

VIII Congreso Nacional de Ciencias
Exploraciones fuera y dentro del aula
27 y 28 de agosto, 2006 **Universidad Earth,**
Guácimo, Limón, Costa Rica

ENERGIA SOLAR- Y SUS APLICACIONES.

Shyam S. Nandwani (*) Ph.D.

Profesor,
Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física,
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Centro América)

Tel: (506)- 2773 482, 2773 345 Fax: 2773 344

E mail: snandwan@una.ac.cr

Web: www.una.ac.cr/fisica/energiasolar.htm

*) Miembro- International Solar Energy Society (ISES), Alemania.

Miembro- International Society on Renewable Energy Education (ISREE), EUA.

Miembro- Solar Cookers International (SCI), Sacramento, CA, EUA

Miembro- Red Iberoamericano de Cocción Solar de alimentos (Argentina, RICSA/CYTED),
Fotovoltaico (Perú, RIASEF/CYTED) y Transferencia Tecnología (Brasil
RITTAER/CYTED).

Miembro Senior Asociado: the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP),
Trieste, Italy.

RESUMEN:

En esta presentación se informara los conceptos básico para captar energía solar (fuente gratuita, limpia y abundante) y convertir en energía cálida e energía eléctrica. Posteriormente con base de experiencia adquirida, se indicara los usos de diferentes dispositivos solares para calentar agua, cocinar los alimentos, destilar un liquido, deshidratar productos agrícolas, marinas, para alumbrar, TV, Refrigeradora y bombear agua etc. Todos estos dispositivos están disponible en nuestro parqueo del 1000 m² y una Casita solar de 40 m², para fines de investigación y divulgación. Usos de este fuente combinados con conservación de energía ayudara reducir fuentes convencional de energía y mantener el ambiente mas saludable.

1. INTRODUCCION:

Utilizamos energía en forma del calor y electricidad constantemente, bajo formas muy diversas- para la iluminación, la calefacción, el transporte, la cocción, diversión, transporte, vestidos, ver radio y televisión etc.

Los principales combustibles usados como energético a nivel mundial son carbón, petróleo, gas natural y biomasa. Estamos recibiendo noticia cada día del alto costo del fuentes convencionales de energía- petróleo y su derivados (gasolina, diesel, gas etc.) y hasta electricidad. En esta presentación informamos uso de la energía solar para resolver parcialmente nuestras necesidades energéticas. Es una fuente alterna de energía, gratuita, abundante, renovable y limpia.

2. CANTIDAD DE LA RADIACION SOLAR:

Antes de aprovechar la energía solar en una localidad es muy importante conocer la cantidad de radiación solar en aquel lugar.

En Costa Rica existen cerca de 80-100 estaciones meteorológicas distribuidas en todo su territorio, las cuales cuentan con equipos para medir la cantidad de radiación y brillo solar. Aunque los datos para diferentes estaciones se pueden conseguir con el Instituto Meteorológico Nacional, sin embargo la Figura 1 muestra, la radiación global anual medida en varios lugares de Costa Rica. El valor oscila entre 1320 (San José) y 1970 (Taboga) $\text{kWh/m}^2\text{-año}$ y estos datos son muy importantes para cualquier aplicación/ simulación de sistemas solares.

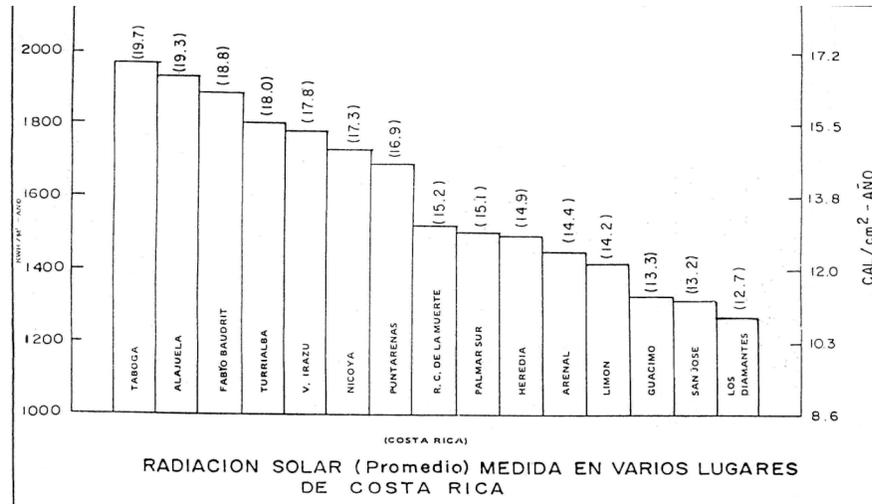


Fig. 1. La Radiación Solar (Promedio) medida en algunos lugares de Costa Rica (unidad lado izquierda, $\text{kWh/m}^2\text{-año}$).

