INDICE

ISES

ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, A. C.

Sección Mexicana de International Solar Energy Society

Consejo XI Número 44 Diciembre 2001

LA REVISTA SOLAR

LA REVISTA SOLAR

DISEÑO DE PROTECCIONES SOLARES PARA VENTANAS VÍA INTERNET

DEPÓSITO DE BAÑOS QUÍMICOS, PELÍCULAS DELGADAS SEMICONDUCTORAS Y SUS APLICACIONES.

APLICACIONES DE CONCENTRADORES DE CANAL PARABÓLICO COMPUESTO EN PROCESOS DE FOTO CATÁLISIS SOLA R.

ANES

ANES

XXVI

SEMANA NACIONAL DE ENERGIA SOLAR

CHETUMAL, Q. ROO.

Noviembre 2002

ISES

EDITORIAL
MENSAJE DEL PRESIDENTE 2

DISEÑO DE PROTECCIONES SOLARES PARA VENTANAS VÍA INTERNET 3

DEPOSITO EN BAÑO QUÍMICO, PELÍCULAS DELGADAS SEMICONDUCTORAS Y SUS APLICACIONES 7

APLICACIONES DE CONCENTRADORES DE CANAL PARABÓLICO COMPUESTO EN PROCESOS DE FOTOCATÁLISIS SOLAR 15

RELATORÍA DE LA XXV SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. 20

XI Consejo Directivo
Asociación Nacional de Energía Solar, A. C.

EDITORIAL

En ANES nos encontramos tratando de impulsar una asociación ***dinámica, moderna*** y ***comprometida***. Las múltiples actividades de la asociación en el ámbito nacional son muestra del nivel de ***dinamismo*** que se esta alcanzando en estas ultimas fechas. Una semana lo mismo se ofrece un curso en Mexicali de energía eólica que una comida solar con el Secretario de Energía, o reuniones con CFE en Huatulco sobre plantas de generación eléctrica con fuentes renovables, que reuniones en el D.F. con la Comisión Nacional de Ahorro de Energía para implementar normas a los colectores solares planos. La agenda de la ANES esta siempre abultada. Por otra parte, la ***modernidad*** de la asociación esta presente en el uso de los recursos de los medios electrónicos y del Internet para mantener comunicación constante entre sus miembros, y un estándar de alto nivel en la divulgación de información importante (Revista Solar), no solo a los que pertenecemos a la ANES sino al publico en general. El sitio www.anes.org, el cual invitamos a visitarlo, representa un esfuerzo constante de actualización y de búsqueda permanente por mejorar la integración de la asociación. En este sentido, hacemos un llamado a los interesados a participar en la construcción y mejoramiento del sitio web, por lo que son bien recibidas todas las sugerencias, opiniones y colaboraciones. Finalmente, el ***compromiso*** de ANES es impulsar el uso de fuentes renovables de energía en México, para lo cual es esencial mantener canales de comunicación entre la asociación, la sociedad y el gobierno. Estos canales se dan de diferentes formas, entre las cuales ANES reconoce que un recurso importante son las publicaciones; ya sean especializadas para académicos e investigadores, informativas para publico en general, y de comunicación entre miembros de la asociación. Por lo cual el Consejo Directivo se encuentra analizando una política integral de publicaciones que sirva como una eficaz herramienta en la búsqueda de los objetivos de la asociación.

En este ejemplar el Dr. Víctor García Saldivar de la Universidad de Zacatecas (una de las posibles sede de la XXVII Reunión Nacional), nos presenta un panorama del potencial que en energía solar tiene la técnica de películas delgadas por "deposito químico". Las aplicaciones de películas delgadas van desde controladores de radiación solar, hasta celdas fotovoltaicas. Los controladores solares son aquellos materiales transparentes a la luz solar que permiten controlar la cantidad de radiación que es transmitida a través de estos. Ya que como lo señalan Hector Villa y colaboradores en el articulo sobre diseño de protecciones solares; las ventanas son un elemento débil ante los cambios de temperatura del exterior y a los flujos de radiación solar, lo que afecta la carga térmica de la habitación donde se encuentra. Por lo cual se hace necesario contar con herramientas que faciliten el cálculo de elementos protectores de radiación solar. Un sitio en Internet con buena información en conceptos y con recursos de programación, es un buen principio para iniciarse en el diseño de estos dispositivos arquitectónicos.

Un proceso de gran actualidad es de utilizar radiación ultravioleta del sol para la destrucción de compuestos contaminantes en soluciones acuosas. La fotocatálisis requiere de altos flujos de UV lo que obliga al uso de tecnologías de concentración solar, en este articulo Erick Bandala y demás investigadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua nos presenta una detallada perspectiva del uso de estas tecnologías.

Dr. Rafael Cabanillas
Editor

MENSAJE DEL PRESIDENTE

Durante el último trimestre de este año 2001 se han venido presentando una serie de acontecimientos en la vida política, económica e industrial de nuestro país, ya que, por primera vez, el gobierno federal a través de la Secretaría de Energía ha asumido el compromiso de impulsar el uso de las energías renovables no convencionales a través de la presentación del Programa Sectorial de Energía 2001-2006 (www.energia.gob.mx). La ANES se siente altamente complacida con esta noticia y desde luego asumimos el gran reto de plantear al gobierno federal proyectos, ideas y estrategias que permitan ir delineando las acciones necesarias para alcanzar las metas establecidas.

Por otra parte, nuestra asociación gestionó ante el Ing. Ernesto Martens, Secretario de Energía, la necesidad de crear un Modelo de Contrato de Interconexión para proyectos de generación eléctrica con energías renovables y gracias a la atinada decisión del Ing. Martens y de la Comisión Reguladora de Energía este paso fue dado y ahora los grandes proyectos eoloeléctricos serán pronto una realidad, así como el desarrollo de los proyectos de aprovechamiento de la energía minihidráulica en todo el país.

También es digno de aplaudir el hecho de la entrada en vigor de la NOM-008 (www.conae.gob.mx) para lograr la eficiencia energética en las envolventes de las edificaciones no residenciales en México, lo que nos permite iniciar un largo camino hacia el desarrollo de las edificaciones de bajo consumo de energía y seguramente con la posibilidad de incorporar el uso de las energías renovables en sus aprovisionamientos energéticos.

Estas tres buenas noticias nos permiten ver que en los años por venir estarán presentes cada vez más las fuentes de energía renovable y es importante que nuestra comunidad se entere y se prepare para impulsar localmente en sus ciudades y comunidades estas tecnologías, ya que su implementación requerirá de personas altamente capacitadas en las diferentes ramas de las renovables, así como también la urgente necesidad de consolidar la industria solar mexicana, la industria eólica y las demás que sean necesarias.

En este número de hecho le damos la bienvenida a la NOM-008 a través de la presentación de un trabajo que permitirá complementar las herramientas de cálculo necesarias para ir desarrollando programas de simulación que permitan diseñar edificaciones confortables, de bajo consumo de energía y de bajo impacto ambiental, como lo hemos venido planteando desde hace muchos años.

Sin embargo, no deja de ser también muy importante seguir poniendo atención hacia el desarrollo de los métodos para la fabricación de las celdas solares de película delgada de buena calidad, bajo costo y facilidad de fabricación, lo que nos permite ir avanzando hacia el desarrollo de esta tecnología en México.

Adicionalmente se presenta una revisión actualizada de las aplicaciones de concentradores de canal parabólico compuesto en procesos de fotocatálisis solar, resaltando sus ventajas y sus limitaciones, así como su potencial uso en México.

Finalmente quiero expresar en este número mis mejores deseos para todos nuestros socios y lectores en estas fiestas decembrinas y sobre todo haciendo votos para que el año 2002 sea pleno de realizaciones personales y familiares para cada uno de ustedes.

Dr. Rubén Dorantes Rodríguez
Presidente del XI Consejo Directivo

DISEÑO DE PROTECCIONES SOLARES PARA VENTANAS VÍA INTERNET

H. A. Villa M., S. Robles G. y R. E. Cabanillas L.
UNIVERSIDAD DE SONORA
Rosales y Luis Encinas, Col. Centro, C.P. 83000
Hermosillo, Sonora.
hvilla@gauss.mat.uson.mx

De la envolvente constructiva de una edificación, el elemento más débil ante los cambios de temperatura y los efectos de radiación solar es la ventana. Esto se debe a que la ventana es una superficie transparente a la radiación solar, mientras que los muros son superficies opacas. En lugares como Hermosillo donde las temperaturas son extremosas, una ventana debería funcionar como un colector solar en épocas de frío y estar a la sombra en la temporada de calor. Analizar, diseñar y evaluar las protecciones solares que seleccionen en que época y horario una ventana debe aceptar o rechazar el asoleamiento, es el objetivo de lo que se conoce como Geometría Solar. Aquí se muestra el procedimiento de cálculo para proyecciones de sombras y un sitio en Internet donde se pueden efectuar estos en forma interactiva.

INTRODUCCIÓN

Una persona interesada en desarrollar protecciones de ventanas necesita calcular la posición del sol con respecto a la orientación de la ventana. En el mejor de los casos, los diseñadores tienen acceso a las efemérides solares, o bien, hacen sus propios cálculos. Sin embargo, en este último caso, no todos los diseñadores tienen la formación académica necesaria o el tiempo suficiente.

En este trabajo describimos una herramienta que permite calcular la posición del sol con respecto a una ventana dada su orientación y sus coordenadas en la tierra (latitud y longitud). Esta herramienta puede ser utilizada por cualquier persona que tenga acceso al Internet sin necesidad de instalar ningún software adicional.

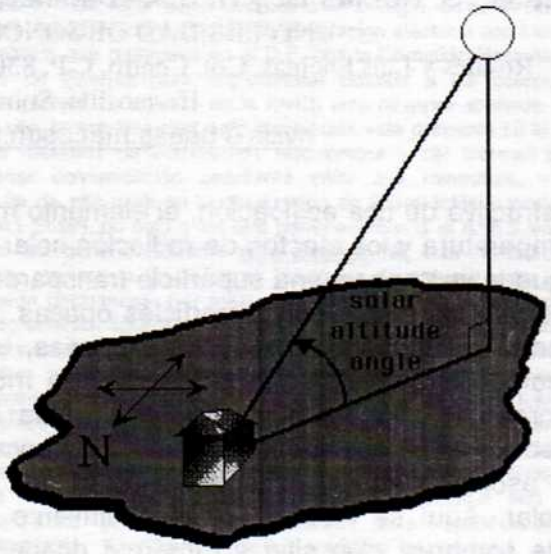
Hacemos uso de la tecnología Java que maneja el concepto de *applet*. Un applet es una aplicación que está incrustada en una página HTML residente en una computadora llamada *servidor*. Cuando esta página es accesada, el applet viaja a través del Internet y se ejecuta en el navegador de la computadora *cliente* que accesó la página. Esto permite desarrollar aplicaciones que no necesitan ser instaladas en las computadoras donde van a ser utilizadas.

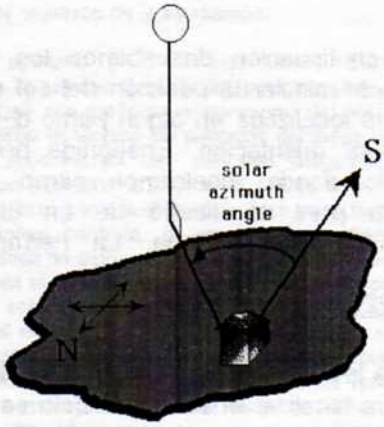
A continuación describimos los conceptos básicos para calcular la posición del sol respecto a una ventana localizada en algún punto de la tierra y con cualquier orientación. Enseguida presentamos un ejemplo donde mostramos cómo utilizar la herramienta para el diseño de un sistema de protección de una ventana. La herramienta se encuentra en la dirección: http://148.225.83.24/solar.html.

