

# LA ENERGIA SOLAR Y SU APROVECHAMIENTO EN COLOMBIA

Capitán de Corbeta

RUBEN COMBARIZA SEGURA

## I — INTRODUCCION.

En la era actual los combustibles fósiles no renovables, por causa de la máxima utilización, tienden a desaparecer, y los costos de su explotación, procesamiento, distribución y consumo, han llegado a convertirse en factores determinantes en la economía de las Naciones; se han transformado en vectores de presión política y dependencia internacional debido a la desigual distribución de la riqueza energética (y en especial de los hidrocarburos) en el mundo; ésta situación ha promovido una desenfrenada carrera en los precios y una explosión en labores de búsqueda y explotación, tanto en las zonas continentales como en las plataformas marinas. La era de los combustibles baratos terminó y por lo tanto la humanidad se ha visto compelida a buscar fuentes alternas de energía para satisfacer sus necesidades, a pensar en el desarrollo de nuevas tecnologías y a estudiar el aprovechamiento de fuentes energéticas no convencionales, tales como la energía solar, de biogás, mareomotriz, eólica, etc.

Colombia ha entrado en la búsqueda de soluciones a los problemas energéticos de las regiones más apartadas y menos favorecidas en este aspecto.

En 1965 se inició en el país la investigación en energía solar, mediante el convenio UNESCO - UIS que despertó un gran interés en diferentes centros de estudio, y le dio a este tipo de energía una importancia social por la posibilidad de satisfacer necesidades primarias del colombiano y de paso buscar economías en el consumo eléctrico. La aplicación de fuentes no convencionales de energía y entre ellas la de energía solar, es pues, un campo que puede producir beneficios a corto plazo en la economía del país, en la racionalización del uso de la electricidad, y en el control de la contaminación ambiental, teniendo en cuenta que el territorio nacional goza de buena radiación durante la mayor parte del año.

## CAPITULO I

### LA ENERGIA SOLAR

¿Qué es la energía solar? Es la energía proveniente del sol, y que se recibe en la tierra en forma de radiación. La radiación solar se esparce en todas direcciones desde el sol y es interceptada por la esfera terrestre en el recorrido de su órbita celeste. El sol emite su radiación a una temperatura aproximada de 5800°k y la temperatura se mide por la velocidad con que se mueven los átomos y moléculas que constituyen la energía radiada.

Una de las teorías más aceptadas sobre la fuente de radiación solar es la que se conoce como "Reacción Protón-Protón".

En el núcleo solar, a una temperatura de 10 millones de grados kelvin y a la densidad de aproximadamente 100 gr/cm<sup>3</sup> se efectúa el proceso de conversión de hidrógeno en helio (el hidrógeno es el elemento más abundante del universo y se encuentra en el sol en proporción elevada). Este proceso consta de cuatro etapas de transmutación prácticamente instantáneas y dos más de descomposiciones radioactivas diferidas. Durante el ciclo desaparecen cuatro protones de hidrógeno y se forma un núcleo de helio. La masa combinada de los cuatro protones de hidrógeno es ligeramente mayor que la masa resultante del núcleo de helio y la pequeña diferencia de masas se transforma en energía, de acuerdo con la ecuación de Einstein= $mc^2$ :

Siendo la velocidad de la luz ( $c$ ) muy grande, la pequeña diferencia de masas ( $m$ ) se convierte en una tremenda cantidad de energía.

De ésta cantidad de energía, la porción interceptada por la tierra varía entre un número de 1.300 a un máximo de 1.400 watt/m<sup>2</sup> — min. Este número se denomina "constante solar". No toda la radiación representada por la constante solar llega a la superficie terrestre iluminada en igual proporción, sino que la cantidad exacta depende del día y mes del año, de la latitud, la hora del día, la inclinación de la superficie que recibe la radiación y las condiciones climatológicas y atmosféricas.

El 44% de la energía emitida por el sol está comprendida en el rango visible, con longitud de onda de 0.35 a 0.7m y el resto corresponde principalmente al sector infrarrojo del espectro, en magnitud de onda superior a 0.7m.

La energía solar es prácticamente el origen de casi todas las fuentes de energía; el sol es una estrella amarilla de espectro "G" y se calcula que se formó hace unos cinco mil millones de años, pero que en términos estelares ni siquiera ha alcanzado su madurez, por lo cual, para nosotros y muchas generaciones venideras, es una inagotable fuente de energía barata y limpia.