3. CAPTACION DE ENERGIA SOLAR:

Para cualquiera de las aplicaciones de la energía solar, la parte principal del sistema es el Captador - el artefacto que capta energía solar y convierte en energía útil- sea en forma cálórica o eléctrica.

Para la conversión de energía solar, directamente en energía eléctrica se utilizan las CELDAS SOLARES proveniente de los materiales semiconductores -tipo silicio principalmente. Se usan en relojes, calculadores y hasta en naves espaciales etc. Debido a la requerimiento de inversión inicial y complejidad de fabricación, muy pocos países del mundo están fabricando las celdas solares. En este artículo solo se informara un breve concepto de ensamblaje de paneles solares (conjunto de celdas solares) para una sistema.

Por otro lado la energía solar puede ser transferida en calor empleando COLECTORES SOLARES sencillos, los cuales pueden fabricar fácilmente y con los materiales disponibles en el mercado local. Mayorías de estos captadores son de tipos planos. La Foto 2 muestra uno de varios colectores planos diseñado e estudiado por el autor, en la Universidad Nacional.

Es esencialmente una placa metálica (que puede ser de acero, hierro galvanizado, aluminio o preferiblemente de cobre) pintada de color negro mate, con el fin de absorber al máximo la radiación solar. La energía solar después de ser absorbida es transformada en energía térmica.

Sin embargo, como el ambiente se encuentra a una temperatura inferior a la de la placa, ésta placa comienza a perder la radiación, aunque sólo en la región del infrarrojo. Para reducir las pérdidas de energía en la parte posterior y laterales, la placa está encerrada en una caja bien aislada al fondo y lateralmente (usando lana de vidrio, esterofón, poliuretano o cáscara de arroz, aserrín etc.). Para reducir las pérdidas de energía por la parte superior, la fachada del colector está cubierta con una o más láminas de vidrio o de plástico transparente, permitiendo que penetre la luz solar pero evitando el escape de la radiación infrarroja emitida de la placa caliente. Por lo tanto el aire dentro del caja alcanza alta temperatura de 100-150°C. Después el calor neto absorbido por la placa es transferido a varios tubos de metal, verticales separados por una distancia de 10-15 cm entre ellas y unidos estrechamente a la placa, por los que el fluido se hace circular. Dichos tubos se colocan longitudinalmente de manera que el fluido (aire o agua) fría entre por la parte baja y salga, una vez caliente, por la alta, debido a su menor densidad.

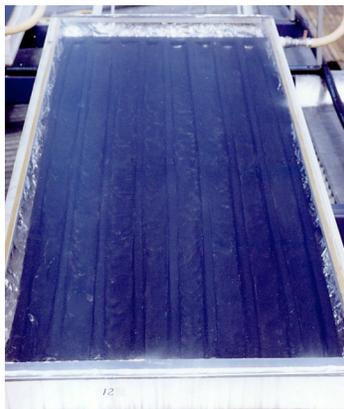


Foto. 2. Un Colector Solar del tipo plano.

En la realidad el calor así obtenido, puede ser utilizado con un arreglo apropiado para varios usos, como

- * Calentar agua para ducha, lavar trastos, comercios, industrias y para piscina etc.
- * Cocinar/ hornear los alimentos y pasteurizar agua,
- * Secar todos tipos de productos, agrícolas, marinas, desechos domesticos y excrementos de animales etc.,
- * Destilar un líquido para separar los componentes sólidos y liquidas, y
- * Producir electricidad directamente (Efecto Fotovoltaico) para alumbrar, TV, Radio, bombear agua, ventilación, nevera y cargar baterías, etc.

Ahora hablaremos en breve algunas aplicaciones más importantes, instalados en nuestro parque solar (Foto 3).



Foto 3. Algunos artefactos solares, diseñados e estudiados por el autor.

4. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA:

Agua caliente se necesita para varios fines, como aseo personal, uso doméstico, en lecherías, ganadería, restaurantes, hospitales, hoteles, lavanderías, embotelladoras y centros de recreación etc. Sistema más común es del tipo circulación natural, mostrado en el Foto 4. Este tipo tiene dos componentes- sistemas de captación de la energía solar y de almacenamiento del agua caliente.

El colector plano (mencionado anteriormente), se coloca mirando hacia el sur con una inclinación de 15-20° respecto a la horizontal. Los tubos del colector por los que circula el agua, se colocan longitudinalmente de manera que el agua fría (la cual proviene de un tanque, ubicada encima de los colectores) entra por la parte baja y una vez que se calienta por la radiación solar, sale por la parte superior del colector debido a su menor densidad. Dicho proceso (de entrada y salida de agua) continúa hasta que haya una cantidad mínima de la radiación solar. De esta manera, el agua caliente se acumula en el tanque, la cual puede ser utilizada cuando y donde exista la necesidad.

Temperatura alcanzada por un sistema solar depende de la cantidad de agua que necesite calentar, área del sistema y el clima del lugar; sin embargo nuestros estudios nos permiten afirmar que con 1 m² de un colector plano, en el clima de varios lugares de Costa Rica, se puede calentar un promedio de 60-75 litros de agua, diariamente, aumentando su temperatura de 20° C (en la mañana) hasta 50-55° C a las 5 pm. En el país ya existen varios sistemas para calentar agua en las casas, hoteles, piscinas etc.

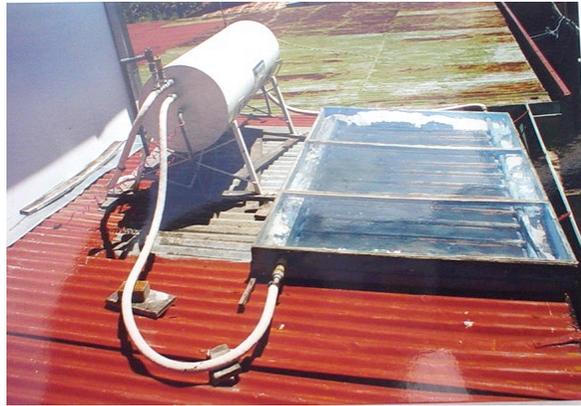


Foto 4. Calentador solar de agua de 2 m², instalado en la casa del autor.

Para los sistemas grandes, como hospitales, hoteles etc., donde no es siempre posible colocar el tanque encima de los colectores (requisito necesario para la circulación natural), se puede usar una pequeña bomba para la circulación del agua (circulación forzada). En este caso los colectores se pueden ubicar encima del techo y el tanque puede colocar algún lugar dentro del edificio.

Un calentador solar de agua de 2 m² en una clima normal de Costa Rica (1500 kWh/m²- año) puede ahorrar anualmente cerca de 2250 kWh de electricidad o 220 kg de gas butano.

Esto puede reducir la emisión de 0.5-1 tonelada de dióxido de carbono y 55 kg del otros productos contaminantes, SO₂, CO, NO_x. por año, dependiendo del tipo de fuentes convencionales usados.

5. HORNO-COCINA SOLAR:

De la energía que consume una casa, un gran porcentaje (del 30 al 90 por ciento) se emplea para cocinar alimentos. Ahora explicaré en breve el procedimiento para la construcción de un horno solar, diseñado y estudiado, por el autor por primera vez en Costa Rica, a principios de 1979, con materiales y tecnología nacional. Fue patentado a nombre de la Universidad Nacional en 1984, la cual en su versión mejorada sigue funcionando satisfactoriamente.

Consiste en una caja de madera (Foto 5) con doble vidrio plano en la parte superior, separadas por una distancia de 2 cm. Dentro de la caja hay una lamina metálica de hierro galvanizado (calibre 20- 24) pintada por la parte superior, de negro mate. La radiación solar después de ser absorbida por la lamina negra, es transformada en energía térmica.

Para reducir las pérdidas de energía en la parte posterior y lateral de la lamina, hemos usado un aislante de calor; lana de vidrio, en la parte del fondo y a los lados. Además dicho aislante esta forrado con papel aluminio en todo el perímetro y abajo de la lámina con el fin de minimizar la pérdida de la energía y también para protegerlo de (cualquier) humedad proveniente de los alimentos.