SISTEMA HORIZONTAL DE COORDENADAS

Para localizar el sol en el cielo se utilizan el azimuth y la altura como coordenadas. El azimuth se define como el arco del horizonte, medido en el sentido de las manecillas del reloj, entre el norte geográfico y el círculo vertical que pasa por el centro del sol. Puede valer entre 0 y 360 grados. Como se mide hacia el este, entonces un azimuth de 90 grados indica que el astro está hacia el este, 180 grados que está hacia al sur, 270 grados que está hacia el oeste y 360 grados (o 0 grados) que está hacia el norte. La otra coordenada es la altura sobre el horizonte, también se mide en grados y puede valer entre 0 grados (el sol está sobre el horizonte) y +90 grados (el sol está en el cenit). Cuando se indica una altura negativa quiere decir que el sol está debajo del horizonte y no es visible en ese momento.

Debido a la rotación de la tierra, las coordenadas horizontales azimuth-altura cambian continuamente durante el día y dependen de la hora, la fecha y la posición del observador sobre la tierra.





Sistema horizontal de coordenadas

POSICIÓN DEL SOL

Visto desde la tierra, el sol se mira como un disco con un radio de unos 16 minutos de arco. A los extremos del disco se les conoce como los limbos, y se puede hablar del limbo superior, inferior, este y oeste. La posición del sol que se calcula es la del centro del disco. La hora de salida y puesta del sol se define como la hora en que el limbo superior aparece o desaparece en el horizonte. El inicio del alba y el fin del crepúsculo civiles se define como la hora en que el centro del disco tiene una altura de –6 grados con respecto al horizonte, y es el momento en que el sol todavía no ha salido o ya se metió pero hay luz suficiente para poder ver con claridad.

En latitudes muy al norte (o muy al sur), hay épocas del año en que el sol nunca baja o nunca sube de los -6 grados de altura o que de plano el sol no sale o no se mete en todo el día. El programa detecta estas situaciones y escribe el mensaje oportuno.

CÁLCULO DE LA POSICIÓN DEL SOL

En el transcurso de un año, la tierra se mueve alrededor del sol siguiendo su órbita elíptica y completando una revolución en aproximadamente 365.25 días. Visto desde la tierra nos parece que el sol es el que se mueve en órbita alrededor de la tierra, y para efectos de calcular la posición del sol se asume que tiene una órbita elíptica y la tierra está fija en uno de los focos.

Para calcular la posición del sol en una fecha determinada utilizamos el método descrito por P. Duffett-Smith [2].

ÁNGULOS DE PROYECCIÓN

La posición del sol, dada por sus coordenadas horizontales, azimuth y altura, se mide desde el centro de la gráfica solar y no desde una fachada con orientación definida. Para evaluar o diseñar una protección solar es necesario hacer una rotación de ejes y proyectar los rayos del sol en un plano vertical paralelo a la fachada y en un plano horizontal paralelo al horizonte. Al hacerlo se define el *ángulo de sombra vertical* y el *ángulo de sombra horizontal*.

Ángulo de sombra vertical (*ASV*)

Es la distancia angular entre un plano horizontal y un plano inclinado que contiene al rayo solar incidente sobre un punto de un plano vertical que representa la fachada. *ASV* está dado por:

$$\tan(ASV) = \tan(h) / \cos(OR - a)$$

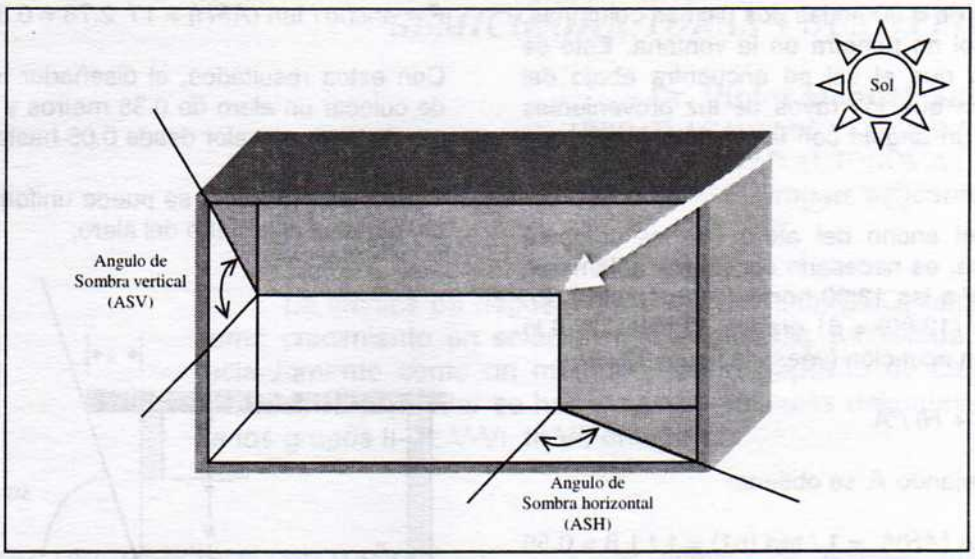
Ángulo de sombra horizontal (*ASH*)

Es la distancia angular entre la normal de la superficie de la fachada y la dirección del sol determinada por la traza del plano vertical que contiene al sol y al rayo de luz sobre el plano horizontal. *ASH* está dado por:

$$ASH = OR - a$$

donde:

OR - orientación de la fachada con respecto al norte.
h - altura del sol.
a - azimuth del sol con respecto al norte.



EJEMPLO

Supongamos que tenemos una ventana sobre una fachada que apunta hacia el sur. En este caso, el ángulo de orientación *OR* = 180 grados. Además supongamos que estamos en una latitud de 29.04 que corresponde a la ciudad de Hermosillo, México, un lugar donde el clima cálido seco nos requiere que las ganancias de energía durante el verano sean cero.

Para esto, seleccionamos las fechas de los equinoccios como el límite para que desde el equinoccio de primavera (alrededor del 21 de marzo) hasta el equinoccio de otoño (alrededor del 21 de septiembre) el sol no penetre por la ventana en forma directa y durante el resto del año el sol podrá penetrar por la ventana. Para esto, necesitamos calcular las dimensiones de un alero y de un parteluz que se deberán de colocar sobre la ventana y a los lados de la misma respectivamente. Si pedimos a nuestro applet que realice los cálculos de los ángulos de sombra vertical y horizontal, para el 21 de marzo y la latitud mencionada, con *OR* = 180, se obtienen los siguientes resultados:

Hora	Posición Solar		Angulos de Proyección	
	Azimuth	Altura	Horizontal	Vertical
05:00	78.05	-19.49	0.00	0.00
06:00	85.79	-6.51	0.00	0.00
07:00	93.10	+6.59	86.89	64.91
08:00	100.78	+19.61	79.21	62.30
09:00	109.77	+32.26	70.22	61.81
10:00	121.56	+44.10	58.43	61.62
11:00	138.69	+54.19	41.30	61.54
12:00	164.13	+60.57	15.86	61.51
13:00	195.01	+60.69	15.01	61.53
14:00	220.75	+54.47	40.75	61.59
15:00	238.11	+44.48	58.11	61.72
16:00	250.04	+32.68	70.04	61.99
17:00	259.12	+20.05	79.12	62.66
18:00	266.84	+7.05	86.84	66.03
19:00	274.18	-6.03	0.00	0.00
20:00	281.92	-19.00	0.00	0.00

El valor de 0.00 en las dos últimas columnas, indica que el sol no penetra en la ventana. Esto se puede deber a que el sol se encuentra abajo del horizonte o bien que los rayos de luz provenientes del sol forman un ángulo con la ventana mayor que 90 grados.

Para calcular el ancho del alero que es colocará sobre la ventana, es necesario considerar solamente el valor de *ASV* a las 12:00 horas (tiempo solar). En este caso, *ASV* (12:00) = 61 grados. El valor de *A* lo obtenemos de la ecuación (véase la figura 1):

Tan (*ASV*) = (*C* + *H*) / *A*.

De donde despejando *A*, se obtiene:

A = (*C* + *H*) / tan (*ASV*) = 1 / tan (61) = 1 / 1.8 = 0.55 metros

Donde hemos considerado que *C* = 0; esto es que la ventana llega hasta la loza y que *H*, la altura de la ventana, tiene un valor de 1 metro. *A* es el ancho del alero. Suponiendo que *C* = 0.40 metros, el ancho del alero *A* = 1.4 / 1.8 = 0.77 metros

Para proteger la ventana por la mañana y la tarde, se requiere colocar un parteluz cuyo tamaño se debe de obtener de la ecuación:

tan (*ASH*) = *ancho* / *P*

Donde *ancho* es la medida horizontal de la ventana y *P* es el ancho del parteluz.

Como podemos ver de los resultados obtenidos por el applet, *ASH* varía desde un valor de 86.89 a las 7:00 horas hasta un valor de 15.8 a las 12:00 horas. Para este caso, es necesario escoger una hora a partir de la cual no queremos que penetre el sol por la ventana. Veamos qué valores se requieren para *P* = *ancho* / tan (*ASH*) en las diferentes horas:

Hora	*ASH*	*P* (metros)
7:00	86.89	0.05
8:00	79.21	0.19
9:00	70.22	0.35
10:00	58.43	0.61

Escogiendo las 9:00 horas, resulta que el valor de *ASH* = 70.22. Con esto obtenemos que

P = *ancho* / tan (*ASH*) = 1 / 2.78 = 0.35 metros.

Con estos resultados, el diseñador tendrá la opción de colocar un alero de 0.55 metros y un parteluz que puede tener un valor desde 0.05 hasta 0.61 metros.

Para fines prácticos, se puede uniformizar el tamaño del parteluz al tamaño del alero.

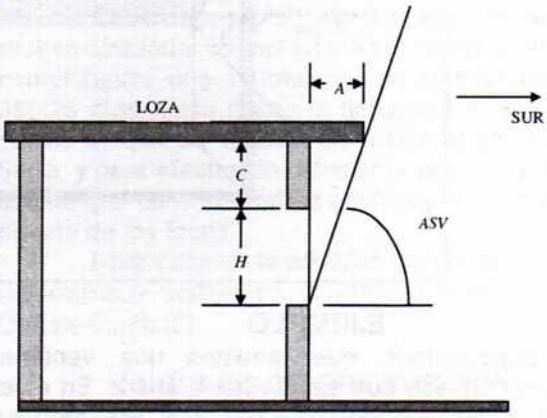


Figura 1

REFERENCIAS

[1] Geometría Solar. Benito Pérez Valenzuela. Reporte Interno, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México

[2] Practical Astronomy with your Calculator, Third edition. Peter Duffett-Smith. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996

DEPÓSITO EN BAÑO QUÍMICO, PELÍCULAS DELGADAS SEMICONDUCTORAS Y SUS APLICACIONES

Dr. Víctor Manuel García Saldivar
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS
vmgarcia@cantera.reduaz.mx

La técnica de depósito en baño químico, DBQ, también conocido como crecimiento en solución o precipitación controlada, ha emergido recientemente como un método para el depósito de calcogenuros de metales, en particular se han obtenido películas delgadas de materiales de los grupos II-VI, V-VI, III-VI, entre otros.

IMPORTANCIA DEL DEPÓSITO EN BAÑO QUÍMICO

El DBQ es una técnica de depósito con la cual se obtienen películas delgadas semiconductoras policristalinas, depositado mediante un proceso ión por ión, cuyo espesor no va mas allá de algunas micras ($1X10^{-6}$ m), depositadas sobre substratos inmersos en soluciones diluidas de iones de metales y una fuente de iones hidroxilo, sulfuro o selenuro o teluro.

Los primeros reportes de trabajos usando la técnica de depósito en baño químico, corresponden a la preparación del PbS; los principios fundamentales en los que se basa la técnica de depósito por baño químico de películas delgadas semiconductoras y los trabajos pioneros de investigación en esta área, corresponden a Bode y colaboradores, a Kitaev G. A. y colaboradores, a Chopra y colaboradores, y son resumidos en un artículo de revisión publicado en 1982 [1]. Los progresos subsecuentes en esta área están contenidos en recientes artículos de revisión [2], donde se enlistan algunos parámetros importantes y las referencias correspondientes, sobre algunas decenas de compuestos preparados mediante esta técnica, así mismo se presentan algunas de las referencias de los investigadores antes citados, pioneros en este campo. En este artículo de revisión [2] se hace una compilación sobre el depósito en baño químico de Ag_2S, CuS, CuSe; CdS, CdSe, ZnS, ZnSe; SnS, SnSe; Sb_2S_3, Bi_2S_2, Bi_2Se_3, entre otros materiales, además se describen las composiciones de los baños químicos usados para el depósito de algunos de tales compuestos, así como otros parámetros del proceso de depósito y las principales propiedades de los materiales obtenidos.