## CAPITULO II

### COLOMBIA Y LA RADIACION SOLAR

Como país enclavado en la zona tórrida y gracias a su localización geográfica cercana al Ecuador, recibe la benéfica influencia de la radiación solar; gracias al interés despertado desde 1965 por el convenio UNESCO — UIS, se cuenta con estudios importantes sobre el aprovechamiento de energía solar. Dentro de las formas de utilización estudiadas y en ejecución se destacan: calentamiento de agua para uso doméstico e industrial, destilación de agua salada o con impurezas, refrigeración y calefacción de espacios habitables, bombeo de agua, generación foto-voltaica de energía eléctrica, secado de productos agrícolas, deshidratación de carnes, cocción de alimentos, arquitectura, radio-telefonía rural, señalización marítima, climatización de invernaderos, principalmente.

Para el aprovechamiento de la radiación solar en el país, se debe tener en cuenta la elaboración del mapa de radiación para optimizar la eficiencia de los variados sistemas solares; en la figura N° 1 se presenta el mapa preliminar sobre la intensidad de brillo solar en Colombia, preparado en marzo de 1978 (1), del cual se puede visualizar que las regiones más beneficiadas por la radiación solar, están en la zona Nororiental del país, con más de 7 horas por día.

Para aprovechar toda esa radiación en el país, se han considerado principalmente dos campos de aplicación: helioeléctrica y heliotérmica.

En la helioeléctrica, la energía radiante se transforma directamente en electricidad que puede ser almacenada en acumuladores para proveer fuentes de poder continuo de bajo o alto potencial, dependiendo del sistema utilizado y de la eficiencia de los colectores.

En la heliotérmica, la energía del sol es convertida en energía calórica que puede ser almacenada usando como colector el agua u otro líquido. Aunque la energía solar es de gran flujo energético, es de bajo potencial térmico, por lo cual se requieren equipos diseñados para aprovechar la radiación directa y la difusa, y con un excelente control de la transferencia del calor acumulado.

La mayoría de los estudios investigativos han sido realizados a nivel de centros de educación superior y laboratorios especializados, generalmente con dificultad debido a la carencia de recursos suficientes y de alicientes para los investigadores, sin la suficiente divulgación, sin políticas claras de utilización en la solución real de problemas energéticos tanto urbanos como rurales, por lo cual es conveniente adoptar programas que promuevan la aplicación de la tecnología a las necesidades autóctonas en los sectores que signifiquen más aporte al bienestar y al ahorro energético.

---

(1) ROMERO, Mario Ernesto. "Mapa de intensidad de brillo solar sobre el territorio colombiano". Bogotá, 1978. 13 p.

MAPA PRELIMINAR SOBRE LA INTENSIDAD DE BRILLO  
SOLAR EN COLOMBIA

(Preparó la UNIDAD DER marzo 1978)

