positivos. Aun así, el rumbo puede llegar a perderse si se descuida o se desvirtúa el proceso normativo, o si los intereses particulares se anteponen a los intereses de la sociedad en su conjunto. Sólo con un espíritu de corresponsabilidad y colaboración entre todos los involucrados en este proceso, como el que hasta ahora se ha venido dando, será posible garantizar la calidad y la sostenibilidad de los proyectos de electrificación rural con TER.

[1]. El trabajo sobre investigación y desarrollo de celdas fotovoltaicas se inició en México hace aproximadamente 25 años en el CINVESTAV. Para 1966, ya se estaban fabricando celdas de silicio monocristalino de unos 2 cm^2 de superficie con 7 u 8 por ciento de eficiencia y casi 0.25 watts de potencia cada una. Estas se utilizaban para energizar dispositivos electrónicos de medición que se colocaban a bordo de globos meteorológicos con objeto de estudiar fenómenos atmosféricos. En 1978, el mismo grupo instaló una planta piloto con capacidad para producir anualmente alrededor de 4 kW de celdas FV, ya de tipo comercial. La capacidad de esta planta fue posteriormente incrementada a 20 kW por año. En la actualidad, prácticamente todas las celdas FV utilizadas en el programa de electrificación rural son de importación.



Telesecundaria energizada con energía solar en el Estado de Hidalgo.

Reutilización de desechos orgánicos para la producción de energía

por: José L. Arvizu Fernández *

En uno de los primeros Institutos de Investigación y Desarrollo establecidos en el Estado de Morelos, se han efectuado desde hace unos quince años, diversos proyectos destinados al conocimiento y aplicación del Proceso de Digestión Anaeróbia. Las oportunidades que ofrece el Proceso de Digestión Anaeróbia son: la producción de un combustible y la reducción de la contaminación generada por la descomposición no controlada de los desechos orgánicos.

La Digestión Anaeróbia es un proceso biológico, el cual es efectuado por bacterias anaeróbias. Dentro de las aplicaciones del gas generado por el proceso, se pueden citar a la iluminación y cocción de alimentos en zonas rurales y la generación de electricidad y calor en granjas de explotación intensiva. Los desechos comunmente utilizados por este proceso son estiércoles de vacunos, porcinos y aves, que son mezclados con pajas o residuos de cosecha.

A modo de ilustración puede citarse el caso en que para preparar los alimentos de una familia en el medio rural formada por cinco o seis miembros, son suficientes dos metros cúbicos de gas, que equivalen a la producción de una planta de 3 m^3 de volumen, la cual requiere ser alimentada con el estiércol producido por dos vacas diariamente.

En América Latina existen alrededor de 400 plantas (1985) de este tipo, encontrándose la mayoría en Brasil y Cuba (75%).

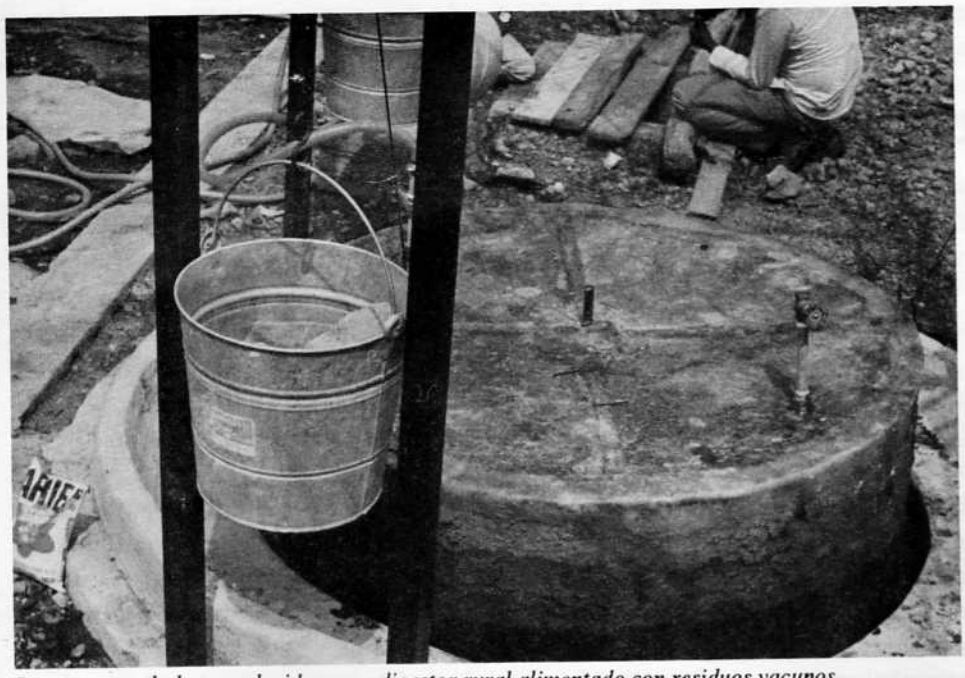
En las granjas porcícolas, avícolas y cuencas lecheras también ha sido aplicado este proceso, proporcionando combustible para calefacción de casetas, molienda de granos, preparación de alimentos, bombeo de agua, pasteurización de leche, etc. Un caso típico de esta aplicación se encuentra en "Maya Farms" en las Filipinas donde son procesadas diariamente 70 toneladas de estiércol producido por 46 mil cerdos, dando lugar a la generación de 4 mil m^3 de gas por día, suficiente para satisfacer la energía requerida por la explotación y una planta anexa procesadora de carnes.

Los beneficios derivados de estas aplicaciones son importantes, ya que por un lado se obtiene un combustible proveniente de una fuente renovable e inagotable de energía, al mismo tiempo que se eliminan gran parte de los problemas de salud e higiene derivados del manejo y disposición tradicional de los desechos orgánicos, problemas que pueden dar como resultado fuertes pérdidas económicas.

La aplicación del proceso Anaeróbico no se limita al tratamiento o reutilización de estiércoles, también pueden ser tratados los desechos orgánicos de origen municipal, industrial y agroindustrial, tales como aguas negras, vinazas, efluentes de cervecerías, rastros, ingenios, beneficios de café, etc. El Proceso Anaeróbico en en este sentido ha mostrado su utilidad, ya que los procedimientos tradicionales de tratamiento de estos efluentes tienen por lo general costos de operación y mantenimiento más elevados. Las ventajas principales del proceso

El ganado existente en el medio rural es proveedor accesible de residuos para la producción de biogas.

* Instituto de Investigaciones Eléctricas
Departamento de Fuentes No Convencionales de Energía



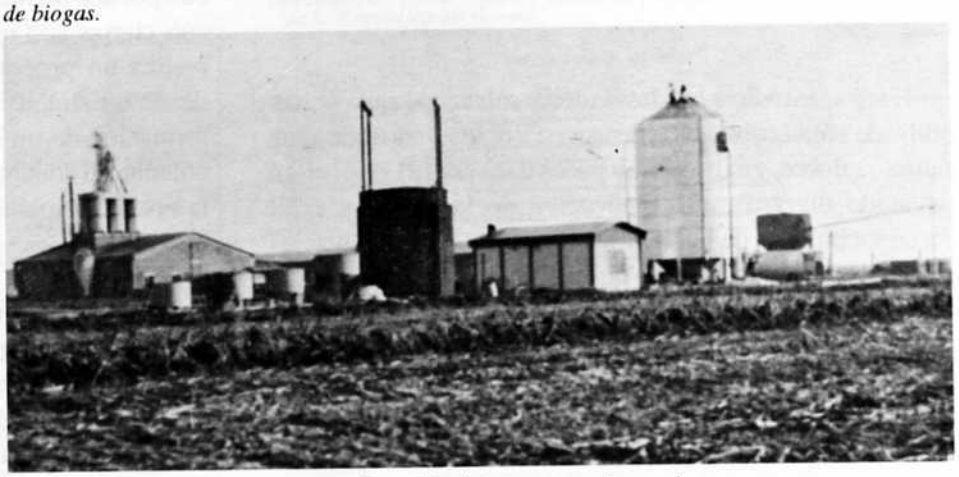
Biogas acumulado y producido en un digestor rural alimentado con residuos vacunos.

anaeróbico sobre los tradicionales aeróbios se relacionan a la menor generación de "lodos residuales", menor consumo de energía, recuperación de un energético y aplicabilidad tanto a desechos concentrados como diluídos. Dentro de los reactores desarrollados y aplicados para el tratamiento de efluentes industriales están los "Filtros Anaeróbios" y "Reactores de Lecho de Lodos y Flujo Ascendente" (UASB). Estos reactores de gran velocidad de conversión, son capaces de producir en promedio de 4 a 6 m^3 de gas por m^3 de reactor diariamente, y de tratar varios miles de m^3 de efluente al día (1000-6000 m^3/d), dependiendo del contenido de materia orgánica de los efluentes a procesar *1 a 100 kg DQO/m^3, (DQO = Demanda Química de Oxigeno). Un ejemplo de reactor UASB es el construído y operado en Holanda para tratar las aguas residuales del procesamiento de maíz, las cuales poseen un contenido de materia orgánica equivalente a 10 kg DQO/m^3 y un caudal de 1050 m^3/día. Los residuales son alimentados al UASB de 800 m^3 de volumen para producir de 3,600 a 4,800 m^3 de gas/día. La reducción de la contaminación en término de DQO es del 90% requiriendo para su operación de 2 a 2.5 horas/día. El gas combustible derivado de los efluentes, generalmente constituye en proporción importante a los energéticos convencionales utilizados en la generación de electricidad o vapor para aplicaciones industriales.