El número de posibles materiales a ser producidos mediante esta técnica, se ha multiplicado, debido a la factibilidad de producir películas multicapa, el horneado de las cuales, debido a procesos de difusión de iones de metales, da lugar a la obtención de nuevos materiales con mayor estabilidad térmica y mejores propiedades optoelectrónicas, es decir, se obtienen las llamados materiales multinarios, compuestos por tres o más elementos químicos. Por ejemplo, la difusión interfacial de las películas bicapa de PbS-CuS y ZnS-CuS químicamente depositadas, conducen a la obtención de materiales tales como $Pb_xCu_{1-x}S$ y $Zn_xCu_{1-x}S$, los cuales exhiben una conductividad eléctrica tipo *p* y son estable hasta temperaturas de 300°C. El horneado de Bi_2S-CuS a temperaturas de entre 250ºC y 300ºC, conduce a la formación de un nuevo compuesto, el Cu_3BiS_3, con conductividad tipo *p*.

Entre las aplicaciones de las películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas, se encuentran las de fotodetectores (dispositivo fotoeléctrico utilizado para detectar y medir radiación electromagnética) de PbS y PbSe. Aunque las películas delgadas de CdS fueron desarrolladas durante la década de 1960, su aplicación como fotodetector había sido restringido al material preparado por serigrafía y sinterizado. También se ha encontrado que las películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas de CdSe, tienen aplicaciones en el área de la fotodetección, debido a su alta fotorespuesta (modificación de sus características eléctricas debido a la incidencia de luz) cuando este material es iluminado.

Durante las últimas décadas, la motivación para la preparación de películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas ha sido su perspectiva de aplicación en el área de la energía solar. Una de las primeras aplicaciones orientadas en este sentido fue el desarrollo de recubrimientos absorbedores, capa de material capaz de absorber radiación electromagnética, principalmente en la región del espectro solar, para colectores solares planos y evacuados del tipo vidrio-vidrio. En 1989 se reportó la aplicación de películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas, como recubrimientos controladores de la radiación solar, material que transmite parcialmente la radiación solar en la región del visible y refleja la correspondiente a la región del infrarrojo y cercano infrarrojo, razón por la cual son conocidos como recubrimientos "inteligentes".

El uso de películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas para el desarrollo de celdas solares fotoelectroquímicas (PEC´s), dispositivos que utilizan luz (solar) para inducir reacciones electroquímicas, ha sido de gran interés, principalmente para el caso de las películas delgadas de CdS y CdSe. Recientemente se ha reportado que las películas delgadas de CdSe y Sb_2S_3 con WO_3, muestran un aumento en sus eficiencias de conversión y en sus estabilidades, cuando son usadas en la configuración de PEC´s.

La idea de la integración de las películas delgadas semiconductoras químicamente depositadas en heteroestructuras, comúnmente llamadas celdas solares de película delgada, o celdas solares de estado sólido, es muy reciente. En 1990, una película de CdS fue integrada en la estructura fotovoltaica Mo-$CuInSe_2$-CdS-ZnO, con una eficiencia de conversión de aproximadamente 11 %, y la mejora de este diseño de celda a dado eficiencias mayores al 17 %, en la cual la película de CdS de aproximadamente 0.05 □m continuó teniendo un papel imprescindible. Se ha demostrado que la incorporación de una película muy resistiva de CdS en la estructura (*p*)$CuInSe_2$-CdS-(*n*)CdS, mejora la estabilidad de las celdas solares; esta película de CdS debe ser lo más delgada posible para aumentar la eficiencia de la celda, siendo la técnica DBQ la seleccionada para producir con éxito tales películas.

Las celdas solares de barrera Schottky usando películas de n-CdSe o n-Sb_2S_3 con la incorporación WO_3, como materiales absorbedores, han probado su factibilidad. La estructura de barrera Schottky ITO-(n)CdSe(5 mm)-Pt/Ni/Au(130 Å) ha mostrado una eficiencia de conversión de 5.5 %. También se ha reportado la construcción de celdas solares del tipo heterounión, usando el Sb_2S_3 químicamente depositado sobre obleas de (p)Si/(p)Ge/(p)InP.

Se ha reportado en la literatura el depósito químico fotoacelerado (depósito acelerado mediante luz solar) de PbS, y la aplicación de este efecto en la producción de imágenes en las películas delgadas de PbS y de Bi_2S_3.

Las perspectivas de aplicación antes descritas, particularmente en el área de la energía solar y de la eficiencia energética, han renovado el interés en el estudio e investigación de las películas delgadas depositadas mediante la técnica de depósito químico, particularmente aquellas asociadas a las aplicaciones de recubrimientos selectivos solares (absorbedores solares), control de radiación solar, fotoconductores, celdas solares de estado sólido y fotoelectroquímicas, entre otras.

La técnica de depósito en baño químico es una técnica clasificada como método químico para la obtención de películas delgadas; compite en este tipo de métodos con Depósito por Vapor Químico (CVD), Rocío Pirolítico (Spray Pirolysis), Electrodepósito, Proceso "Electroless", Anodización, Electroconversión, Sol-Gel, Técnicas de Interfase Gas-Solución, Adsorción y Reacción Iónica Sucesivas, etc, así como con los métodos físicos que son Evaporación en Vacío, Pulverización (Sputtering) entre otros. Todas estas técnicas requieren de equipos especiales como sistemas de vació, bombas, dispositivos electrónicos de control, sistemas de calentamiento a temperaturas elevadas, etc., aspectos que complican los sistemas y los hacen costos. Estos aspectos colocan en ventaja a la técnica de Depósito en Baño Químico, debido principalmente a su simplicidad y, consecuentemente, a su relativo bajo costo.

ASPECTOS GENERALES DEL DEPÓSITO EN BAÑO QUÍMICO

El depósito en baño químico de calcogenuros de metales es una técnica muy simple, ver Figura 1, y por lo tanto de bajo costo; permite la obtención de depósitos de buena calidad sobre áreas grandes y de formas irregulares. Los elementos indispensables para esta técnica son: los reactivos químicos para preparar las distintas soluciones, de cationes, de aniones, agente acomplejante (compuesto químico capaz de formar complejos con el cation), reguladores de pH, etc.; los sustratos sometidos previamente a un proceso de limpieza; la mezcla de soluciones químicas que dan lugar al baño químico, controladores de temperatura y sistema de agitación (opcional).

El proceso de obtención de películas delgadas semiconductoras de calcogenuros

metálicos mediante la técnica DBQ, se fundamenta en el conocido principio del producto de solubilidad, el cual establece que en una solución saturada de un compuesto poco soluble, el producto de las concentraciones molares de sus iones (cada término de concentración debe estas elevado a la potencia igual al número de iones de esa clase que aparece en la fórmula del compuesto), llamado producto iónico, es una constante a una temperatura dada. A manera de ejemplo, consideremos el compuesto hipotético A_xB_y, el cual se hidroliza en agua de acuerdo con la reacción

$$A_xB_y \leftrightarrow xA^{y+} + yB^{x-}. \quad (1)$$

El producto iónico, PI, está dado por la expresión:

$$[A]^x[B]^y = \text{Constante (producto de solubilidad, PS)} \quad (2)$$

No hay equilibrio químico si esta expresión no se satisface. Si el producto iónico excede el producto de solubilidad, entonces la precipitación del compuesto A_xB_y ocurre. Si PI < PS, entonces la fase sólida se disolverá hasta que se alcance el equilibrio, es decir, hasta que sea satisfecha la expresión de la ecuación (2).

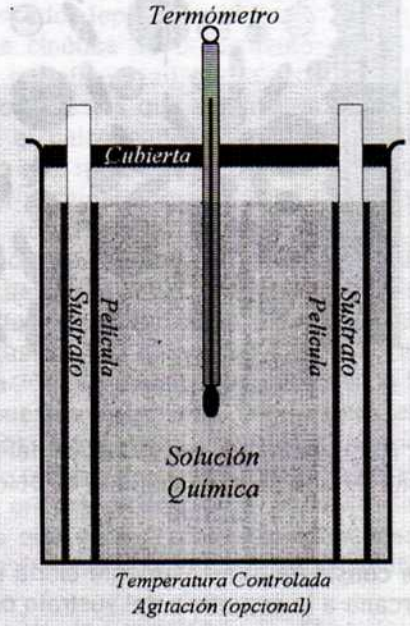


Figura 1. Representación esquemática del dispositivo experimental para el depósito por baño químico de películas delgadas de calcogenuros de metales.

Un elemento indispensable para lograr la formación de películas delgadas mediante una reacción controlada ion por ion, es que deben evitarse los fenómenos de precipitación espontánea. Lo anterior es posible si se induce la formación de un compuesto complejo, suficientemente estable, de los iones de metales. Este complejo estable suministrará de manera controlada un determinado número de iones de metales, de acuerdo con la reacción de equilibrio

$$M(C)^{z+} \leftrightarrow M^{z+} + C, \quad (3)$$

Donde M representa a un átomo del elemento que será usado como catión, z es la valencia del catión y C representa al agente complejante.

La concentración de los iones metálicos libres en el interior del baño químico, a temperatura constante, estará dada por la expresión:

$$\frac{[M^{z+}][C]}{[M(A)^{z+}]} = K_i, \quad (4)$$

Donde K_i es la constante de inestabilidad del ion complejo. Eligiendo el agente complejante apropiado, la concentración de los iones de metales es controlada por la concentración del agente complejante y por la temperatura del baño químico.

Por supuesto que también debe ser controlada la concentración del ion calcógeno (S, Se o Te), para evitar el fenómeno de precipitación espontánea localizada, debido a que el PS pudiese haber sido excedido. Este problema generalmente se resuelve generando los iones calcógeno lentamente a través de todo el volumen del baño, mediante el empleo de baños químicos en medio alcalino, por ejemplo, en el caso de la preparación de sulfuros de metales empleando la tiourea como agente portador de los iones S^{2-}, la reacción que controla la liberación de estos iones es

$$(NH_2)_2CS + OH^- \rightarrow CH_2N_2 + H_2O + HS^-, \quad (5)$$

$$HS^- + OH^- \rightarrow H_2O + S^{2-}. \quad (6)$$

En el caso de la preparación de películas delgadas de selenuros de metales, uno de los compuestos fuente de iones Se^{2-} más comunes es el selenosulfato de sodio, el cual en medio alcalino experimenta la reacción

$$Na_2SeSO_3 + 2OH^- \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O + Se^{2-}. \quad (7)$$

En este trabajo se emplearán el Na_2SeSO_3 y la dimetilselenourea (DMSU) como compuestos

suministradores de los iones Se^{2-}. Detalles de las reacciones serán presentados en los capítulos siguientes.

De esta manera, cuando el producto iónico de los iones metálico y calcógeno exceden el producto de solubilidad del calcogenuro metálico correspondiente, el calcogenuro correspondiente se forma sobre la superficie de los substratos y del reactor, mediante procesos de precipitación ion por ion, dando lugar a la formación de los centros de nucleación necesarios para el crecimiento posterior de la película.