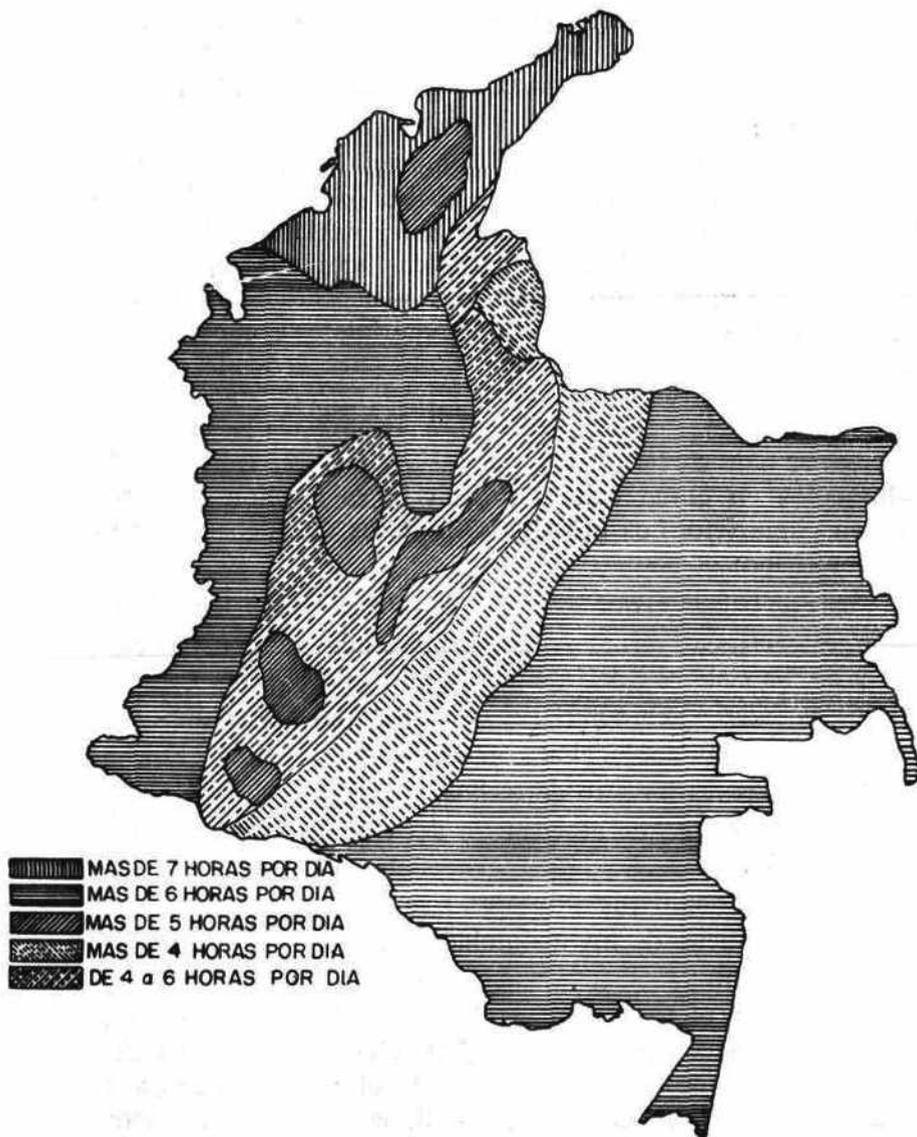


Figura N° 1

## CAPITULO III

### ACTIVIDADES QUE APROVECHAN LA ENERGIA SOLAR

Haciendo un corto recuerdo de la labor desarrollada y conocida hasta el momento en el país, se puede establecer el estado del arte en las principales actividades relacionadas con el aprovechamiento helioenergético en orden alfabético:

#### *Arquitectura:*

Desde 1978 se ha incluido en los perfiles académicos de los arquitectos de algunas universidades (pionera la Universidad Nacional) la materia "Energía Solar en la Arquitectura", que ha conducido al diseño de viviendas equipadas para sacar ventajas de la radiación solar, tanto en el aspecto helioeléctrico, como heliotérmico, al empleo de materiales de construcción típicos y de procedencia regional, tanto para vivienda convencional como para vivienda modular prefabricada, teniendo en cuenta las características climatológicas reinantes en cada sector. En el país se hace mayor énfasis en la refrigeración de habitáculos en clima cálido que en la calefacción de espacios en clima frío. Los principales factores que deben tenerse en cuenta son:

- a) Características arquitectónicas para diseño y orientación.
- b) Características térmicas de los materiales de construcción y de los sistemas de intercambio de calor.
- c) Propiedades y características de materiales aislantes.
- d) Número, tamaño, localización de ventanas.
- e) Altura y revestimiento de techos.
- f) Tiempo máximo de almacenaje del calor y niveles de acumulación.
- g) Condiciones climáticas locales.
- h) Características de los acumuladores.

Como ejemplo de la aplicación de estas nuevas técnicas, se puede tener el barrio Nueva Villa de Aburrá en Medellín, con trescientos ochenta y cuatro (384) viviendas, con módulos habitacionales que emplean la energía solar para calefacción, calentamiento de agua (figura N° 2), generación de electricidad, etc.