Vista aérea del filtro anaeróbico empleado por la Bacardi Corporation en Puerto Rico, para el tratamiento de sus aguas residuales y producción de biogas.

Además de los beneficios citados y proporcionados por el Proceso de Digestión Anaeróbia, existen otros de mayor o igual importancia, en ocasiones difíciles de estimar, como lo son la disminución de la deforestación y conservación del equilibrio ecológico, al tener un energético alterno a la leña; la conservación de la fertilidad de los suelos en huerto familiares, al incorporar el material orgánico el cual se ha extraído el gas y mantenido sus propiedades como acondicionador de suelos. Así como la disminución de enfermedades que son de las de mayor incidencia en el Estado de Morelos provocando las prácticas inadecuadas en el manejo y disposición final de materiales orgánicos.

El estado de Morelos no está ajeno a los problemas de manejo y disposición de los desechos orgánicos derivados de su creciente actividad, ni a la reutilización de aguas residuales, así que las potenciales aplicaciones de la Digestión Anaerobía son numerosas. Sin duda alguna este noble y antiquísimo proceso puede ser aprovechado para el mejoramiento de la calidad de vida de los morelenses, ya sea en el campo, en la ciudad o en la industria, en el momento en que las voluntades y las circunstancias coincidan.



Producción de biogas y tratamiento de residuales en una granja porcina.

Aplicaciones de los sistemas de evaporación solar pasiva

por: Enrique Barrera C. *
Enrique Hernández V. *

Introducción.

El principio de funcionamiento de los clásicos destiladores solares pasivos (DSP) ha sido descrito extensamente en esta revista [1], así como en foros especializados [2]. No obstante, cabe recordar que un destilador solar pasivo, es un dispositivo muy simple, en donde los elementos básicos son un recipiente de poca profundidad, para contener el agua a tratar; y una cubierta transparente a la radiación solar, provista de un canal recolector del agua condensada sobre la misma durante el periódo de destilación.

El funcionamiento del destilador se basa en que al cruzar la radiación solar la cubierta transparente, llega al agua siendo parcialmente absorbida por ella. Como consecuencia de esta absorción, la temperatura del agua se eleva, con lo que se acelera el proceso de evaporación y aumenta el contenido en vapor de agua del aire encerrado en el recinto; este aire, al entrar en contacto con la cubierta más fría, condensa el exceso de vapor sobre ella y, tras formar gotas, desliza por la superficie interior siendo recogida en el canal recolector.

Gracias a los mecanismos *sui generis* que gobiernan el proceso de evaporación-condensación en este tipo de unidades, es posible lograr una separación sumamente eficiente del solvente (agua) de los diversos solutos que la contaminan (sales minerales, metales pesados, compuestos orgánicos, etc.)

Tradicionalmente los destiladores solares de agua se han utilizado para la obtención de agua destilada a partir de agua salina o salobre, y existen muy pocos trabajos, [3], que hallan intentado diversificar la aplicación de la tecnología. El desconocimiento de las múltiples aplicaciones potenciales de los destiladores solares, quizás pueda ser la razón, que halla impedido un mayor desarrollo de la técnica. Así en el presente trabajo se pretende describir las diversas aplicaciones que se les puede dar a la utilización de los destiladores solares pasivos y mencionar dos trabajos concretos de las recientes experiencias de los autores en esta dirección.

* Area de Ingeniería en Recursos Energéticos,
Departamento de I.P.H., Universidad Autónoma Metropolitana,
Iztapalapa, Apdo. Postal 55-534 CP. 09340, México D.F.

Posibles aplicaciones de la evaporación solar

El agua tiene un elevado poder disolvente para sólidos, líquidos y gases, lo que dificulta que esta alcance una pureza de 100%. Afortunadamente, en los múltiples usos a los que la destina el hombre, no se requiere alcanzar dicha pureza, pero normalmente demanda un cierta composición química normalizada para los distintos procesos, que el ingeniero debe de proveer.

La técnica de evaporación solar de agua en los destiladores del tipo caseta, suministra agua de alta calidad, libre de materias sólidas en suspensión y disueltas, con un rechazo de sólidos disueltos del 99.999 %, incluso muy superior a la calidad que brinda la técnica de ósmosis inversa, que en el mejor de los casos elimina el 99 % de los sólidos disueltos, aunque esta eficiencia disminuye conforme transcurre el tiempo de uso de la membrana, [4], la cual periódicamente hay que cambiar.

Normalmente el DSP es práctico solamente para cierta etapa de tratamiento del agua y, específicamente, para remover de ella sustancias poco volátiles, como las sales minerales, metales pesados y para ciertos microorganismos, que son destruidos por efecto de las altas temperaturas que se logran en el evaporador. Nuestras recientes experiencias en el campo, nos permiten asegurar que aún el agua contaminada con ciertas sustancias volátiles, puede ser destilada, si se realiza un proceso de acondicionamiento que puede ser desde un simple ajuste en el pH de la solución, hasta la formación de un compuesto químico insoluble no volátil, obtenido al adicionar una especie química que reacciona con la sustancia volátil, de acuerdo a la clásica teoría del equilibrio químico.

Supongamos que se desea destilar agua conteniendo NH_3; que por su naturaleza química presenta alta volatilidad lo cual impide el proceso de destilación directa. Entonces, el proceso de acondicionamiento consiste en formar en la solución un compuesto no volátil, que permita la destilación del agua sin arrastrar NH_3. Basados en las constantes de formación de ciertos compuestos, se pueden añadir a la

solución cantidades estequiométricas de iones Cu^{+2} para formar la especie $Cu(NH_3)_4^{2+}$ lo cual es posible dada su elevada constante de formación de dicha especie, la cuál es: $K_f=2.12x10^{14}$. De acuerdo a la anterior metodología, se pueden buscar formar compuestos no volátiles, que pueden ser concentrados a niveles deseados y ser aprovechados como productos valiosos. En la ref.[5], se da un compendio de posibles reacciones entre especies químicas y sus respectivas constantes de formación, las cuales pueden se utilizadas por el ingeniero para plantear los mejores procesos posibles de acondicionamiento de salmueras.

Dada la alta calidad de agua, obtenida con los destiladores solares, se debe de pensar en su utilización para las siguientes aplicaciones, que demandan de agua de tal calidad.

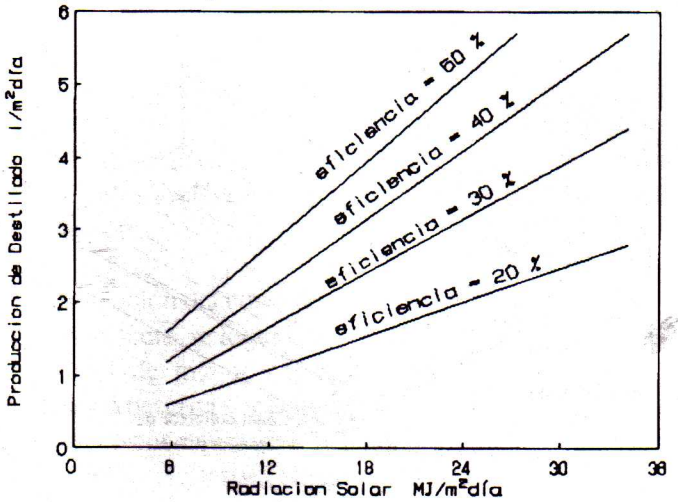
- Sistemas de desmineralización de agua, en donde por ejemplo el problema sea calcio y magnesio, los cuales ocasionan la denominada dureza del agua, que restan sus posibilidades de uso en calderas de vapor e intercambiadores de calor. El uso de un agua desmineralizada, evita la incrustación que mantiene una elevada eficiencia energética.