Los procesos de crecimiento de películas delgadas mediante la técnica de depósito en baño químico muestran las siguientes características generales:

a). Bajo las condiciones específicas del baño químico, las películas deben alcanzar un espesor terminal determinado por la disponibilidad de los iones calcógeno y metálico, es decir, el espesor de la película dejará de crecer hasta que el PI ≤ PS.

b) Tanto la velocidad de depósito de la película como su espesor, dependen de la naturaleza química y de la concentración de las soluciones empleadas, del agente complejante, de la temperatura del baño y del substrato sobre el cual se pretende depositar ésta.

c) Aunque la estructura cristalográfica y la microestructura de las películas dependen generalmente de los procesos de depósito, la estequiometría de las películas es relativamente insensible a las condiciones de depósito.

d) Si el PI de cualquier impureza presente en la solución no excede el PS bajo las condiciones de depósito, se espera que tales impurezas no se incorporen a las películas delgadas del compuesto deseado.

e) Mediante la adición de otros cationes, son posibles, los llamados procesos de codepósito de compuestos distintos, obteniendo una mezcla de varios compuestos. Por supuesto, se requiere de un control fino de los productos iónicos de los compuestos involucrados en el depósito.

f) Siempre es posible la obtención de películas multicapa del mismo compuesto e incluso de compuestos distintos, mediante el procedimiento de depósitos sucesivos, empleando soluciones recién preparadas en cada proceso de depósito.

PROCESO DE CRECIMIENTO DE PELÍCULAS

El proceso de formación de películas delgadas químicamente depositadas de calcogenuros metálicos, inicia con un período de incubación en el que se establecen los diferentes equilibrios químicos dentro de la mezcla recién preparada. A continuación se presenta la etapa de nucleación, período durante el cual el substrato es cubierto con una capa de núcleos de precipitado, consistentes generalmente de hidróxidos del metal correspondiente; los iones OH^- son removidos mediante procesos de intercambio por los iones calcogenuro correspondientes, iniciando de esta manera la fase de crecimiento de la película, durante la cual el espesor de la película crece continuamente hasta que el PI < PS. Finalmente se alcanza la fase terminal, en la que el espesor de la película ya no crece más, debido a que alguno o algunos de los reactivos (reactivos fuente de iones metálico y/o calcogenuro) se han agotado; el espesor alcanzado hasta esta etapa es conocido como espesor terminal.

En la Figura 2 se presenta una descripción pictórica del proceso ión por ión, mediante el cual se obtienen películas delgadas de calcogenuros de metales por depósito en baño químico, específicamente para el proceso de depósito de selenuro de cadmio; se muestra solamente una pequeña sección del dispositivo de depósito y una breve descripción esquemática de la composición química del baño químico.

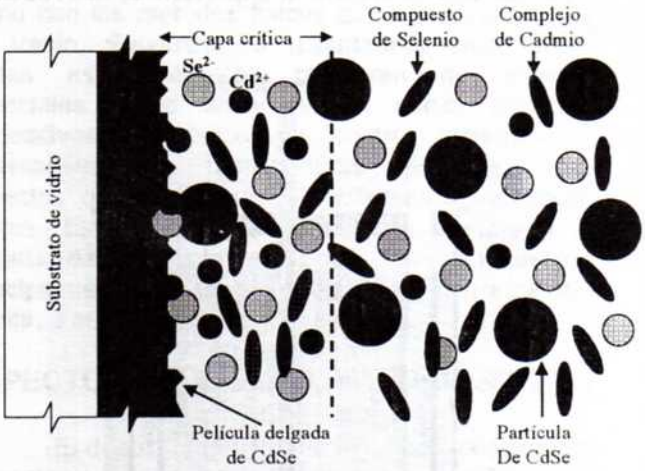


Figura 2. Representación esquemática del proceso de depósito de una película delgada de selenuro de cadmio

Se considera que solamente cierta región de líquido cercana a la superficie del sustrato contribuye con aproximadamente el 90 % del espesor terminal de la película sobre el sustrato; el resto de solución química produce principalmente selenuro de cadmio en forma de polvo, el cual precipitará hacia el fondo del reactor, y constituye las llamadas pérdidas de material por precipitación.

Si un substrato ha sido previamente

sensibilizado, el período de incubación y/o nucleación no es necesario, y el proceso de crecimiento de la película inicia prematuramente, quizá desde que los substratos son sumergidos en el baño químico. La sensibilización de substratos se logra mediante el predepósito de una capa muy delgada de hidróxido de algún catión (Sn, Zn, etc.) o incluso de algún calcogenuro, sumergiendo el substrato en la solución química apropiada y lavándolo posteriormente con agua destilada (una vez depositado el material sensibilizador). Posteriormente este substrato sensibilizado se sumerge en el baño químico que dará origen a la película delgada del calcogenuro metálico deseado.

Tanto la velocidad de depósito como el espesor terminal de la película dependen del número de centros de nucleación creados en la fase de incubación y del grado de supersaturación de la solución (definida como la razón entre el PI y el PS). Entre mayor sea el número de centros de nucleación existentes, mayor será la velocidad de depósito y el espesor terminal. Se espera que una agitación suave de la solución homogeneice la solución y que el espesor de la película sea también más homogéneo. Entre mayor sea el área de depósito, mayor será la cantidad de calcogenuro metálico colectado en forma de película delgada sobre el substrato, aumentando la eficiencia del depósito químico.

La cinética de crecimiento de las películas delgadas es influenciada de alguna manera por las sales y compuestos que suministrarán los iones que formarán el calcogenuro metálico correspondiente. Se espera que la velocidad de depósito disminuya y el espesor terminal aumente si se utilizan sulfatos o cloruros como sales fuente de los cationes correspondientes, para el depósito químico de películas delgadas de selenuros metálicos, usando el selenosulfato de sodio como fuente de aniones. En ambos casos, los iones SO_4^{2-} y Cl^- reducen la concentración de los iones Se^{2-} debido a la formación de compuestos complejos tales como el $CdCl_4^{2-}$, entre otros. En general, tanto las velocidades de depósito como los espesores terminales son mayores en los procesos de depósito de sulfuros metálicos que en los procesos de depósito de los selenuros metálicos, bajo las mismas condiciones de depósito.

Tanto la velocidad de depósito como el espesor terminal aumentan con el incremento de la concentración inicial de los iones calcógeno, pero solo hasta cierta concentración, después de la cual el espesor terminal empieza a disminuir, debido a que se hace más significativo el proceso de precipitación en forma de polvo.

La concentración de los cationes en solución se reduce conforme aumenta la concentración del agente complejante (la concentración del NH_3, por ejemplo), por lo que se reducen de manera significativa tanto la velocidad de depósito como el proceso de precipitación de calcogenuro en forma de polvo, obteniendo mayores espesores de película.

El pH, grado de acidez o basicidad, del baño químico es fundamental para la obtención de películas delgadas semiconductoras de buena calidad. Como se sabe, la adición de compuestos que liberen iones OH^-, por ejemplo, incrementa el pH del baño, constituyendo así un baño generalmente básico, haciendo que los complejos de los cationes sean más estables, en el caso de que los iones OH^- tomen parte en la formación de tales complejos (como en el caso del $Pb(OH)C_6H_5O_7^{2-}$), de manera que la concentración de cationes libres se reduce considerablemente, dando lugar a la disminución de la velocidad de depósito y al aumento del espesor terminal con el incremento del pH. En la mayoría de los casos los hidróxidos son los responsables de la formación de los centros de nucleación. En el caso de que los iones OH^- no participen en la formación de los complejos, la adición de OH^- en exceso, precipitará el hidróxido del catión metálico, lo cual conducirá a menores espesores terminales de película. Se ha observado que en el caso de las películas de CdSe químicamente depositadas, la razón Cd: Se es independiente del valor del pH.

El tipo de substrato utilizado para depositar las películas delgadas de calcogenuros metálicos, es muy importante. Se han observado mayores velocidades de depósito y mayores espesores terminales en substratos cristalinos o policristalinos respecto de aquellos de estructura amorfa (como es el caso de los substratos de vidrio). Dentro de los substratos policristalinos, se observan mayores velocidades de depósito y mayores espesores terminales en aquellos cuyas estructura y parámetros de red coinciden más con los del calcogenuro metálico a depositar.

El efecto de la temperatura del baño (substrato) es muy importante. El incremento en la temperatura de la solución incrementa la disociación de los complejos formados por el catión y la del compuesto que suministra los iones calcógeno, aumentando las concentraciones de iones libres y la energía cinética de estos, dando lugar a un incremento en la velocidad de depósito de la película delgada. Experimentalmente se observa que el espesor terminal crece con el aumento de la temperatura, debido a un aumento del grado de supersaturación. Si la temperatura y/o el grado de supersaturación rebasan cierto límite, el proceso de

precipitación de calcogenuro metálico en forma de polvo, será dominante, en cuyo caso el espesor no solo ya no aumentará, sino que tenderá a disminuir. El grado de supersaturación a una temperatura determinada puede ser controlado mediante la modificación de la concentración de agente complejante, y poder de esta manera obtener un espesor determinado a temperaturas elevadas.

Con objeto de ilustrar el efecto de algunos de los parámetros de depósito antes citados, en la Figura 3 se presentan las curvas de crecimiento, espesor de película vs. tiempo de depósito, de películas delgadas de selenuro de cadmio, sobre sustratos de vidrio (portaobjetos) sensibilizados previamente con una película muy delgada de sulfuro de cadmio, como una función de la temperatura del baño químico de selenuro de cadmio. Se observa que los espesores de película aumentan conforme aumenta la temperatura de depósito, aumentando tanto la velocidad de depósito como el espesor terminal de la película, en el intervalo de temperaturas de 21°C a 60°C. Sin embargo tanto la velocidad de depósito como el espesor terminar disminuyen cuando la temperatura del baño es de 80°C, temperatura a la cual se hace más importante la precipitación de selenuro de cadmio en forma de polvo, proceso que compite con el de la formación de la película.

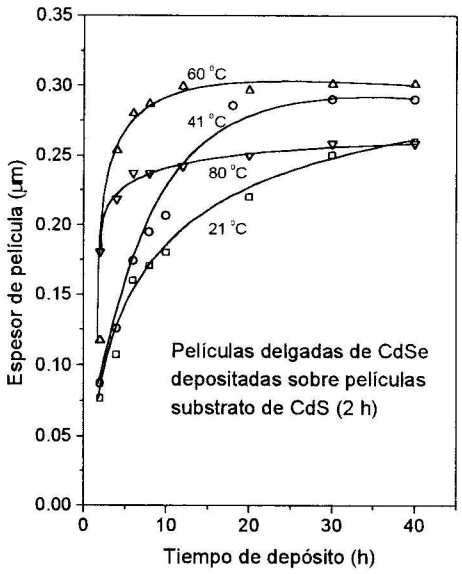


Figura 3. Curvas de crecimiento de películas delgadas de CdSe sobre sustratos de vidrio sensibilizados con CdS, como función de la temperatura del baño químico.

Las impurezas presentes en los reactivos químicos empleados para la preparación de los baños químicos, pueden ser incorporadas o no a las películas del calcogenuro correspondiente, dependiendo de sí su producto iónico es mayor o menor a su producto de solubilidad. Muy pocas impurezas satisfacen la condición anterior, por lo que el grado de pureza de los reactivos químicos de partida, es en general poco importante, siempre y cuando su PI sea menor a su respectivo PS. Las concentraciones de impurezas pueden aumentarse deliberadamente hasta satisfacer la condición de que su PI > PS, en cuyo caso es posible la obtención de películas multicomponentes (ternarios, cuaternarios, etc.), a través de los conocidos como procesos de codepósito.

Las películas delgadas de calcogenuros metálicos obtenidas mediante la técnica DBQ son de naturaleza estructural policristalinas, con tamaños de grano en el intervalo de apenas unos cuantos nanómetros hasta algunas decenas de nanómetros. En ocasiones, el tamaño de grano es tan pequeño que no es posible observar picos de difracción cuando las muestras se analizan por XRD. El tamaño de grano depende de la composición del baño químico, de la temperatura de depósito y de la naturaleza del substrato, entre otros. El tamaño de grano es mayor a bajas velocidades de depósito (las cuales se pueden lograr manteniendo bajos valores de supersaturación), altas temperaturas y perfecto acoplamiento entre las redes del calcogenuro metálico y del substrato empleado.