Para reducir las pérdidas de energía por la parte superior, la fachada del colector se cubre con dos vidrios transparentes (tipo ventana). Dichos vidrios permiten la penetración de la luz solar, pero impiden el escape de la radiación infrarroja de la placa metálica. Es muy importante sellar los vidrios (interior y exterior), en todo su perímetro contra la caja de madera, con el fin de evitar fugas de calor o entradas de agua de lluvia.

Para aumentar la radiación sobre la placa usamos un reflector de papel aluminio (preferiblemente metálico), pegado a la lamina de plywood fuera de la caja. El reflector, además de aumentar la radiación solar durante el período de cocción también sirve para tapar el horno con el fin de mantener la comida caliente una vez se hayan cocinado los alimentos, y no se desee comer todavía.

Dicho reflector puede variar su ángulo con respecto a la horizontal usando una varilla con varios huecos. En la parte frontal de la caja existe una puerta, forrada con lana de vidrio y papel aluminio; para introducir y sacar los alimentos. La Foto 5 muestra un modelo típico de horno solar usado por el autor.

El tiempo de cocción depende de la cantidad de radiación solar, temperatura del ambiente, velocidad del viento, calidad y cantidad de los alimentos y orientación del horno etc. Aunque los resultados detallados se pueden observar en otros folletos más completos, sin embargo en un día normal, la temperatura de la placa metálica puede alcanzar hasta 100- 150° C.



Foto 5. Horno/ Cocina Solar.

6. SECADOR SOLAR:

El secado es el proceso comercial más utilizado para la preservación de la calidad de los productos agrícolas/ forestal o marino. La finalidad del secado es la separación parcial del agua contenida en la materia sólida. Cuando los productos se secan (deshidratan) hasta el 14-20%, mediante alguna técnica adecuada, se disminuye sensiblemente su actividad respiratoria y se controlan los microorganismos asociados, lo que permite el almacenamiento del producto (bien cerradas) en el ambiente por un período de uno hasta dos años.

El sistema más sencillo de secado solar es el que se hace en forma de gabinete. La Foto 6 muestra un modelo diseñado y estudiado en 1991 por el autor en la Universidad Nacional, el cual consiste en una caja de madera/ metálica, cuyo fondo está aislado y tiene un cobertor de vidrio inclinado, el cual está dispuesto sobre la caja para recibir la radiación solar. En la base de este gabinete se coloca una lámina metálica pintada de negro. Los materiales para secar se ponen en bandejas perforadas, por una puerta que se encuentra atrás de la caja. Se hacen varios huecos en la base, la parte superior y lateral. Los huecos en la parte del fondo y lateral son para la entrada de aire ambiental y salida de aire húmedo, de modo que el aire húmedo y caliente pueda

desprenderse por huecos de la parte superior. Así hay un continuo flujo de aire sobre el producto a secar. Por la absorción de la radiación solar el aire se calienta y quita la humedad de los productos. Cuando el contenido de humedad del producto ha descendido a un valor predeterminado, se retira del secador.

Dependiendo de la radiación solar, la temperatura del gabinete puede llegar a 50-70° C. Casi todos los productos pueden secarse con esta secadora; que resulta útil, sobre todo, al campesino/ nivel casero, que producen a baja escala.



Foto 6. Secador Solar Pasivo.

Para dar una idea, con una secadora de 1 m² y con una radiación solar de 3.5 kWh/m²-día, se puede secar en tres días, 20-30 Kg de granos con humedad inicial de 40-50% hasta 10-15%.

7. DESTILACION DEL LIQUIDO:

En Costa Rica, a lo largo de nuestras costas, hay un elevado número de comunidades que carecen de agua potable' tiene que usar del río, pozo y mar etc. Dependiendo de la calidad de agua, puede ser que sea necesario recurrir a la purificación del agua. En este sentido la destilación solar se presenta como una alternativa atractiva: ya que, la demanda energética es en forma de calor de baja temperatura (40 - 60° C). Utilizando la radiación solar y una tecnología, relativamente sencilla, es posible obtener la evaporación del agua de mar o agua del pozo. En la condensación se produce agua potable dejando el producto sólido, que es la sal de cocina (NaCl) mezclada con los cristales de otras sales. La Foto 7 muestra el modelo actual de sistema diseñado y estudiado por el autor.



Foto 7. Un Destilador solar mas común de 1 m².