- El agua destilada es excelente para usarse en las cortadoras de agua tipo Jet, puesto que aumentaría la eficiencia y alargaría la vida del orificio.

- En el desarrollo de circuitos electrónicos se demanda de agua para enjuagues con bajo contenido de coloides, materia orgánica e impurezas iónicas, que sólo la evaporación solar puede dar a un costo competitivo.

- En la industria farmaceútica, se demanda de agua libre de iones para la elaboración de reactivos, productos formulados y en general como agua de lavado o enjuague de instrumental o de un producto específico.

FIGURA 1
Dependencia de la productividad de agua destilada con la radiación solar recibida para distintas eficiencias.



- En la industria galvanoplástica, concretamente en los electroplateados, el uso de agua destilada, evita depósitos y manchas en el proceso y suministra agua de reposición de alta pureza.

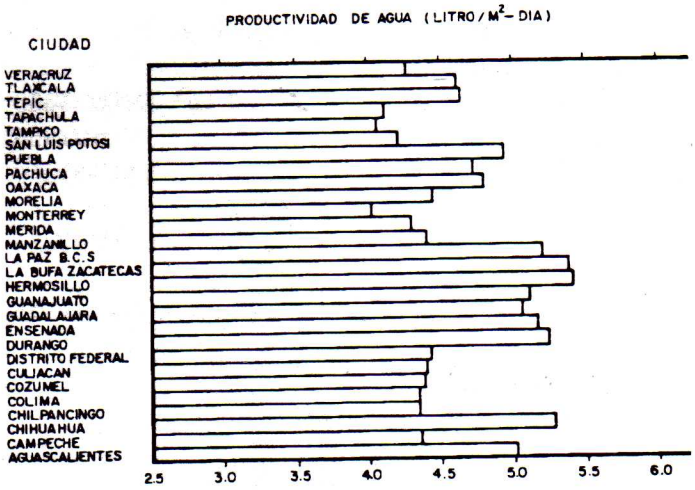
- En la industria de alimentos y bebidas, se demanda de agua con un bajo contenido de sodio y de materia orgánica para la elaboración de sus productos.

La obtención de agua con los evaporadores solares pasivos del tipo caseta, definitivamente puede ser utilizada en las diversas aplicaciones mencionadas, e incluso hay muchas otras aplicaciones comunes a este producto, las cuales van a depender del criterio y ocurrencia del técnico o ingeniero que lo utilice.

Una clara limitante de las posibles aplicaciones de los DSP, lo constituye el hecho de su baja productividad de agua destilada (en promedio 4 l/m^2día) para niveles de radiación solar cercanos a los 30 MJ/m^2día. Así, diversos investigadores han estudiado nuevos diseños que buscan aumentar la eficiencia de tales unidades [3]. Normalmente se suele considerar que las aplicaciones de los DSP, se pueden dar en situaciones donde aparte de que exista buena radiación solar, las demandas de agua sean inferiores a menos de 20 m^3/día, [6].

La predicción de la producción de los DSP, depende de las diversas condiciones ambientales donde se ubique la unidad, sin embargo se ha encontrado que la radiación solar es el parámetro que más influye en dicho valor. En la figigura 1 se ha graficado la dependencia de la producción de destilado con la radiación solar, para diversas eficiencias de los DSP. Dicha figura es de suma utilidad para tener una aproximación de la producción del DSP, cuando se conoce la eficiencia de nuestra unidad. En la figura 2 se muestran los valores de producción de agua destilada para diversos lugares del país,

FIGURA 2
Datos de posible productividad de agua de un DSP para distintos lugares de la República Mexicana.



los cuales fueron calculados con un modelo de simulación, validado experimentalmente [7], y que tomó en cuenta todas las variables ambientales que más influyen en el funcionamiento de la unidad.

Ejemplos de aplicación

A continuación se presentan dos ejemplos de aplicación realizados por los autores.

1) En el primer caso, el objetivo consistía en diseñar la tecnología que técnica y económicamente resultará más factible para la obtención de 150 litros de agua libre de sales, para su comercialización.

Las dos tecnologías factibles que se analizaron fueron la destilación solar y una pequeña planta de ósmosis inversa. A continuación se presenta el análisis económico.

Análisis económico que compara la tecnología de evaporación solar contra ósmosis inversa

a) Destilación solar DSP.

La inversión inicial para la planta de destilación, a un costo de $100,000/m^2 de DSP, (según la experiencia de la UAM, con destiladores de concreto de poco espesor, del cual se muestra en la figura 3 un esquema del diseño probado). Se considera que cada m^2 de DSP, en promedio rinde 4 l/día, entonces resulta:

Inversión Inicial.

Costo total $100,000/m^2 x 40 m^2		4,000,000
Bomba (1/3 Hp)		300,000
Tubería y válvulas		1,000,000
Filtro acondicionador		1,000,000
	Total $	6,300,000

Costos Anualizados.

Gastos de operación y mantenimiento (3% I.I.)	189,000/año
Consumo de electricidad	10,610/año
Depreciación (considerando una vida útil de 15 años)	420,000/año
Total $	619,610/año

Ventas : 150 l/día X 300 días X 750 $/l = $ 33,750,000/año

Utilidad (U)= ventas - costos

U= 33,750,000 - 619,610

U= $33,130,390/año

b) Costos de producción de agua desmineralizada utilizando ósmosis inversa.

Inversión Inicial

Equipo	$	7,800,000

Costos Anualizados.

Gastos de operación y mantenimiento (3% I.I.)	234,000/año
Consumo de electricidad	90,000/año
Depreciación (considerando una vida útil de 10 años)	780,000/año
Total $	1,104,000/año

Ventas : 150 l/día X 300 días/año X 750 $/l = $33,750,000/año

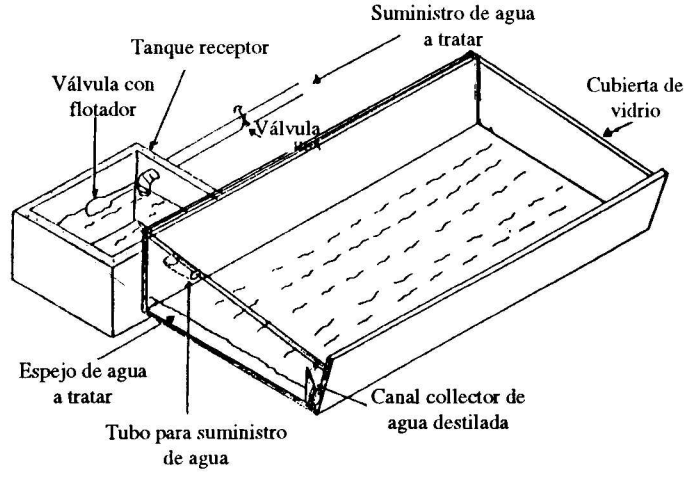
U= 33,750,000 - 1,104,000

U= $32,646,000/año

Con base en el anterior análisis económico, el cual nos muestra la apreciable diferencia en las utilidades, fue posible convencer al interesado en desarrollar el proyecto utilizando la tecnología del DSP. A la fecha se construye la planta de desmineralización.

2) El segundo problema consistió en concentrar 500 l/día de una salmuera industrial del 14 al 28% en peso, para su mejor manejo en aras de una posible comercialización, dado que el efluente contiene sales fertilizantes. Sin embargo, la compañía también contemplaba la posibilidad de utilizar la salmuera concentrada como materia prima a ser alimentada a un equipo de cristalización para recuperar el producto

FIGURA 3
Esquema del destilador solar pasivo, construído en tabique y concreto de poco espesor (impermiabilizado).



valioso y venderlo como cristales. En este trabajo, solo se muestra la primer alternativa.

a) Análisis de costos utilizando la destilación solar.

Suponiendo que cada metro cuadrado de destilador solar en promedio destila cuatro litros de agua por día entonces se requerirán de 63 m² de destilador solar, los cuales nos permiten evaporar aproximadamente 250 l/día de agua, pasando así al nivel de concentración deseado.

Inversión Inicial.

Costo del destilador $100,000/m² X 63 m²	6,300,000
Costo de tubería y válvulas	1,500,000
Bomba (1/3 Hp)	300,000
Total $	8,100,000

Costos anualizados

Gastos de operación y mantenimiento (3% I.I.)	243,000/año
Consumo de electricidad	31,830/año
Depreciación (considerando una vida útil de 15 años)	540,000/año
Total $	814,830/año

Ventas : 250 l de salmuera al 28% a $150/l de salmuera.