El tamaño de grano de las películas delgadas de calcogenuros metálicos químicamente depositadas puede ser incrementado mediante procesos posdepósito, consistentes en el horneado de las muestras a temperaturas del orden de 300°C o superiores, durante tiempos suficientemente grandes. Es posible lograr el crecimiento de los cristales por recristalización, depositando una capa delgada de algún metal (Cu, Ag, In, etc., los cuales pueden actuar como fundentes) sobre la película de calcogenuro metálico, seguido del adecuado proceso de horneado.

Para mayor información y profundización sobre el tema, el lector puede consultar algunos trabajos recientes [2, 3, 4], sobre la técnica de depósito en baño químico y sobre algunos calcogenuros de metales, así como las referencias contenidas en éstos.

DBQ EN MÉXICO

En México se hace investigación y desarrollo tecnológico, ver Tabla 1, sobre películas delgadas de

calcogenuros de metales obtenidos mediante la técnica de depósito químico, desde hace apenas poco más de una década. El trabajo de los Doctores P.K. Nair y M.T.S. Nair y sus colaboradores, del Centro de Investigación en Energía de la UNAM, antes Laboratorio de Energía Solar del IIM-UNAM, fue el detonante de esta área de investigación en México, quienes han realizado investigaciones sobre el depósito químico de algunas decenas de calcogenuros de metales, principalmente de sulfuros y de selenuros de plomo, cobre, zinc, cadmio, bismuto, antimonio, entre otros elementos. Se han realizado estudios sobre optimización de los parámetros y de la composición del baño químico, para la obtención de películas de buena calidad, así como investigaciones tendientes a la utilización de estos materiales en la fabricación de dispositivos solares, celdas solares de película delgada, absorbedores solares, controladores solares, entre otros.

Tabla 1. La técnica DBQ en México, investigadores, materiales investigados e instituciones involucradas

Investigadores	Materiales	Institución
Dra. M.T.S. Nair, Dr. P.K. Nair, y Colaboradores [3]*	Calcogenuros de Metales	Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía - UNAM
C. Cruz-Vázquez, M. Inoue y M.B. Inoue [5]	Sulfuro de Cobre Selenuro de Cobre	DIPM, Universidad de Sonora
Dr. Rafael Ramírez Bon, Dr. Francisco J. Espinoza Beltrán y colaboradores [6]	Sulfuro de Cadmio	Centro de Investigación en Física -Universidad de Sonora y Lab. De Investigaciones en Materiales - CINVESTAV – IPN - Querétaro
Dr. J. Miguel Gracia y Jiménez y colaboradores [7]	Sulfuro de Cadmio Selenuro de Cadmio	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla INAOE, Puebla
Dr. Juan Luis Peña Chapa y colaboradores [8] *	Sulfuro de Cadmio	Laboratorio de Preparación de Materiales, CINVESTAV, Mérida
Dr. V. M. García y colaboradores [3,4]*	Sulfuros y Selenuros de Metales	Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas
Dr. Arturo Morales Acevedo y colaboradores [9]	Sulfuro de Cadmio, Óxido de Zinc	CINVESTAV, México

* Las referencias citadas no son ni la publicación más representativa ni la más reciente, solamente tienen la finalidad de orientar al lector sobre el trabajo de los grupos de investigadores.

Actualmente la investigación en México utilizando a técnica de depósito químico está casi a la altura de la que se realiza en los países de primer mundo, gracias a las importantes contribuciones de todos los grupos de investigación que utilizan esta técnica de depósito, ver Tabla 1, entre los que se pueden citar los siguientes: Centro de Investigación en Energía de la UNAM, del CIMP de la Universidad de Sonora, Centro de Investigación en Física - Universidad de Sonora y Lab. De Investigaciones en Materiales - CINVESTAV – IPN – Querétaro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla e INAOE – Puebla, Laboratorio de Preparación de Materiales, CINVESTAV, Mérida, CINVESTAV, México, Unidad Académica de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Zacatecas, y otros que escapan a la memoria del autor, cuyo trabajo es no menos importante y a quienes el autor ofrece una disculpa.

CONCLUSIONES

La técnica de deposito en baño químico produce materiales policristalinos de buena calidad, caracterizada por su simplicidad, su relativo bajo costo, su capacidad para producir materiales sobre áreas grandes y sobre sustratos de distintas formas geométricas, a partir de baños químicos conteniendo el complejo del catión y la fuente de aniones. Es posible utilizar esta técnica en laboratorios de química sin requerimientos especiales.

Los materiales obtenidos mediante la técnica de depósito en baño químico pueden ser utilizados como: recubrimientos selectivos solares

(absorbedores solares), control de radiación solar, fotoconductores, celdas solares de estado sólido y fotoelectroquímicas, entre otras.

El depósito en baño químico tiene un futuro bastante promisorio, por lo que se invita a los interesados en este tema, a realizar estudios, investigación y desarrollo de la técnica en general y de los materiales preparados mediante esta técnica, principalmente en lo que a aplicaciones solares se refiere.

REFERENCIAS

[1] Chopra K.L., Kainthla R.C., Pandya D.K. and Thakoor A.P., *Physics of Thin Films*, edited by G. Hass, M.H. Francombe and J.L. Vossen (Academic, New York, 1982), vol. **12**, p. 201.

[2] Mane R.S. and Lokhande C.D., Chemical Deposition Method for Metal Chalcogenide Thin films, *Materials Chemistry and Physics*, **65** (2000) 1-31.

[3] P.K. Nair, M.T.S. Nair, *V.M. García*, O.L. Arenas, Y. Peña, A. Castillo, I.T. Ayala, O. Gomezdaza, A Sánchez, J. Campos, H. Hu, R Suárez and M.E. Rincón. Semiconductor thin films by chemical bath deposition for solar energy related applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **52** (1998) 313-344.

[4] García Saldivar Víctor Manuel, *Películas Delgadas de Selenuros de Metales (Bi, Cd, Cu y Zn) por Depósito Químico y Tratamientos Posdepósito para aplicaciones Fotovoltaicas* (Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias – UNAM), 1998, México, D.F.

[5] C. Cruz-Vázquez, M. Inoue, M. B. Inoue, R. Bernal, and F. J. Espinoza-Beltrán, Characterization of new coper sulfide materials, *Superficies y Vacío,* 9 (diciembre de 1999) p. 219-221.

[6] Castillo, S.J., Sotelo Lerma, M., Neyra, I., Ortuño, M., Ramírez-Bon, R. y Espinoza Beltrán, F.J. Effects of reaction temperature on the physical properties of chemically deposited CdS films. *Materials Science Forum* 287-288 (1998) 343.

[7] Gracia-Jiménez, J.M., Martínez-Montes G., and Silva-González, R., J. Electrochem. Soc., **139** (1192) 2048.

[8] R. Castro-Rodríguez, P. Bartolo-Pérez, D. Pérez-Delgado, F. Caballero-Briones y J.L. Peña "S diffusion at the CdTe/CdS interface grown by radio-frequency magnetron sputtering" *Materials Letters* (aceptado).

[9] Mauricio Ortega-López and Arturo Morales-Acevedo, "Properties of ZnO Thin Films for Solar Cells grown by Chemical Bath Deposition", *26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, Anaheim, CA, IEEE (1997), p. 555.

APLICACIONES DE CONCENTRADORES DE CANAL PARABÓLICO COMPUESTO EN PROCESOS DE FOTOCATÁLISIS SOLAR

Erick R. Bandala*, Manuel Sánchez, Silvia Gelover, Teresa Leal
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac 8532. Jiutepec, Morelos 62550 México
Tel/Fax: +52 73194281
ebandala@tlaloc.imta.mx

La fotocatálisis solar, basada en la interacción de la radiación ultravioleta proveniente del sol con un semiconductor, es un proceso muy promisorio para la destrucción de compuestos contaminantes en aire, suelo y agua, así como en la desinfección de esta última. Diversas geometrías ópticas de colectores solares, como son los concentradores de canal parabólico, los colectores planos y los concentradores parabólicos compuestos se han probado en gran cantidad de aplicaciones para la descontaminación de agua. En este trabajo se hace una revisión actualizada de esta tecnología, resaltando sus ventajas y sus limitaciones, así como su potencial uso en México.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la investigación en materia de tratamiento de agua contaminada con compuestos no biodegradables ha derivado desde procesos de transferencia de fase de los contaminantes (arrastre con aire, adsorción, ósmosis, entre otros) hacia procesos que producen la destrucción química de los contaminantes. La interacción entre la radiación ultravioleta (UV) proveniente del sol (de longitud de onda inferior a 400 nanómetros) y un semiconductor en medio acuoso, que desencadena la eliminación de compuestos indeseables, es un proceso que se conoce como fotocatálisis solar. Se ha evidenciado que esta metodología permite destruir completamente muchos contaminantes orgánicos disueltos en agua [1,2,3,4], más aún, ha mostrado su utilidad para el tratamiento de suelo y aire. Incluso, recientemente, se ha observado su gran potencial en la desinfección de agua lo cual hace posible una amplia variedad de aplicaciones [2].

INGENIERÍA DE LOS COLECTORES SOLARES

Las geometrías de colección que han sido ensayadas más ampliamente en fotocatálisis solar son: concentradores de canal parabólico, CCP (ver figura 1); concentradores de canal parabólico compuesto, CPC (ver figura 2) y colectores planos, CP, (ver figura 3). En el caso de los primeros, son concentradores que utilizan la componente directa de la radiación solar y que son capaces de concentrar ésta en una relación de hasta 50 veces. Estos arreglos requieren de un sistema automatizado para el seguimiento continuo del movimiento aparente del sol, lo que eleva apreciablemente su costo. Su uso se recomienda en zonas de alta insolación con días soleados la mayor parte del año.

Los colectores planos utilizan la radiación global pero sin llevar a cabo concentración alguna y los CPC, que también emplean la radiación global, logran valores de concentración modestos, que llegan típicamente a una concentración de cinco. Específicamente los CPC parecen ser, hasta ahora, la geometría de colección solar más adecuada para aplicaciones comerciales. Las ventajas específicas de este sistema de colección son la simplicidad de diseño, facilidad de manipulación, bajo costo de fabricación y mantenimiento, así como su capacidad de utilizar las componentes directa y difusa de la radiación solar, lo que permite su utilización aún cuando esté nublado. Los CPC requieren de seguimiento del sol pero, a diferencia de los CCP, el seguimiento no necesita ser horario, ni diario, sino estacional, lo que le confiere a estas geometrías una autonomía mucho mayor a la de los CCP y es la razón del menor costo de fabricación y mantenimiento[2].

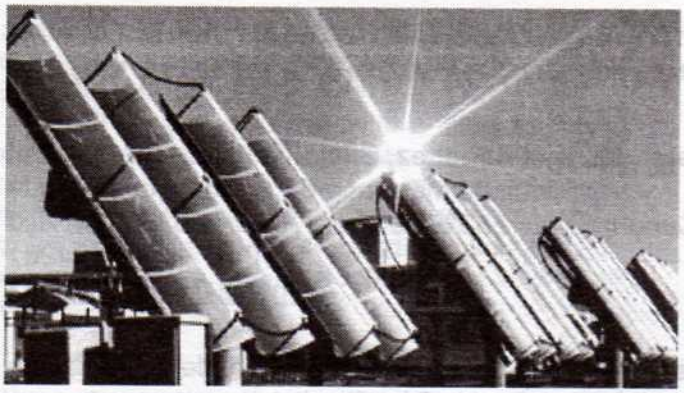


Figura 1. Batería de concentradores de canal parabólico para fotocatálisis a nivel piloto (Almería, España).