El agua salada entra en la cubeta, situada en el fondo, donde se calienta por la absorción de la radiación solar. Se ha pintado la cubeta con pintura negra mate, para facilitar este proceso.

Conforme aumenta la temperatura, el agua comienza a evaporarse. El aire húmedo, más caliente, asciende hasta la cubierta, más fría, en cuya superficie, parte del vapor de agua se condensa, se desliza hacia abajo y cae goteando en el canal destinado para recoger el agua, dejando la sal o algún otro minerales en la cubeta.

Un destilador de 1 m² de área de absorción puede destilar entre 3-5 litros de agua por día. Aunque la primera destilación elimina varios minerales, si fuera necesario se puede destilar una vez más, con el fin de usar el agua en laboratorios o en las baterías etc.

En forma semejante energía solar puede utilizar para otros fines como calefacción, acondicionamiento de edificios, refrigeración, invernaderos, bombeo de agua para tomar o irrigación y hasta para producir electricidad por medio de efecto termo-eléctrico (Energía Solar ---> energía calorica ----> energía mecánica -----> Energía Eléctrica).

9. CONVERSION DIRECTA DE LA ENERGIA SOLAR EN ELECTRICIDAD:

La radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (efecto fotovoltaico) por medio de aparatos, celdas solares o pilas solares, los cuales son semiconductores puros drogados con cantidades diminutas (1ppm) de otros elementos. Varios conductores pueden emplearse, pero se prefiere el de silicio por razón de abundancia, costo y principalmente por estabilidad y rendimiento (~10-15%). Es decir la electricidad producida por una celda solar de 1m², la cual está expuesta a radiación solar de 1000 Watios/m², será de 100-150 Watios.

Para producir mayor cantidad voltaje, varias celdas pueden conectarse eléctricamente en forma de serie y/o paralelo, para formar un módulo (con mayor voltaje o mayor corriente).

Por la acción de la energía solar sobre la celda solar la corriente producida es almacenada en baterías, para utilizar esta energía después de la hora del sol. Una instalación, además requiere controlar del voltaje, mediante un regulador, y dirigir la corriente hacia una batería, para almacenarla. Como la corriente eléctrica producida es directa, es necesario, para algunas aplicaciones, un inversor para convertirla en corriente alterna.

Las celdas solares fueron usadas al principio para las aplicaciones espaciales y ahora han ganado mercado terrestre, para iluminación, en bombeo para sistemas de abastecimiento de agua potable, sistema de irrigación, telefonía rural etc.

La Foto 9 muestra varios artefactos que utilizan las celdas solares para su funcionamiento, e. g., cargador de baterías, alumbrado etc., instalados en la Casa Solar ubicada en el Laboratorio de Electricidad Solar de la Universidad Nacional.



Foto 9. Algunos artefactos (Foco, Cargador de Baterías, Radio, Micro Onda, TV, Cafetera Etc.), que usan electricidad solar para su funcionamiento, dentro de la casita solar.

Aunque en los últimos años el costo de las pilas han reducido en un 200- 300%, para lugares normales sus instalaciones resultan todavía caras, pero ciertamente competitivas cuando no existe otra forma de suministro de energía eléctrica. Además, se espera que con el desarrollo comercial de las células su costo se reducirá.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Compañía Nacional de Fuerza y Luz, CopeGuanacaste y algunas otras ONG's han instalado varios paneles solares FV en comunidades alejadas del país para que disfruten del servicio eléctrico.

Combinando estos artefactos con otros comprados y construidos, hemos equipado una CASITA SOLAR (40 m²) dentro del nuestro parque solar, cuya todas la necesidades energéticas (Calórica y Eléctrica) es cubierta por energía del Sol (Foto 9). Esto sirve para fines Investigación y Divulgación.

10. CONCLUSIONES:

Hemos informado en breve algunos conceptos básicos para el aprovechamiento de Energía Solar. Con estás información y su imaginación puede diseñar las sistemas para su necesidades y hasta permite pensar otras utilidades.

Para terminar se puede concluir, que la tecnología solar es posible implementarla para satisfacer adecuadamente parcialmente sus necesidades energéticas básicas, ahorrando una cantidad apreciable de fuentes fósiles y divisas y mantener ambiente mas saludable.