250 l/día X 300 días/año X 150 $/l = $11,250,000/año

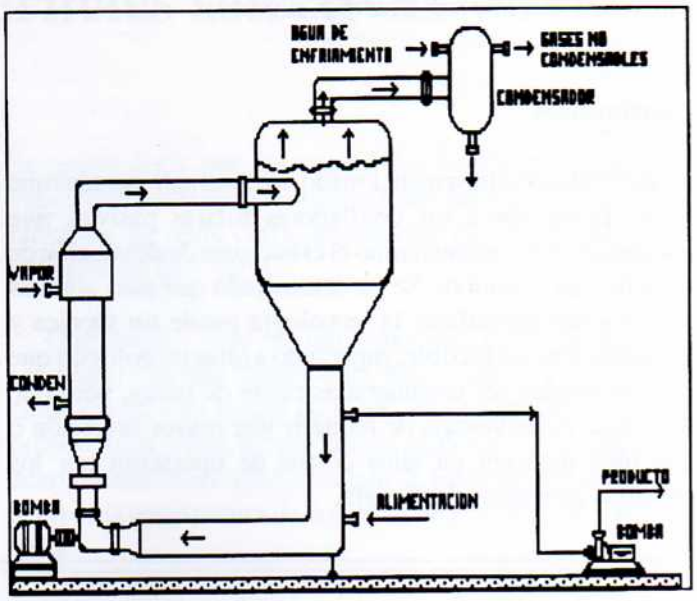
U= 11,250,000 - 814,830

U= $10,435,170/año

b) Análisis de costos utilizando un evaporador convencional. En este caso se supone que se utiliza un evaporador de circulación forzada alimentado con vapor. Esta tecnología es una de las más antiguas, para concentrar salmuera. El vapor que proviene de un generador de vapor, trasmite energía liberada por su condensación a la solución a concentrar por medio de las paredes metálicas de los tubos en los que circula y que se encuentran en contacto con la solución que hay que evaporar. En la figura 4 se muestra un esquema de la unidad considerada, de un solo efecto, y que suele ser la apropiada para los bajos volúmenes de trabajo del problema que se discute.

La estimación del costo de una unidad apropiada para el fin que se discute, se logro con el conocimiento del costo de una unidad de mayor capacidad que de acuerdo a la metodología descrita por Happel & Jordan [8], basada en los índices de costos reportados, nos permitió estimar a precios actuales la inversión para el equipo requerido.

FIGURA 4
Esquema del sistema de evaporación convencional.



Inversión Inicial

Generador de vapor	7,000,000
Evaporador	20,000,000
2 bombas (1 Hp y 1/3 Hp)	1,300,000
Instalación (71% del costo total)	20,093,000
Total $	48,393,000

Costos anualizados

Gastos de operación y mantenimiento (3% I.I.)	1,451,790/año
Consumo de gas	1,333,300/año
Consumo de electricidad	400,000/año
Depreciación (considerando una vida útil de 15 años)	3,226,200/año
Total $	6,411,290/año

Ventas : 250 l de salmuera al 28% a $150/l de salmuera.

250 l/día X 300 días/año X 150 $/l = $11,250,000/año

U= 11,250,000 - 6,411,290

U= $4,838,710/año

En este caso, ambos sistemas dan una utilidad neta anual, sin embargo la utilización del sistema solar resulta más factible económicamente; no obstante el análisis no consideró el terreno requerido para la implementación de la tecnología, y dado que el estudio se efectuó para una compañía ubicada en Cuernavaca Mor., dónde el costo del terreno es sumamente

elevado, se hace imprescindible tal consideración, que va a modificar el análisis económico mostrado. A la fecha, dicha compañía no se ha decidido por ninguna tecnología en especial, y dispone sus efluentes al drenaje.

Conclusiones

En este trabajo hemos mencionado diversas aplicaciones que se les puede dar a los destiladores solares pasivos, que pueden ser tan comunes como el clásico uso de desalación de agua de mar o salobre. Se ha demostrado que para algunas aplicaciones específicas la tecnología puede ser técnica y económicamente factible, superando a otras tecnologías que incluso pueden ser consideradas como de punta, pero que presentan la desventaja de requerir una mayor inversión o que bien incurren en altos costos de operación por los elevados consumos de energía.

Bibliografía

1. *Solís C.H.E., Destiladores solares de agua, La Revista Solar, No 19, Otoño 1991, México.*
2. *Barrera C.E., Fernández Z.J.L., Chargoy N., Hermosillo V.J.J. y Solís C.H., Notas del Curso de Actualización "Destilación Solar de Agua", ANES - UAZ, octubre 1991, México.*
3. *Dind PH. and Schmid H., "Application of solar evaporation to waste water treatment in galvanoplasty", Solar Energy, Vol.20, 1978, Great Britain.*
4. *McCracken H., Distillate production of a simple direct solar still, SunWorld, vol. 14, No. 3, 1990.*
5. *Journal Chemical Education, vol 37, No 14, 1960.*
6. *Malik, M.A.S., et al, Solar Distillation, Pergamon Press, Great Britain, 1982.*
7. *Barrera C.E., Lugo L.R. y Casanova M.J.G., Análisis Técnico-Económico de destiladores solares en la Republica Mexicana. V Congreso Latinoamericano de Energía Solar, Valparaíso Chile, 1986.*
8. *Happel & Jordan., Chemical Process Economics.,Pag 228, 2nd Edition, Mc Graw Hill.*

CREACION DE LA SECCION REGIONAL MORELOS DE LA ANES

El pasado 14 de febrero de 1992 un grupo de asociados de la ANES residentes en el estado de Morelos se reunieron para integrar la sección regional del estado.

El Comité Directivo quedo formado de la siguiente manera:

Presidente:	Ing. José Armando Saldaña Hermosillo.
Vicepresidente:	Ing. Vicente Estrada Cajigal.
Secretario General:	Dr. Claudio Estrada Gasca.
Tesorero:	Ing. Pablo Alejandro Parkman Cuellar.
Secretario de Relaciones:	Ing. Marco Antonio Olvera.
Secretario de Asuntos Industriales:	Ing. Octavio García.

Los objetivos que se establecieron fueron los siguientes:

1° Integrar una Sección Regional que agrupe a todos los profesionistas, estudiantes e interesados en la investigación

2° Establecer el enlace entre la Asociación Nacional de Energía Solar y la comunidad solar en el estado a través de la sección regional.

3° Promover las fuentes alternas de energía en el estado a través de diversos mecanismos como: conferencias, cursos, artículos de difusión en periódicos locales, talleres, etc.

4° Crear un órgano de difusión periódica a nivel regional, que informe a los asociados. Elaborar y mantener actualizado un directorio de todos los agremiados.

5° Promover actividades sociales y recreativas entre los afiliados para conocernos mejor y mirarnos con el afecto y la estimación que todos debemos dispersarnos.

¡Felicidades a los colegas de Morelos por su entusiasmo!
Domicilio: Humbolt 604 Tel. (73) 180136.

Desarrollo de superficies selectivas

Por: Enrique Barrera C.*
Felipe Muñoz G.**

1. INTRODUCCION

Los actuales patrones de consumo energético y los usos indiscriminados de los recursos no renovables como el carbón, los hidrocarburos y la energía nuclear, son la razón de la llamada crisis energética. Dicha crisis, además de provocar toda una serie de desequilibrios sociales , políticos y económicos entre la humanidad; recientemente empieza a resultar más preocupante, por las presiones ecológicas generadas, con motivo de su uso masivo. Ante dicha problemática, sigue resultando imperiosa la necesidad de desarrollo y búsqueda de fuentes nuevas y renovables de energía, además de limpias.

El caso de la energía solar ha resultado muy interesante, pues es una energía limpia, permanente y gratuita, que está presente y disponible casi en cualquier parte de la tierra. Se puede asegurar que México es afortunado en este recurso, ya que cuenta con una de las más altas insolaciones promedio a nivel mundial, alcanzando valores de hasta 25 -30 MJ/M - día. Esta alta radiación solar puede ser aprovechada en la conversión fototérmica en múltiples aplicaciones como:

- calentamiento de agua para fines domésticos e industriales.
- secado de granos.
- desalación de agua.
- bombeo de agua.
- refrigeración y climatización, etc.