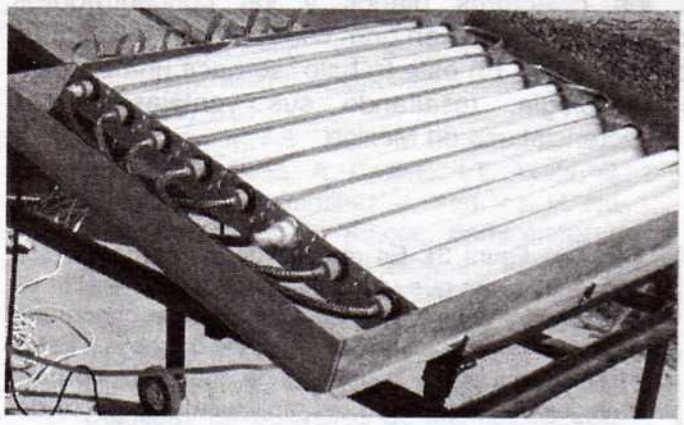


Figura 2. Módulo con ocho unidades de CPC, empleado para experimentación en el IMTA.

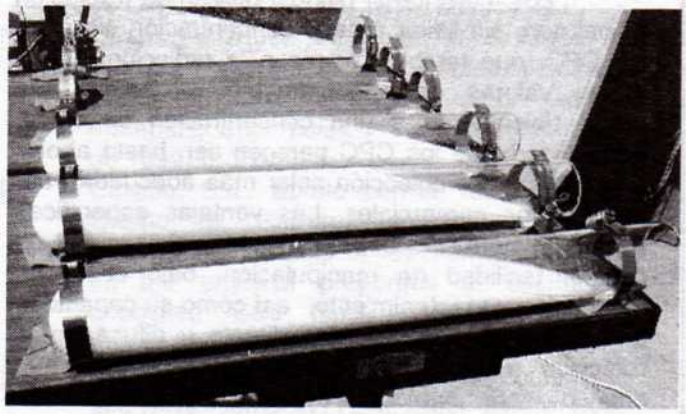


Figura 3. Ejemplo de colector plano usado para la degradación del plaguicida aldrín (IMTA).

APLICACIONES POTENCIALES DE LA TECNOLOGÍA.

El primer reporte del diseño de colector óptico de no-imagen, denominado colector parabólico compuesto, fue hecho por R. Winston de la Universidad de Chicago hace más de 20 años [5]. Desde entonces, los CPC se han distinguido como el diseño más interesante entre los colectores solares fijos debido a que esta geometría consigue la mayor relación de concentración posible para un ángulo de apertura específico. En la figura 4 se muestra un diagrama esquematizado de un diseño de colector de canal parabólico que se ha empleado en aplicaciones de fotocatálisis solar.

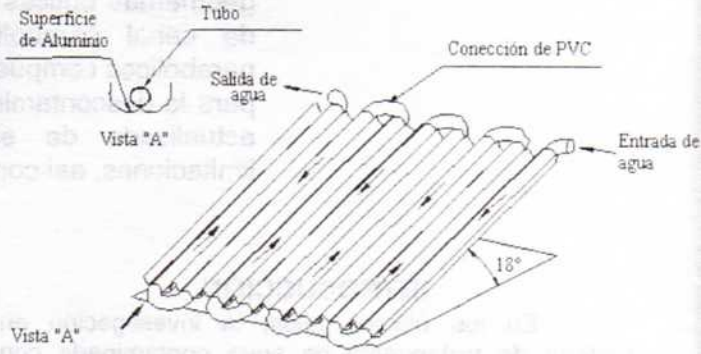


Figura 4. Diagrama esquematizado de un concentrador de canal parabólico compuesto CPC.

Existe una gran variedad de trabajos donde se reporta la aplicación de concentradores CPC en fotocatálisis. La tabla 1 presenta un resumen de los sustratos que han sido ensayados utilizando esta geometría de colección. Los resultados obtenidos van desde el 80% hasta el 100% de mineralización, la degradación completa de los compuestos orgánicos hasta CO_2 y agua. Como se observa, el proceso de fotocatálisis solar utilizando CPC ha resultado ser una tecnología con una gran capacidad de mineralización en todos los casos reportados, incluso para el tratamiento de agua residual con una alta carga orgánica (hasta 11800 mg/L de carbono orgánico total), proveniente de procesos como la producción de fenoles y la extracción de aceite de oliva [4,6].

A pesar de que la aplicación de la fotocatálisis solar como tecnología de restauración ambiental tiene muchas ventajas, aún existen limitaciones para su completo aprovechamiento a escala industrial en desarrollos comerciales. Algunas

de estas limitaciones son, por ejemplo, la baja velocidad de la cinética del proceso y su baja fotoeficiencia [7]. A este respecto, se ha determinado que la adición de oxidantes inorgánicos a los procesos fotocatalíticos resulta en un aumento de la velocidad de reacción. La adición de productos como peróxido de hidrógeno, peroxidisulfato de potasio (oxon) y peroxidisulfato de sodio, entre otros, mejora la reacción de degradación hasta en un factor de tres [8].

Tabla 1. Sustratos ensayados en la fotocatálisis solar empleando CPC.

Contaminante	% de mineralización	Referencia	Contaminante	Referencia	% de mineralización
Acrinatrin	100	6	2,4-D	10	100
Avermectina B	100	3	2,4-diclorofenol	6	< 85
Endosulfan	100	9	4-clorofenol	6	< 90
Formetoato	100	8	Vainillina	4	100
Imidacloprid	100	9	L-tirosina	4	100
Lufenuron	100	1	Ac. Protocatecúico	4	100
Metamidofos	100	2	Ac. Caféico	4	100
Oxamilo	100	6	Ac. Gálico	4	100
Primetamil	100	2	Ac. Siríngico	4	100
Atrazina	100	10	Ac. P-cumárico	4	100
Bromoxinil	100	10	Quercetina	4	100
Carbarilo	80	11	Benzofurano	10	100
Agua residual industrial	< 90	6, 4	Ac. dicloroacético	10	100

El empleo de oxidantes es más recomendable cuando se emplean colectores de bajo flujo radiativo como los CPC. No obstante que la investigación científica en fotocatálisis solar se ha llevado a cabo durante por lo menos las últimas tres décadas, las aplicaciones comerciales, los sistemas de ingeniería y las metodologías de diseño de ingeniería han sido desarrolladas sólo recientemente. En instalaciones para aplicaciones industriales de este proceso, el fotorreactor es, por mucho, el componente más costoso y la principal barrera para su comercialización. El aumento de la velocidad de reacción con la adición de oxidantes podría disminuir las dimensiones del fotorreactor proporcionalmente y, de esta manera, disminuir dramáticamente el costo total del proceso.

ESTUDIOS COMPARATIVOS ENTRE LAS DIFERENTES GEOMETRÍAS DE COLECCIÓN EXISTENTES.

A pesar de la gran cantidad de aplicaciones de fotocatálisis solar utilizando diferentes geometrías de colección de radiación solar que se encuentran en la literatura, existen relativamente pocos estudios que comparen la eficiencia óptica de los diferentes colectores probados. Esta comparación entre los resultados obtenidos empleando las diferentes geometrías ha demostrado ser un proceso complicado y que pocos autores se han decidido a abordar, pero que reviste una gran importancia en la aplicación de los resultados obtenidos en el laboratorio para el escalamiento del sistema.

La aplicación de la fotocatálisis solar utilizando CPC ha dado lugar a la primera planta industrial construida con este fin en las inmediaciones de Madrid, España. En ella se emplean 100 m^2 de área de colección utilizando dióxido de titanio como catalizador para el tratamiento de disolventes clorados no biodegradables, generados de procesos de la industria química. Los resultados muestran que los CPC poseen una mayor eficiencia que los concentradores de canal parabólico al utilizar la radiación difusa tanto como la directa [13]. Así mismo, se ha encontrado que la utilización de colectores planos resulta menos apropiada para aplicaciones a escala industrial que los CPC, debido a que requieren tiempos de residencia mayores, y por tanto, áreas de colección, a pesar de que los colectores planos presentan menor complejidad de diseño y costo de mantenimiento [16].

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CPC A LA FOTOCATÁLISIS SOLAR EN MÉXICO

Actualmente, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, en colaboración con el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, realiza estudios sobre la aplicación de concentradores tipo CPC a la degradación fotocatalítica de contaminantes en agua, empleando energía solar. Se han realizado pruebas empleando varias geometrías ópticas de colección, incluyendo CPC (ver figura 5), en las cuales se ha demostrado la degradación de algunos contaminantes como plaguicidas (aldrín y carbarilo, el segundo de amplio uso en el país) y compuestos aromáticos fenólicos (p-clorofenol, comúnmente encontrado en aguas residuales industriales).

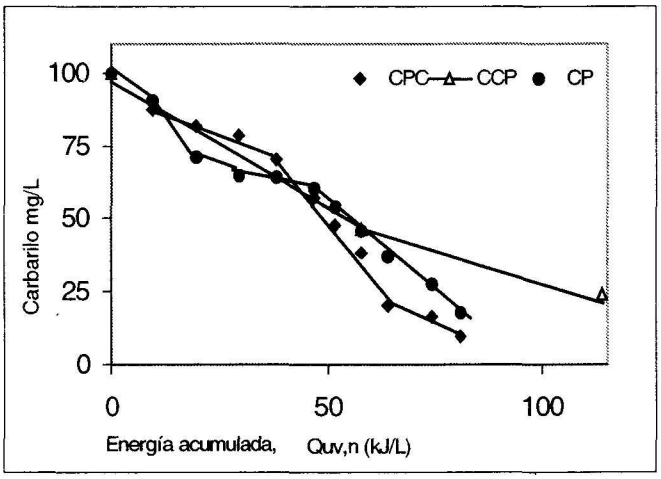


Figura 5. Proceso fotocatalítico del plaguicida carbarilo para tres tipos diferentes de colectores en función de la energía acumulada.

Las principales líneas de investigación que se desarrollan actualmente en el IMTA comprenden [11, 18-22], estudios comparativos de eficiencia de diferentes geometrías de colección solar, el desarrollo de modelos cinéticos de los procesos de fotocatálisis solar y su aplicación al problema de escalamiento, la identificación de intermediarios y productos finales del proceso, el mejoramiento de la eficiencia del proceso mediante modificaciones al catalizador TiO_2, así como el diseño y construcción de instalaciones, a escala semipiloto, para el tratamiento de agua mediante fotocatálisis solar empleando concentradores CPC como modelo de trabajo, todo ello, con miras a la aplicación de esta tecnología a problemas de contaminación específicos de nuestro país.

CONCLUSIONES

La fotocatálisis solar es una metodología muy promisoria para la destrucción de compuestos contaminantes presentes ya sea en aire, suelo o agua.

Entre las diversas geometrías solares probadas, la más eficiente es el concentrador de canal parabólico compuesto, el cual ha sido utilizado en una gran cantidad de aplicaciones para el tratamiento de agua contaminada.

La alta eficiencia de los CPC ha coadyuvado a que exista ya una planta a escala industrial para el tratamiento de disolventes clorados no biodegradables.

El IMTA estudia la aplicación de estos arreglos al tratamiento de agua contaminada con compuestos orgánicos tóxicos. Particularmente, se ha demostrado la destrucción de algunos plaguicidas y fenoles, de importancia ambiental y amplio uso en el país.

Al realizar investigación en fotocatálisis solar el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua pretende, en el corto plazo, la aplicación de esta tecnología, a la mitigación de los problemas de contaminación de agua que aquejan a nuestro país.

REFERENCIAS

1. Blanco J., Malato S., Richter C. 1996. Solar photocatalytic technology to the treatment of water contaminants from the agriculture activity in the mediterranean area. In Proceedings of Mediterranean Conference on Renewable Sources for Water Production. Pp 147-152, Santorini, Greece.

2. Blanco J., Malato S., Maldonado M.I., Fallmann H., Krutzler T., Bauer, R. 1999. Techno-Economical assessment of solar detoxification systems with compound parabolic collectors. J. Phys IV France, 9, Pr3, 259-264.

3. Malato, S., Blanco J., Richter C., Millow B., Maldonado M. 1999. Pre-Industrial experience in solar photocatalytic mineralization of real wastewater. Application to pesticide container recycling. Water Science and Technology 49(4-5), 123-130.

4. Malato S., Blanco J., Fernández P., Cácerez J., Campos A., Carrión A., Bandala E.R. 2000. Water recovery from olive mill wastewaters after photocatalytic detoxification and disinfection CIEMAT-PSA Task 5.1 LAGAR PROJECT Progress Report.