Asumiendo la radiación solar promedio de 1500 kWh/m²-año, un colector plano de 2 m² (de venta más común a nivel mundial) con un rendimiento térmico (η) de 60%, puede ahorrar siguientes cantidades de fuentes convencionales (por año):

- Leña 4000 kg (valor calorífico de 16.7 MJ/kg, η = 10%)
- Carbón 830 kg (valor calorífico de 26.0 MJ/kg, η = 30%)
- Bunker 350 lts (valor calorífico de 37.9 MJ/ lt, η = 50%)
- Electricidad 2250 kWh (valor calorífico de 3.6 MJ/ kWh, η = 80%)

Con base en estudios se llega a la conclusión de que adaptando dicha utilización a nuestra tecnología y sin necesidad de importar sofisticada y cara de otros países, podemos economizar un gran porcentaje del consumo de energía convencional en nuestro país. Lo que se debe aclarar es que no vendrá la energía solar a sustituir en un cien por ciento las otras fuentes de energía, pero sí puede servir de complemento a las otras fuentes energéticas.

AGRADECIMIENTO:

El autor agradece sinceramente señores Eliécer Madrigal, Carlos Delgado, Hugo Martínez, Marvin Alpizar, Sylvia Marín, Otoniel Fernández, Rafael Ramírez, Ludmila Semionova, William Alfaro, Alexander Mora y Lisandro Hernández para colaborar en diferentes fases de la construcción e algunas mediciones.

BIBLIOGRAFIA- ALGUNOS ARTICULOS PUBLICADOS POR EL AUTOR:

1. Análisis de los datos sobre la Radiación solar para su aprovechamiento en Costa Rica. Presentado en el Seminario Sobre Energía en Centroamérica: Situación actual y Perspectivas, organizado por Confederación Universitarias Centroamericanas, Costa Rica, del 21 al 25 de Noviembre de 1983. Publicado en la memoria, pp. 1-16.
2. Calentadores Solares de Agua- Sistema Circulación Natural, Folleto popular- Teoría, Construcción y Experimentación, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992, pp. 33.
3. Calentador Solar de Agua- Sistema Integrado, Folleto Popular, Teoría, Construcción y Experimentación, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992, pp. 27.
4. Estudio Experimental y Teórico de un Horno Solar práctico en el clima de Costa Rica-II. UNICIENCIA, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, Vol.3, No.1 y 2, pp.49-58. 1986.
5. Libro-El Horno/Cocina Solar, Hagalo Usted Mismo, Construcción, Funcionamiento y Las Recetas. Pagina 100, Editorial FUNDACION UNA- Heredia, Costa Rica, 1993, 2004.
6. Solar Cookers-Cheap technology with high ecological benefits, presentado en 3rd International Conference' Down to Earth- Practical Applications of Ecological Economics', organizado en Costa Rica, del 24 al 28 de Octubre de 1994. Publicado en Ecological Economics, 17, pp. 73-81, 1996.
7. Teaching concepts of Physics, I- Applied to Solar Cookers, presentado en VII International Symposium on Renewable Energy Education, Oslo, Noruega, del 15 al 18 de Junio del 2000. Publicado en CD Rom.
8. My twenty five of years of experience with solar cooking in Costa Rica- Satisfactions and Frustrations, presentado en Conferencia mundial "ISES 2005 Solar World Congress", Orlando, EUA, 6-12 de Septiembre del 2005, publicado en la memoria.
9. Destiladores Solares, Folleto popular sobre Teoría, Construcción y Funcionamiento, pp. 31. Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992.
10. Estudio preliminar de tres modelos de Destiladores para producir sal y agua potable. Con Sylvia Marin, UNICIENCIA, Universidad Nacional, Costa Rica, Vol.3, No.1/2, pp. 59-69. 1986.

11. La Conversión de Energía Solar en Energía Eléctrica para Aplicaciones en Zonas Rurales. Presentado en XIII Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural (CLER), del 15 al 19 de Abril de 1991. Publicado en la memoria Volumen, III, No. VIII, pp.1-19, 1991.

12. Uses of Solar Energy in National Parks and Islands of Costa Rica, Island Solar Summit, Tenerife Island, España, 6-8 de May del 1999, Memoria, pp. 143- 148.

13. Celebration of Sun Day for promoting Solar Energy. Sun World, (Pergamon Press), U.S.A., Vol.10, No.3, pp.67-68, 1986.

ArtESolarCientec06.doc