El aprovechamiento fototérmico requiere entonces de una superficie que absorba bien la radiación y que la emita en poca cantidad. La superficie usada en estas aplicaciones, se denomina selectiva, [1].

Es ampliamente conocido que una superficie negra absorbe muy bien la radiación solar mientras que una superficie blanca la refleja, absorbiendo muy poca. Por esto las superficies blancas expuestas al sol se conservan más frescas.

* Area de Ingeniería en Recursos Energéticos, Departamento de I.P.H., Universidad Autónoma Metropolitana,Iztapalapa, Apdo. Postal 55-534 CP. 09340, México D.F.
** Instituto de Ingeniería, UNAM, Apdo. Postal 70-472, Coyoacan 04510,D.F.

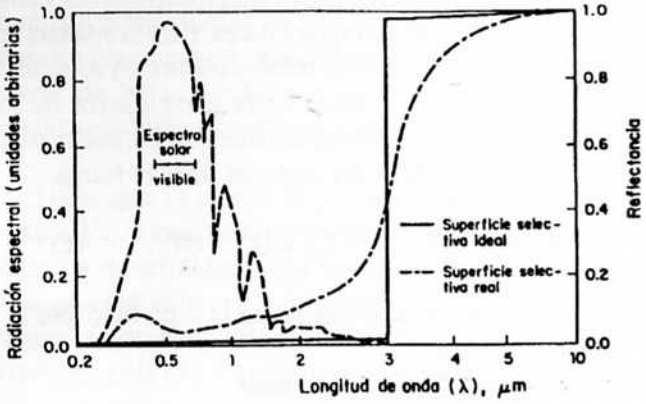
Se puede decir que las superficies negras muestran muy buena absorción de la radiación solar que es, en su mayoría, radiación de onda corta proveniente de una fuente a una temperatura de 5762 K.

Otro hecho, este no tan conocido, es el de que una superficie con una temperatura mayor que los alrededores emite energía en forma de calor, en una magnitud que es proporcional a una propiedad del material de la superficie denominada emisividad o emitancia. Esta emisión de energía ocurre a la temperatura de la superficie y es radiación de onda larga.

Las superficies selectivas son de gran importancia en los sistemas de captación de la energía solar. Estas superficies combinan una alta absortancia para la radiación solar, con una baja emitancia para un intervalo de temperatura en la que la superficie emite radiación infrarroja. Dicha combinación característica es posible porque el 98% de la energía de la radiación solar, está contenida en longitudes de onda debajo de 3 μm, mientras que el 99% de la radiación emitida por una superficie negra a 400 K es a longitudes de onda mayores de 3 μm.

En la figura 1 se muestra una superficie selectiva ideal en la que se observa que a longitudes de onda λ menores, que 3 μm la reflejancia o reflectancia ρ es muy baja y por tanto la absortancia α será alta. Este comportamiento favorece la absorción de la radiación solar ya que casi la totalidad del espectro solar está comprendido entre longitudes de onda menores de 3 μm. Por el contrario a longitudes de onda

FIGURA 1
Espectro solar y comparación de la reflectancia espectral de una superficie selectiva ideal y de una real.



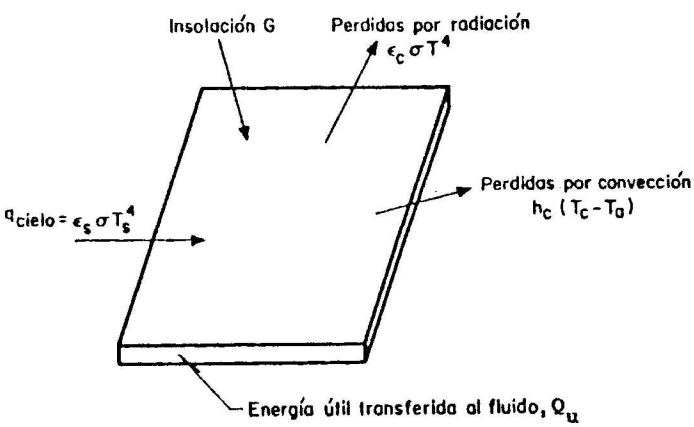
mayores la reflejancia es alta y la emitancia ε será baja lo que favorece una menor emisión de radiación.

El objetivo de este trabajo consiste en describir la forma en que trabaja la superficie selectiva en la captación de la radiación solar y las propiedades ópticas que la caracterizan. Posteriormente se describen los métodos con los que el ingeniero o técnico solar cuenta, para la preparación de las superficies selectivas. Finalmente se describen los trabajos de desarrollo y aplicación de las superficies selectivas, desarrolladas y obtenidas conjuntamente por el Area de Energía de la UAM-I y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, las cuales pueden ser ampliamente utilizadas en diversas aplicaciones fototérmicas.

2. ANALISIS DE LA IMPORTANCIA DE LAS SUPERFICIES SELECTIVAS

Para comprender la importancia de las superficies selectivas en el aprovechamiento de la energía solar, vamos a analizar un modelo de captador solar simplificado, tal como el que se ilustra en la figura 2, y en el que vamos a aplicar un balance de energía y observar la influencia de las propiedades ópticas α y ε en la eficiencia del captador.

FIGURA 2
Balance de energía para un captador solar.



La superficie del captador consiste en una placa plana colocada normal a la dirección de los rayos solares. Para el análisis se supone que la temperatura del captador es uniforme y constante y que la energía útil se extrae de la parte trasera de la superficie mediante un fluido en circulación. Un balance de energía por unidad de área del captador tiene la forma

$$\alpha G = \varepsilon_c \sigma T_c^4 + h_c (T_c - T_a) + Q_u - \varepsilon_s \sigma T_s^4 \qquad (1)$$

Donde :

G = radiación solar incidente sobre la superficie, por unidad de área.
σ = constante de Stefan-Boltzmann.
T_c = temperatura del colector.
T_a = temperatura del aire.
T_s = temperatura del cielo.
h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección.
Q_u = calor útil.

Los índices y subíndices c y s de la temperatura y la emitancia se refieren al captador y al cielo, respectivamente.

Dado que el valor de un captador solar depende de su capacidad para captar y retener la mayor parte de la radiación, la eficiencia η del colector se puede definir como la relación de energía útil a la energía radiante incidente o sea:

$$\eta = Q_u/G \qquad (2)$$

Combinando 1 y 2, se tiene:

$$\eta = \alpha - \frac{\varepsilon_c \sigma T_c^4}{G} - \frac{h_c (T_c - T_a)}{G} + \frac{\varepsilon_s \sigma T_s^4}{G} \qquad (3)$$

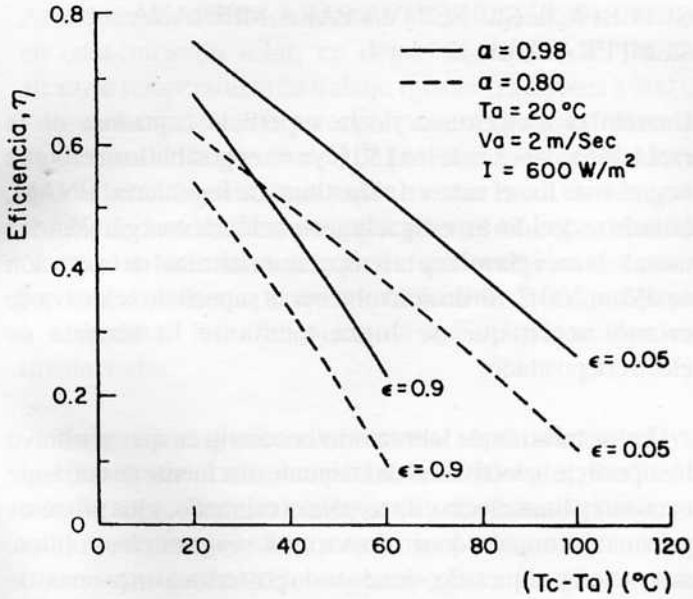
Con base en la ecuación 3 podemos analizar el comportamiento de la eficiencia en términos de las propiedades ópticas. Se observa que la eficiencia del captador aumenta si la absortancia aumenta o bien si disminuye la emitancia. La representación gráfica de la ecuación 3, nos es de utilidad para comparar la influencia en la eficiencia, de las distintas propiedades ópticas de superficies selectivas. En la figura 3, se ha graficado la eficiencia en función de la temperatura del colector para materiales con α = 0.8 y 0.98 y ε = 0.05 y 0.9 respectivamente, [2]. Las curvas resultantes nos permiten apreciar que para bajas temperaturas del colector (T_c=40 C) y una α = 0.98, la ganancia en la eficiencia es menor (solo 8%), cuando ε disminuye de 0.9 a 0.05; comparada a la ganancia (de 14%), cuando la α se incrementa de 0.8 a 0.98 a una ε = 0.9.