5. Duff, S.W., Duquette R., Winston R., O'Gallagher J. 1999. Development, fabrication and testing of a new design for the integral compound parabolic evacuated solar collector. Informe Técnico YAO-6-16309-01. National Renewable Energy Laboratories, USA.

6. Malato, S., Richter C., Blanco J., Vincent M. 1996. Photocatalytic degradation of industrial residual waters. Solar Energy 56(5), 401-410.

7. Parent Y., Blake D., Magrini-Bair K., Lyons C., Turchi C., Watt A., Wolfrum E., Praire M. 1996. Solar photocatalytic processes for the purification of water: State of development and barriers to commercialization. Solar Energy 56(5), 429-437.

8. Malato, S., Blanco J., Richter C., Braun B., Maldonado M. 1998. Enhancement of the rate of solar photocatalytic mineralization of organic pollutants by inorganic oxidizing species. Applied Catalysis B: Environmental 17, 347-356.

9. Malato, S., Blanco J., Fernández-Alba A.R., Agüera A. 2000. Solar photocatalytic mineralization of commercial pesticides: acrinathrin. Chemosphere 40, 403-409.

10. Bauer, R., Waldner G., Fallmann H., Hager S., Klare M., Krutzler T., Malato S., Maletz P. 1999. The photo-fenton reaction and the TiO_2/UV process for waste water treatment. Novel developments. Catalysis Today 53, 131-144.

11. Bandala E.R., Leal M.T. Gelover S., Estrada C. 2001. Catalytic photodegradation of carbaryl in two different solar collector geometries. Applied Catalisys B: Environmental (sometido).

12. Domínguez, C., García J., Pedraz M.A., Torres A., Galan M.A. 1998. Photocatalytic oxidation of organic pollutants in water. Catalysis Today 40, 85-101.

13. Parent Y., Blake D., Magrini-Bair K., Lyons C., Turchi C., Watt A., Wolfrum E., Praire M. 1996. Solar photocatalytic processes for the purification of water: State of development and barriers to commercialization. Solar Energy 56(5), 429-437.

14. Curcó D., Malato S., Blanco J., Giménez J., Marco P. 1996b. Photocatalytic degradation of phenol: comparison between pilot-plant-scale and laboratory results. Solar Energy 56(5), 387-400.

15. Giménez J., Curcó D., Queral M.A. 1999. Photocatalytic treatment of phenol: and 2,4-dichlorophenol in a solar plant in the way to scaling-up. Catalysis Today 54, 229-243.

16. Steinfeld, A. 2000. Cleaning up with sunshine. SolarPACES News 9. Septiembre 2000.

17. Romero M., Blanco J., Sánchez B., Vidal A., Malato S., Cardona A., Garcia E. 1999. Solar photocatalytic degradation of water and air pollutants: Challenges and perspectives. Solar Energy 66(2), 169-182.

18. Gelover S., Leal T., Bandala E., Román A., Jiménez A. y Estrada C., 2000. Catalytic photodegradation of alkyl surfactants. Water Science and Technology, Vol. 42, 5-6, pp 101-106.

19. Gelover S. Mondragón P., Jiménez A. 2001. Modification of the light conductivity of TiO_2 through impurification with platinum. Memorias del VII International Conference on Advanced Materials (en prensa).

20. Paredes A., Gómez I., Leal M.T., Gelover S., Bandala E.R. 2000. Aplicación de radiación solar no-concentrada para la degradación fotocatalítica de plaguicidas. Memorias del ISES Millenium Solar Forum 2000. SFPC 19-02; 575-577.

21. Sánchez M., Bandala E.R., Leal M.T., Estrada C. 2001. Estudio cinético comparativo de absorción de radiación en diferentes geometrías de colección solar. Memorias del Congreso Nacional ANES 2001, pp 477-481.

22. Gelover S., y Jiménez A., 2001. Inmovilización del catalizador TiO_2 y su uso en la degradación fotocatalítica de contaminantes orgánicos en agua. Memorias del Congreso Nacional ANES 2001, pp 483-486.

RELATORIA DE LA XXV SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR
San Luis Potosí, S.L.P.

La 25ª Semana Nacional en San Luis Potosí tiene un significado importante, por representar el 20 aniversario de la fundación de la Asociación Nacional de Energía Solar y un cuarto de siglo de llevar a cabo las reuniones anuales de energía solar, nuestro reconocimiento a los socios fundadores y la labor de continuidad de los expresidentes.
Nos permitimos relatar los trabajos de la semana, cuyas actividades iniciaron hace un año y culminan con lo visto por todos ustedes del 1° al 5 de octubre del 2001.

Una de las primeras actividades, fue un concurso en la Facultad del Hábitat para definir ***la imagen corporativa de la XXV Semana Nacional de Energía Solar***, en el cual participaron grupos de tercero, sexto y últimos semestres, además de varios profesores, el resultado lo vemos en cada uno de los detalles del evento, como el gafete, memorias, programas, cartel y souvenir, proyecto de Adriana Alarcón Alderete, Adriana Medina Jiménez y Mary Louse Schindler González. Nuestro agradecimiento a los demás grupos participantes, que mostraron una gran creatividad en cada una de sus propuestas.

Como segunda actividad, previa a la semana, se llevó acabo el Concurso de dibujo infantil: ***El sol, el viento y yo***, promoviendo con ello que 620 niños de 13 escuelas de la ciudad de San Luis Potosí, participaran, dicho evento fue auspiciado, principalmente por el COPOCYT (Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología).

Por primera vez, dentro de la semana nacional de energía solar, se llevó acabo un ***Concurso Estudiantil*** de diseño de edificios, equipos y dispositivos para el aprovechamiento de las energías renovables, contando con una entusiasta participación de estudiantes de diversas partes del país.

El ***programa técnico*** de la semana estuvo estructurado en dos partes, la primera, correspondiente a la impartición de ***8 cursos teórico-prácticos*** sobre:

- Aprovechamiento Energético de la Biomasa
- Introducción a la Energía Eólica
- Arquitectura Bioclimática
- Bombeo de Agua mediante Sistemas Fotovoltaicos
- Calentadores Solares Planos
- Concentración Solar
- Sistemas Fotovoltaicos de Acuerdo a las Normas de Seguridad
- Sistema de Generación Eléctrica con Fuerza Minihidráulica

Estos cursos fueron impartidos por expertos nacionales e internacional de diferentes instituciones, miembros todos ellos de nuestra asociación. Estos cursos representaron una parte importante de la semana nacional, por ello a nombre del XI Consejo Directivo se les da las gracias y el más valioso de los reconocimientos a los instructores, quienes desinteresadamente colaboraron con nosotros, trasmitiendo sus conocimientos, resultado de varios años de experiencia.

Así como a las 170 personas que asistieron, entre estudiantes, profesores, representantes de gobierno, iniciativa privada y público en general, teniendo una duración aproximada de 16 horas cada uno.

Dichos cursos fueron impartidos en las instalaciones de las facultades del Hábitat y Ciencias, además del Instituto de Física de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y en el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, este último nos permitió el uso de sus instalaciones y el medio de transporte para trasladar tanto a instructores como a participantes a los recintos donde se impartieron los cursos. Que decir de la

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, que fue nuestra casa por segunda ocasión.

En general en los cursos hubo una notable participación de los asistentes quienes vieron satisfechas sus expectativas, en cuanto al grado de conocimientos obtenidos. Estos conocimientos vendrán a ser pilares que sustenten y motiven el crecimiento profesional, los deseos de seguir siempre adelante en el camino de la aplicación de las energías renovables. Los cursos son el inicio para que dichos conocimientos se trasladen a las regiones de origen de cada uno de los asistentes.

El martes 2 de octubre, fecha significativa e importante en la actual vida social, política y económica, de México, arribó la ***Caravana Solar***, integrada por alumnos de la preparatoria El Chamizal, de Ciudad Juárez, quienes vienen de haber obtenido el segundo lugar en la carrera internacional de autos solares, demostrando con ello que en México las cosas se pueden hacer y muy bien hechas. Este grupo de entusiastas estudiantes, recorrió alrededor de 1000 kilómetros desde Cd. Juárez a esta ciudad en dos autos solares. En este sentido queremos agradecer él haber puesto el mejor de los empeños para llevar a cabo esta actividad, la cual fue bien acogida en cada una de las ciudades por donde pasaron, dicho esfuerzo, sin lugar a dudas, será semilla para nuevos proyectos.

La ***Exposición Industrial***, fue el marco para la bienvenida de la Caravana solar y a los expositores instalados en 20 stands, a cargo del señor rector de esta máxima casa de estudios, el interés general de la comunidad estudiantil, científica y de la sociedad permitió tener una gran afluencia de visitantes.

Durante lo que fue propiamente la Reunión Nacional, del 3 al 5 de octubre, se presentaron 4 Conferencias Magistrales, la primera sobre **Energías renovables y agricultura: Una relación multifuncional**, a cargo del ***Dr. Gustavo Best Brown***, distinguido miembro fundador de nuestra Asociación y prestigiado investigador internacional, recibimos cada uno de los que nos acercamos al él, un amable trato y fuente de información.

Ese mismo día, por la tarde se presento la 2ª conferencia magistral in titulada, **Procedimientos de identificación y certificación para evaluar la energía en Norteamérica y el impacto sobre el mercado para productos energéticamente eficientes**, a cargo de ***Mr. Bipin Shah***, quien amablemente accedió a participar en nuestra reunión, sembrando la inquietud de tomar proyectos conjuntos con México.

La tercera conferencia magistral, para beneplácito de los arquitectos bioclimáticos, estuvo a cargo del ***Dr. Eduardo González***, quien presentó el tema **Estrategias de diseño bioclimático en clima cálido húmedo: caso Maracaibo**, en donde introduce un nuevo término, efusividad térmica, dejando una gran inquietud.

La última conferencia magistral, estuvo a cargo del ***Maestro Odón de Buen Rodríguez***, distinguido miembro fundador de nuestra asociación, quien por muchos años ha apoyado significativamente a estas reuniones y las actividades de la asociación en general, por ello agradecemos de manera especial su participación en este evento con una **Propuesta oficial para mercados verdes de energía renovable.**

Dentro del mismo programa técnico se ofreció un taller, coordinado por una distinguida personalidad, me refiero al ***Dr. Dragan Curcija***, el tema fue **Herramientas de simulación y evaluación de la eficiencia térmica de ventanas, puertas y tragaluces**, dando realce a la reunión, por el interés despertado, por la nutrida participación.

El programa técnico de la reunión comprendió 118 ponencias divididas en 24 mesas de trabajo, en las cuales se mostró él más alto espíritu de convivencia y el más profundo respeto por las opiniones, tanto por parte de los ponentes como de los más de 270

asistentes o congresistas. Los trabajos presentados fueron el resultado de la selección, de 40 revisores, distinguidos por su reconocida experiencia en cada uno de los temas, todo ello con el objeto de ofrecer una mejor calidad científica, técnica y de originalidad. Con el fin de dejar una memoria clara, veraz y contundente de los avances registrados, se ha puesto especial cuidado en la edición impresa de la Memoria de la XXV Semana Nacional de Energía Solar, la cual es posible gracias a la participación de la comunidad solar nacional e internacional, de todos y cada uno de los revisores y de todas las personas del Comité Técnico para coordinar el intenso trabajo de organización que esto representa.

Como remate al programa técnico, el día 5 de octubre, se llevo acabo una mesa redonda, en la cual se analizaron las perspectivas de las energías renovables en nuestro país. Esta mesa redonda reunió a destacados personalidades, quienes debatieron sobre cuales son los caminos que se vislumbran para el desarrollo del aprovechamiento de la energía solar, eólica, biomasa y microhidráulica. Dejo la inquietud de la comunidad de arquitectos, por no considerar dicha área, como una aplicación directa a un sector que presenta uno de los mayor consumos de energía.

Como en toda reunión nacional, no podía faltar los ***eventos culturales y sociales***, pero debemos destacar que, en esta ocasión estos eventos revistieron aun más la XXV Semana Nacional de Energía Solar. Ello muestra la riqueza del estado de San Luis Potosí y el carácter de su gente, gente linda y entusiasta que sin duda alguna dieron una muestra digna de su historia, costumbres, cultura, arquitectura y gastronomía. En esta, como en varias actividades, es de resaltar la entusiasta participación en la organización de cada uno de los eventos, de los profesores de la Facultad del Hábitat, quienes hicieron posible el programa que será recordado por todos nosotros por mucho tiempo, así como los que asistieron hace 20 años pedían de nuevo el desfile de rebozos.

No nos resta más que agradecer, a esta máxima casa de estudios que dio cobijo a nuestra 25ª semana nacional a nombre del XI Consejo Directivo y de todos los participantes, a todos y cada uno de nuestros anfitriones, destacando al Ing. Jaime Valle Méndez, rector de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, al Lic. Mario García Valdez, Secretario General, y al Dr. Luis del Castillo, Secretario Académico y miembro Fundador de nuestra Asociación, de quien se tuvo invaluable apoyo en la gestión y organización, demás de entusiasmo para hacer posible este evento.

Nuestro reconocimiento al Físico Luis Gómez y al Ing. Alfredo García Celestino, Coordinadores Locales y miembros directivos de la Sección San Luis de la ANES, con quienes por espacio de más de un año se trabajo para brindarles el mejor de los eventos.

Además, debemos resaltar y agradecer también, a todas las bellas edecanes, estudiantes y demás colaboradores quienes hicieron un estupendo trabajo, sin el cual este evento no hubiera sido posible.

Por último, agradecemos infinitamente a todos los ponentes y asistentes a esta Semana Nacional de Energía Solar, que dieron cuerpo y alma a nuestras sesiones técnicas, esperamos haberles cumplido cabalmente sus expectativas.

Nuestra asociación con una enorme tradición y amplia experiencia, adquirida año con año, y reunión con reunión, enriquece su espíritu y acrecienta su entusiasmo, los esperamos en la XXVI Semana Nacional de Energía Solar, en la ciudad de Chetumal, Quintana Roo.

Gracias y enhorabuena
XI Consejo Directivo

CURSOS DE ACTUALIZACIÓN
Impartidos por expertos de la Asociación Nacional de Energía Solar, A. C.

1.**Aprovechamiento Energético de la Biomasa**
Objetivo: El propósito de este curso es dar una panorámica del estado actual de las tecnologías que aprovechan la biomasa, haciendo hincapié en el gran potencial de aplicación que tienen en México.

2. **Arquitectura Bioclimática**
Objetivios: 1) Que el alumno comprenda la relación que existe entre el hombre, la arquitectura y el ambiente natural, su importancia y la responsabilidad del diseñador en su actividad como agente modificador del entorno o creador de espacios habitables.2) El asistente conocerá una metodología de Diseño Bioclimático y todas las variables que intervienen en el proceso de diseño para obtener espacuios saludables, confortables y energéticamente eficientes.3) El asistente conocerá un paquete de cómputo que puede aplicarse en el cálculo de cargas térmicas en edificios.

3. **Bombeo de Agua Mediante Sistemas Fotovoltaicos**
Objetivo: Proporcionar los elementos necesarios para que el profesionista conozca el proceso de la conversión fotovoltaica, los diferentes materiales en donde se realiza el proceso y los subsistemas relacionados con ella; e introducir a los participantes en el dimensionamiento, diseño y análisis de factibilidad económica en Sistemas de Bombeo Fotovoltaico para el medio rural.

4. **Calentadres Solares Planos**
Objetivo: Conocer los componentes, el funcionamiento y la instalación de colectores solares planos para aplicaciones domesticas, recreativas, comerciales e industriales. además se presenta una metodología que permite desarrollar un análisis económico de sistemas solares de calentamiento de agua en donde se evalúa el ahorro de combustible y el tiempo de recuperación de la inversión.

5. **Concentración Solar**
Objetivos: El propósito de este curso es dar una panorámica del estado actual de las tecnologías de concentración solar, haciendo hincapié en el gran potencial de aplicación que tienen en México.

6. **Energía Eólica y sus Aplicaciones en México.**
Objetivo: El propósito de este curso es dar una panorámica del estado actual de las tecnologías que aprovechan la energía eólica, haciendo hincapié en el gran potencial de aplicación que tienen en México.

7. **Sistemas Fotovoltaicos de Acuerdo a las Normas de Seguridad**
Objetivo: Este taller tiene el objetivo de informar a los participantes sobre los aspectos de la Norma que se aplican a los sistemas fotovoltaicos. Es oportuno y necesario desarrollar este tema a un nivel técnico para mejorar la calidad y seguridad de los sistemas fotovoltaicos..

8. **Sistemas de Generación Eléctrica con Fuerza Minihidráulica.**
Objetivo: El propósito de este curso es dar una panorámica del estado actual de las tecnologías que aprovechan la energía microhidráulica, haciendo hincapié en el gran potencial de aplicación que tienen en México.

9. **Secado Solar.**
Objetivo: Concientizar sobre la importancia del secado solar como técnica de conservación de alimentos, Conocer los mecanismos generales del proceso del secado solar, Manejar los parámetros primordiales para el control del proceso de secado solar, Conocer las propiedades principales de los productos a secar, Analizar las principales ventajas y desventajas del secado solar, Conocer los principales componentes de los secadores solares, Conocer los diferentes tipos de secadores solares, y Conocer los factores principales que deben tomarse en cuenta para el correcto diseño de los secadores solares.

10. **Refrigeración Solar.**
Objetivo: sus métodos de producción, con especial énfasis en los ciclos termodinámicos que operan con energia derivada de El objetivo principal del curso de refrigeración solar es introducir en el estudio del frío y la termo conversión de la energia solar.

11. **Potabilización de agua mediante Energia Solar.**
Objetivo: Conocer los principios teóricos y prácticos para el diseño, la construcción y la evaluación de dispositivos que conduzcan a la purificación, desinfección y detoxificación de aguas naturales y de desecho utilizando la energía solar

12. **Metodología y Aplicación de diagnósticos Energéticos.**
Objetivo: Dotar a los participantes de los elementos requeridos para proponer, organizar, supervisar y controlar un programa integral de uso racional de la energía, Describir los tipos y grados de profundidad de los diagnósticos o auditorias de energía, Adquirir habilidad en el manejo metodológico de las auditorías energéticas en instalaciones industriales y comerciales, y Presentar ejemplos de diagnósticos energéticos a instalaciones industriales y comerciales.

Si le interesa algún curso de esta lista por favor comuníquese con Laura E. Hernández G., ó con Roberto Acosta O., a los teléfonos: 777 310 1650, 777 326 3842, o a los correos a45l44@prodigy.net.mx, anes@cenidet.edu.mx, rao@cie.unam.mx., para darle mayor información.

INVITACIÓN AL CURSO INTRODUCTORIO DE GENERACIÓN EOLOELECTRICA

La Asociación Nacional de Energía Solar, A. C., El Instituto de Investigaciones Eléctricas y SANDIA National Laboratories, anuncian la celebración del CURSO "Energía Eólica y sus aplicación en México".

El objetivo general de este curso es el de proporcionar los elementos necesarios para que el profesionista conozca sobre la Energía Eólica en México y el proceso de su conversión energética a través de las tecnologías disponibles; sus aplicaciones, y tenga un panorama sobre la generación eléctrica a gran escala.

Participantes
Se convoca a los investigadores, docentes, estudiantes, industriales, funcionarios públicos, organizaciones no gubernamentales y demás personas interesadas en las fuentes renovables de energía, a participar en esta esfuerzo de capacitación y actualización en las tecnologías de las energías del futuro.

El curso tendrá una duración aproximada de 14 horas y será impartido por reconocidos especialistas en la materia.

Especialistas que imparten el curso:
Ing. Ricardo Saldaña Flores (IIE)
Ing. Raúl González Galarza (IIE)

CONTENIDO

Capítulo 1.- Generalidades
- **1.1.- Antecedentes históricos de la utilización de la energía del viento.**
- **1.2.- Naturaleza del viento**
- **1.3.- Circulación general de la atmósfera**
- **1.4.- Sistemas de vientos**

Capítulo 2.- Potencial energético del viento
- **2.1.- Medición del viento**
- **2.2.- Configuración de estaciones Anemométricas**
- **2.3.- Determinación del potencial energético del viento**
- **2.4.- Distribuciones teóricas de densidad de probabilidad de velocidad del viento**

Capítulo 3.- Aplicaciones de la energía del viento
- **3.1.- Aspectos generales**
- **3.2.- Bombeo de agua**
- **3.3.- Generación eléctrica**
  - **3.3.1.- Sistemas autónomos**
  - **3.3.2.- Sistemas interconectados**
  - **3.3.3.- Sistemas híbridos**

Capítulo 4.- Elementos que integran un sistema Converso de energía eólica (SCCE)
- **4.1.- Configuración general de los SCEE**
- **4.2.- Principio de operación**
- **4.3.- Rotor**
- **4.4.- Sistema de orientación y protección**
- **4.5.- Multiplicador /reductor de velocidad**
- **4.6.- Otros mecanismos**
- **4.7.- Generador /bomba mecánica**
- **4.8.- Acumuladores de energía**
- **4.9.- Eficiencia global del sistema**

Capítulo 5.- Generación eléctrica en gran escala
- **5.1.- Avances tecnológicos**
- **5.2.- Centrales eoloeléctricas**
- **5.3.- Aspectos económicos de las centrales eoloeléctricas**
- **5.4.- Perspectivas de la generación eoloeléctrica en México**

En nuestra página aparecen los sitios y fechas donde se va a ofrecer este curso. Visítela: **www.anes.org**

Si tiene interés en que este curso se ofrezca en su comunidad por favor contáctese con:
Laura E.Hernández G. ó Roberto Acosta O.
Tel./fax: (7) 326 3842, Tel (7). 3 10 16 50.
A45L44@prodigy.net.mx, rao@cie.unam.mx, anes@cenidet.edu.mx,

XI CONSEJO DIRECTIVO DE LA ANES

Presidente:
Dr. Rubén José Dorantes Rodríguez,
UAM-A, rjdr@correo.azc.uam.mx

Vicepresidente:
Dr. Eduardo Rincón Mejía,
UAEMex, erincon@coatepec.uaemex.mx

Secretario General:
Ing. Ricardo Saldaña Flores,
IIE, rsf@iie.org.mx

Tesorero:
Dr. Arnoldo Bautista Corral,
CENIDET, abautista@cenidet.edu.mx

Secretario de Publicaciones:
Dr. Rafael Cabanillas López,
UNISON, rcabani@guaymas.uson.mx

Secretario de Organización:
Dr. David Morillón Gálvez,
II-UNAM, damg@pumas.iingen.unam.mx

Secretario de Asuntos Industriales:
Ing. Carlos Gottfried Joy.
Fuerza Eólica, S.A., cgott@ienlaces.com.mx

Secretaria de Asuntos Internacionales:
Dra. Gabriela Álvarez García,
CENIDET, gace@infosel.net.mx

Secretario de Secciones Regionales:
M. en I. David Gudiño A.,
ITESO, Guadalajara, dgudino@iteso.net.mx

Secretario de Vocalía de Bioclimática
Arq. Víctor Fuentes Freixanet,
UAM-A, ffva@correo.azc.uam.mx

Secretario de Vocalía de Calentadores Solares
M.E.S. Jassón Flores Prieto
CENIDET, jasson@cenidet.edu.mx

Secretario de Vocalía de Generación Eléctrica Solar
Ing. Enrique Caldera
ecaldera@infosel.net.mx

Directora Ejecutiva
M.S. Laura E. Hernández
a45l44@prodigy.net.mx

Asistente Técnico
M.E.S. Roberto Acosta Olea
rao@cie.unam.mx

ANES agradece el apoyo de:

Sandia National Laboratories

Centro de Investigación en Energía
UNAM

Visite nuestra página: **www.anes.org**

ANES