Cuando se analiza la misma situación, solo que para el caso de una mayor temperatura, digamos T_c=80 C; la ganancia en la eficiencia es mayor (aproximadamente 28%), cuando la ε disminuye de 0.9 a 0.05 para una α = 0.98; comparado, con la ganancia (14%), cuando α se incrementa de 0.8 a 0.98 a una ε = 0.9. Con base en el análisis anterior, se puede intuir que para colectores solares de baja temperatura, es suficiente contar con recubrimientos selectivos de alta absortancia, en tanto para aplicaciones de temperatura intermedia comparado con el primer caso, se hace muy importante contar con recubrimientos de menores emitancias.

Un análisis similar se realizó para captadores cilíndrico-parabólicos, [3]. Se puede concluir de los trabajos realizados que la eficiencia de captación y conversión a calor útil de la radiación solar se incrementa desde un 5 hasta un 15 por ciento con el uso de las superficies selectivas.

FIGURA 3

Variación de la eficiencia en función de la diferencia de temperatura, (T_c-T_a). La temperatura ambiente T_a es de 20 C.



3. METODOS DE OBTENCION DE SUPERFICIES SELECTIVAS

Existe gran variedad de métodos de obtención de superficies selectivas, teniendo cada uno de ellos su costo y propiedades ópticas y mecánicas de la superficie obtenida.

Electrodeposición. Este método de obtención presenta un mayor control sobre las propiedades ópticas de los recubrimientos y bajo costo de elaboración. Para efectuar la electrodeposición se requiere de una solución que contiene el ion o iones requeridos para la formación del depósito, y que permite el paso de la corriente eléctrica, y de dos placas metálicas a través de las cuales circula corriente directa. Se puede asegurar que esta técnica es la más utilizada en la actualidad, para la producción de superficies selectivas en la conversión fototérmica. Tan solo en el caso de la superficie de cromo negro obtenida por esta técnica, para el año de 1979 se encontraban instalados 232,260 m² de superficie de captación, en tanto para 1980, la cifra aumentó a 420,000 m², en procesos donde la máxima temperatura de operación fue de 250 C, [4].

Deposición al vacío. Las películas delgadas depositadas al vacío parecen una gran promesa como método de obtención, aunque el elevado costo del proceso ha frenado su desarrollo. Un ejemplo de este tipo de depósito es la obtención de la película selectiva de PbS. La aplicación de esta tecnología es más común en procesos fotovoltaicos que para fototérmicos.

Deposición de vapor químico. Este método ha encontrado extensa aplicación en la preparación de semiconductores, más que de superficies selectivas. El mecanismo con el que trabaja el método es muy complejo, con gran cantidad de variables por controlar. Entre las superficies selectivas obtenidas por este método se tiene al FeSn usando como fuente al $SnCl_2$ entre 450 y 700 C y al Ni usando como fuente al $Ni(CO)_4$.

Conversión química. Este método tiene el potencial de bajo costo y altos volúmenes de fabricación. Las películas pueden ser formadas por conversión química o reacción [5].

Oxidación térmica. Esta técnica, a pesar de su sencillez, es de reciente desarrollo y resulta muy atractiva, dado que los óxidos térmicos de ciertos metales, son de un color gris-oscuro a un negro mate, los cuales en ciertos casos presentan buenas propiedades ópticas. El costo de esta técnica apunta a ser de los más económicos.

Otros métodos. Existen otros métodos que aún están en desarrollo como deposición electrónica y rocío.

4. TECNOLOGIAS DE OBTENCION DE SUPERFICIES SELECTIVAS

En México, diversas instituciones han desarrollado trabajos en el área de superficies selectivas, [6], [7], [8] y [9]. Concretamente en éste trabajo, exponemos los estudios desarrollados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Area en Recursos Energéticos en la UAM, los cuales han estado enfocados al desarrollo de materiales selectivos para la conversión fototérmica a elevada temperatura, y en la que en fecha reciente, mediante proyecto de colaboración entre ambas instituciones, se desarrolló la obtención del cobalto negro.

SUPERFICIES SELECTIVAS DE BAJA TEMPERATURA

Una de las mejores superficies selectivas con que se cuenta en la actualidad, es el cromo negro, que se aplica a sustratos de cobre, fierro e incluso acero inoxidable. Por lo tanto se comprende que dicha superficie tiene gran aplicación para un gran rango de temperaturas de trabajo, cubriendo la gama de baja, mediana e incluso, para circunstancias especiales, hasta alta temperatura.

Dado que el cromo negro se desarrolló para fines de aplicación a mediana temperatura, vamos a describir los trabajos desarrollados para su obtención, en dicha sección. Sin embargo, cabe puntualizar que dicha superficie de amplio uso en el extranjero, dada sus excelentes propiedades ópticas (α=0.95, ε=0.15), e incluso bajo costo, se usa muy poco en

México para aplicaciones en calentadores solares de agua y aire para fines domésticos, utilizándose otros materiales menos eficientes, e incluso, simples pinturas comerciales. Es muy importante recordar, que el recurrir a la utilización de pinturas comerciales de color negro mate, puede bajar la eficiencia global del sistema solar hasta un 10%, lo cuál tarde o temprano demeritará la calidad del producto.

Existen diversas aplicaciones fototérmicas de la energía solar, para temperaturas de trabajo menores a 150 C, entre las que destacan los calentadores solares de agua y aire para utilización doméstica y de secado de granos y otros productos agropecuarios, así como los destiladores solares pasivos para desalación de agua.

Una de las mejores superficies selectivas, para aplicaciones fototérmicas para temperaturas de trabajo menores a 150 C consiste en la obtención de óxidos negros de cobre, aluminio o fierro, mediante un baño de oxidación química a una temperatura de 100 C.

El método de obtención de cobre negro que se explicará a continuación es solamente para cobre, que es el metal usado en los calentadores solares de agua por su excelente conductividad térmica. El método consiste en tres pasos:

Paso 1. Pulido hasta acabado espejo del cobre (lámina o tubo), en varias etapas, manual y mecánico, y usando diferentes pastas para pulir.

Paso 2. Limpieza del cobre con agua de la llave y jabón, agua destilada, y vapores de sustancias orgánicas como el tricloroetileno. Al finalizar se seca el cobre con aire caliente evitando impurezas como polvo y grasa de los dedos.

Paso 3. Oxidación del cobre, que se efectúa sumergiendo la pieza de 1 a 2 min en una solución acuosa, de una sustancia granular conocida como Ebonol, mantenida a 100 C.

El Ebonol es una fórmula comercial de sustancias químicas oxidantes que atacan a la superficie del cobre produciendo un depósito negro de una mezcla de óxidos de cobre. La solución acuosa se prepara disolviendo 750 g de Ebonol C especial en un litro de agua.

La superficie selectiva de cobre negro tiene una coloración negro mate, que se puede mejorar limpiándola con una estopa impregnada de aceite. La selectividad promedio es de 3.2, con $\alpha = 0.9$ y $\varepsilon = 0.25$, ésta última estimada a 100 C. La estabilidad térmica es sólo aceptable a temperaturas menores de 150 °C, ya que arriba de esta temperatura la superficie se desprende del cobre.

SUPERFICIE SELECTIVA PARA MEDIANA TEMPERATURA

Cuando la temperatura de la superficie captadora de la radiación solar excede los 150 C ya no es posible usar el cobre negro. Este fue el caso en el Instituto de Ingeniería, UNAM, cuando se decidió investigar la generación de energía eléctrica usando la energía solar y la temperatura nominal de operación se fijó en 200 C. Se decidió obtener la superficie selectiva de cromo negro que se logra mediante la técnica de electrodepositado.

La instalación de laboratorio necesaria en que se obtuvo la superficie selectiva es básicamente una fuente de corriente continua y tinas electrolíticas para el cromado, y los procesos previos al cromado, que incluyen un desengrase electrolítico, activación y niquelado, siendo todo posterior a un proceso de pulido mecánico.

Después del niquelado se procedió a depositar el cromo negro. La determinación de la fórmula del baño y, sobre todo, las condiciones de operación requirió de gran cantidad de tiempo e investigación, [7]. Los datos son los siguientes:

Acido crómico	400	g/l
Carbonato de bario	10	g/l
Glucosa	3	g/l
Acido fluosilícico.	5	g/l
Hidróxido de sodio	60	g/l
Temperatura	17	C
Voltaje	12	volts
Anodos Plomo-antimonio		
Agitación Ligera		
Separación ánodo-cátodo	15	cm

Un aspecto muy importante para el buen funcionamiento del baño es la eliminación de los sulfatos y la conservación, dentro de ciertos márgenes, de las concentraciones de cromo. Los depósitos son firmes, duros y de un negro profundo. Las propiedades ópticas tuvieron los siguientes valores

$$\alpha = 0.95 \pm 0.012$$
$$\varepsilon\alpha = 0.11 \pm 0.02 \text{ (a 80 C)}$$

La superficie es estable hasta 250 C y además mostró excelente resistencia a la corrosión, [10]. El producto final de las investigaciones fueron tubos de fierro dulce de 3 m de largo utilizados como absorbedores en una planta solar, [11].

SUPERFICIES SELECTIVAS PARA ALTA TEMPERATURA

Actualmente en México se están intensificando los trabajos en concentración solar, en donde fácilmente se pueden alcanzar temperaturas de trabajo iguales o mayores a 300 C. Lo anterior se debe, al interés por parte de diversas instancias de desarrollar la generación de potencia y en general otras aplicaciones fototérmicas para el sector rural, doméstico e incluso industrial. En tales aplicaciones es imprescindible contar con materiales selectivos, que permitan alcanzar y soportar las máximas temperaturas posibles, que contribuyan a maximizar las eficiencias de las máquinas térmicas involucradas.

En este trabajo describimos, dos superficies selectivas que funcionan a alta temperatura, siendo una de ellas el cobalto negro obtenida por la técnica de electrodepósito, y la otra, consistente en óxidos negros, obtenidos mediante un tratamiento térmico a elevada temperatura. En ambos casos, el sustrato base utilizado, consiste en acero inoxidable del tipo 304, dado que impide la migración de los materiales de la interfase, al crear una capa de barrera a la difusión, consistente en una capa de óxidos. Por lo tanto, éste material resulta uno de los más estables y económicos, para las temperaturas de trabajo deseadas, [12].

Cobalto negro

Recientemente hemos desarrollado un nuevo método para la obtención de la superficie selectiva de cobalto negro, mediante electrodepósito, en la cual el agente catalizador es el compuesto oxidante de nitrato de cobalto, [13].

El método de trabajo consistió en preparar un litro de cada baño a experimentar, el cual contenía cantidades variables de las sales de sulfato y cloruro de cobalto como agentes donadores del cobalto, ácido bórico como agente precipitante de aniones indeseables y por último el catalizador mencionado. Con cada baño preparado, se desarrolló una serie de corridas experimentales en las que se variaba, la temperatura, el tiempo de depósito, o bien la densidad de corriente, cuando se fijaban dos de las tres variables mencionadas. Después de múltiples pruebas encontramos que los mejores depósitos de un negro mate uniforme, se obtenian con la siguiente formulación.

$CoSO_4$	270	g/l
$CoCl_2$	37	g/l
H_3BO_3	30	g/l
$Co(NO_3)_2$	2-2.5	g/l

Los mejores parámetros de operación, resultaron :

Temperatura de trabajo	20	C
Tiempo de depósito	30	segundos
Densidad de corriente	4	amp/dm^2

De suma importancia para la adecuada obtención de la superficie, es el tratamiento previo que recibe el acero inoxidable, el cual consiste en un electropulido del material, mediante una solución de NaOH 4.5 M., a una temperatura de 80 C, durante un tiempo de 20 segundos. Dicho proceso electropule al acero, elimina su pasividad y favorece la adherencia de la película del cobalto negro sobre el acero. (por lo que encontramos que en este proceso no se requiere depositar la película de niquel brillante sobre el acero).

Los valores de las mejores propiedades ópticas logradas para este material son : absortancia 0.92-0.94 y emitancia 0.2-0.22, las cuales no se modifican apreciablemente, al someter diversas muestras a pruebas de estabilidad térmica, con temperaturas de 250 y 300 C por periódos de 50 horas.

A la fecha continuamos los trabajos en torno a la superficie selectiva de cobalto negro, sin embargo, los resultados obtenidos con la formulación desarrollada, nos permiten asegurar que ya podemos aplicar en México ésta superficie selectiva.

Oxidos térmicos sobre acero tipo 304

Hemos investigado la oxidación térmica del acero inoxidable del tipo 304, [14], y hemos encontrado que se obtienen unos óxidos de color azul a un gris oscuro, cuando se somete dicho material a un horno eléctrico en el rango de temperaturas de 500 a 700 C, por intervalos de tiempo desde 10 minutos hasta 2 horas. Así, encontramos que las mejores propiedades ópticas de estos óxidos, sometidos a distintos tiempos de exposición para diversas temperaturas, se logran cuando la preparación se lleva a cabo a 600 C durante 40 minutos. Sin embargo, cuando se hicieron las pruebas de estabilidad térmica por un largo periódo, dichos óxidos de color azuloso tienden a pasar a un color negro, modificando sus propiedades. Por otro lado, los óxidos preparados a 700 C durante 60 minutos, son de un color gris oscuro, y que muestran buena selectividad, que aún después del tratamiento de estabilidad térmica, no modifican sus propiedades ópticas; por lo que consideramos que dichas condiciones, son las recomendadas para la preparación de los óxidos de acero. Los valores de las propiedades ópticas obtenidas para tales condiciones, son : absortancia = 0.92-0.94 y emitancia = 0.18-0.2.

Los resultados de las pruebas de estabilidad térmica, para los diversos óxidos de los metales oxidables en el acero, encontramos buena estabilidad térmica aún a la temperatura de 450 C, ya que, después de 250 hr de exposición a dicha

temperatura, las absortancias se modifican en un valor máximo de 2%, en tanto la emitancia no sufre modificación respecto de su valor inicial.

Respecto a los resultados obtenidos con las superficies de alta temperatura, se puede esperar buena confiabilidad de uso en ambos materiales, para temperaturas de trabajo hasta de 300 C. En el caso de la superficie selectiva de los óxidos térmicos sobre acero inoxidable tipo 304, se puede esperar una mayor temperatura de aplicación, que según las pruebas de estabilidad térmica realizadas, sería confiable de trabajar incluso a temperaturas de 450 C.

5. CONCLUSIONES

En México existe una buena experiencia en el área de desarrollo de superficies selectivas para uso en el aprovechamiento de la energía solar. En el Instituto de Ingeniería, UNAM, se ha llegado hasta obtener la superficie selectiva de cromo negro sobre tubos de 3 m de largo para la aplicación en la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar.

Cabe anotar que los fabricantes de calentadores solares de agua esporádicamente usan el cromo negro, aunque bajo pedido especial. Sin embargo, consideramos que ante las nuevas expectativas comerciales, es imprescindible el aplicar la técnica de nuevos materiales en los colectores solares, puesto que de otra forma, los fabricantes nacionales podría perder el terreno ganado, ante la introducción de la tecnología extranjera. En la actualidad, la mayoría de los fabricantes prefiere utilizar el Ebonol por su sencillez y bajo costo.

Otras instituciones como el Instituto de Investigación en Materiales y el Laboratorio de Energía solar de Temixco, Mor.de la UNAM, y el CINVESTAV, IPN, han desarrollado diversos trabajos en el área no sólo para utilizarlos en procesos fototérmicos, sino en aplicaciones fotovoltaicas y de climatización de ambientes, [6], [8] y [9].

Aunque las superficies selectivas obtenidas hasta la fecha han operado satisfactoriamente se estima que hacen falta nuevos estudios para optimizar superficies, como el cobalto negro, que soporten temperaturas por encima de los 350 C. La razón es de que los procesos generadores de energía eléctrica a partir de la energía solar,como los concentradores cilíndrico-parabólicos y los helióstatos, trabajan más eficientemente a esos niveles de temperatura y en nuestro País hay un interés cada vez más creciente por el desarrollo de esas plantas termosolares. Como se puede observar, en este trabajo hemos mostrado los recientes avances en este campo, y así, describimos las nuevas técnicas implementadas para satisfacer dichas necesidades, en el campo de la conversión fototérmica de la energía solar.

6. BIBLIOGRAFIA

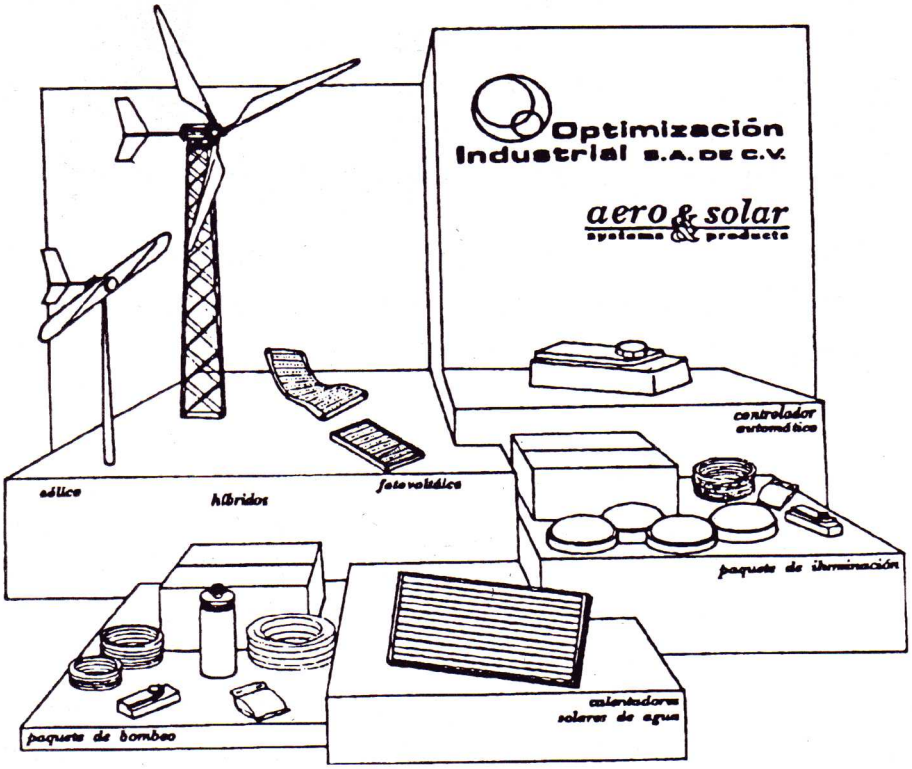
1. *J. A. Duffie, W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, New York, 1980.*
2. *V. G. Bhide, et al, Choice of Selective Coating for plate collector, Solar Energy, 29, N0. 6, 1982.*
3. *R. Almanza, F. Muñoz, Ingeniería de la Energía Solar, CONACyT, México, 1991 (en prensa).*
4. *A.C. Benning, Plat. and Surface Fin., 68, 49 (1981)*
5. *P. Pramanik, R. N Bhattacharya, A. Mundal, Selective solar coatings by chemical conversion, J. Electrochem. Soc. 127, (8), 1857 (1980).*
6. *Y. Meas, et al, Preparación de superficies selectivas de cromo negro por electrodepositación, Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar, pp., 139-142 San Luis Potosí, S. L. P.,1980.*
7. *E. Barrera, F. Muñoz, R. Almanza, Obtención de cromo negro y su uso en energía solar, XV Congreso Mexicano de Química Pura y Aplicada, Revista de la Sociedad Química de México, 24, 5, sep.-oct. 1980.*
8. *U. Morales, Preparación y Caracterización de Superficies Selectivas de Cromo Negro, ESIQIE, IPN, 1982*
9. *A. Fernández,L.del Castillo y J. Quintana, Influencia del catalizador en las propiedades ópticas de electrodepósitos de cromo negro, Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar, San Luis Potosí, México, (1980).*
10. *E. Barrera, F. Muñoz, R. Almanza, Determinación de propiedades de absortividad y de emisividad de algunas superficies selectivas obtenidas en el Instituto de Ingeniería, Memorias de la IV Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 122-128, San Luis Potosí, S. L. P., México 1980.*
11. *E. Barrera, F. Muñoz, R. Almanza, Obtención de cromo negro a nivel industrial para absorbedores de tres metros de longitud, Memorias de la III Reunión Latinoamericana y V Reunión Nacional de Energía Solar, pp. 62-65, Guadalajara, Jal. 1981*
12. *Z. Valkonen and B. Karlsson, Spectral Selectivity of a thermal oxidized stainless steel, Solar Energy Materials, 7, 43,(1987).*
13. *E. Barrera, F. Muñoz, et al. Obtención de cobalto negro como superficie selectiva, Memorias de la XV Reunión Nacional de Energía Solar, pp., 69-72, Zacatecas, Zac, 1991.*
14. *E. Barrera, U. Morales y E. Hernández, Obtención de superficies selectivas mediante oxidación térmica, Memorias del Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, Monterrey, Nuevo León, México, 1991.*

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



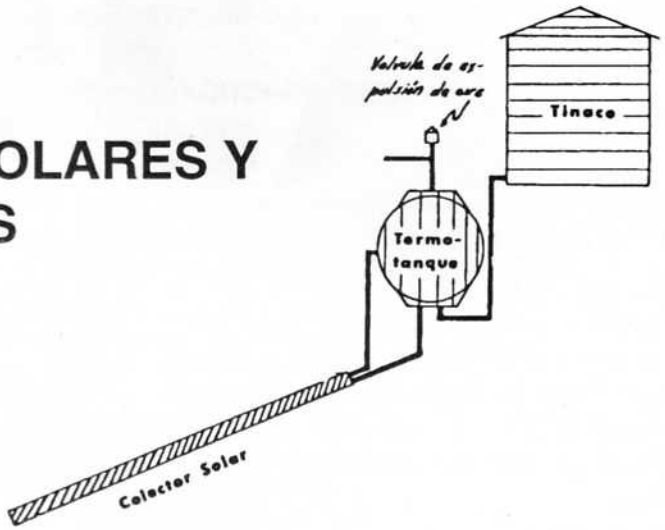
División: Fuentes No Convencionales de Energía

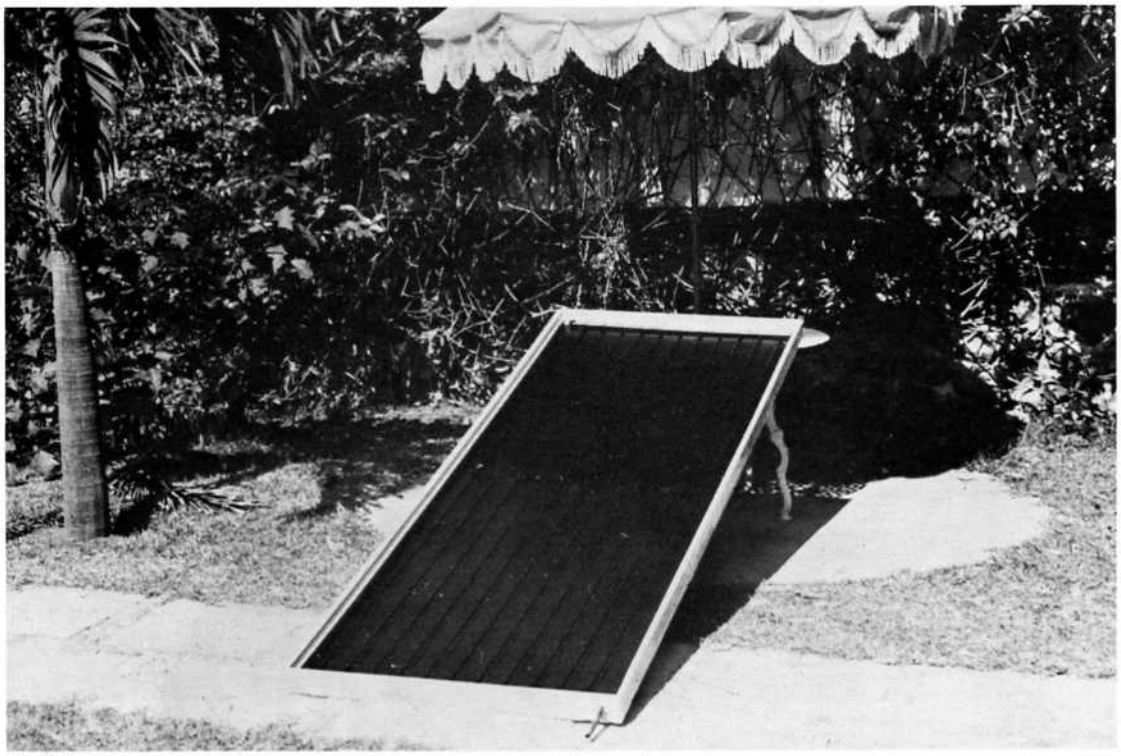
Fabricante y distribuidor de productos:

- 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.

ASHMOR

COLECTORES SOLARES Y TERMOTANQUES





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

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