RADIACION SOLAR



COLECTOR

SALIDA DE  
AGUA CALIENTE

VALVULA

ENTRADA DE  
AGUA FRIA

TUBERIA

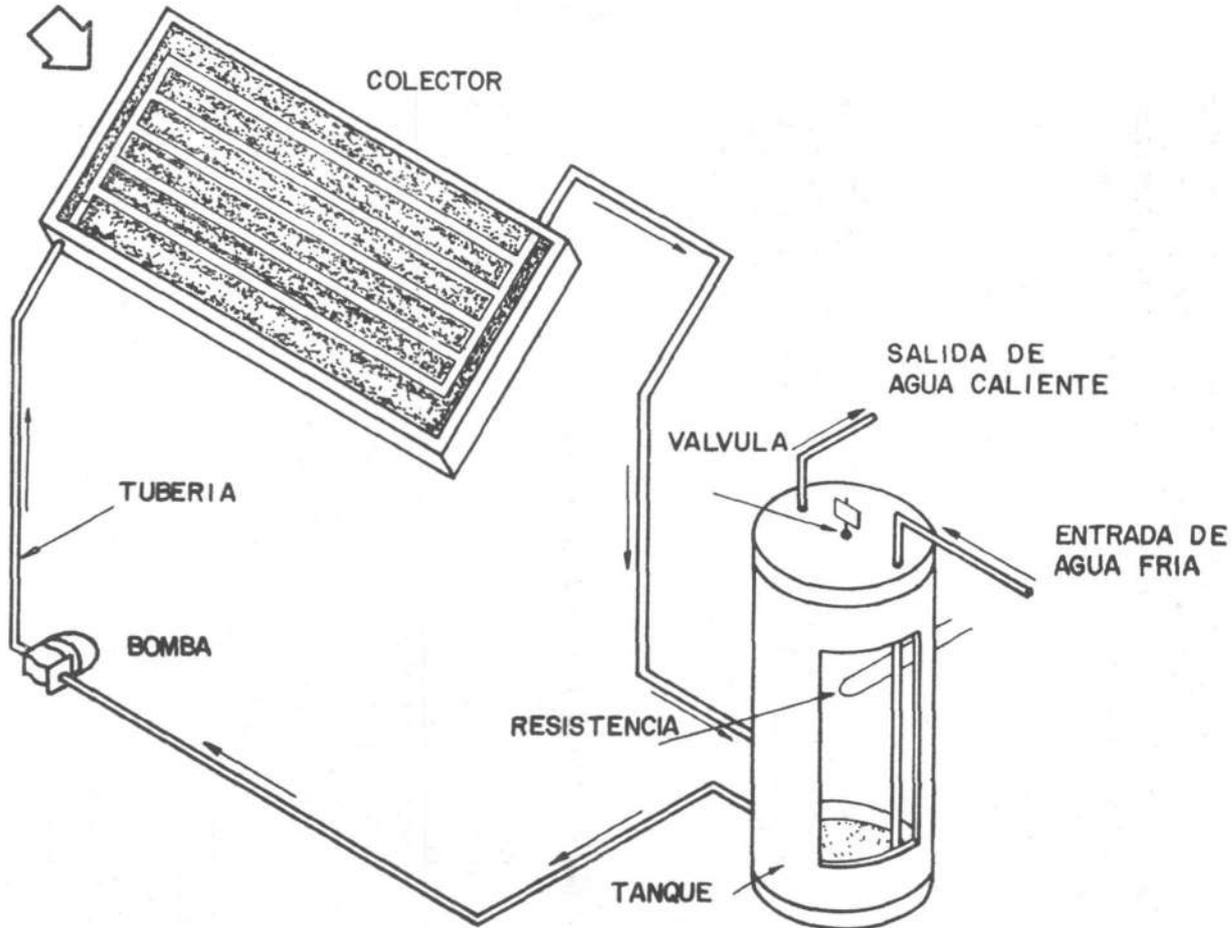
RESISTENCIA

BOMBA

TANQUE

Calentador solar con circulación forzada

Figura N° 2



### *Bombeo de agua:*

En el momento actual en varias granjas agrícolas están instalados sistemas de bombeo hacia reservorios elevados y de distribución de aguas de riego, mediante sistemas de generación foto-voltaico que proporcionan energía a bombas eléctricas con ciclo de funcionamiento programado.

Se racionaliza así el uso del agua y se mantienen niveles de humedad específicos para los diferentes cultivos.

### *Calefacción / Calentamiento:*

De espacios habitacionales y de almacenamiento, utilizando intercambiadores de calor que operan bajo sistema helio-térmico con transferencia del calor acumulado mediante agua u otro líquido. En el campo experimental, la "Granja Providencia", por ejemplo, ha utilizado colectores de fibra de vidrio para evitar el deterioro por oxidación de los colectores metálicos, sin reducir mucho el porcentaje de eficiencia.

### *Climatización de Invernaderos y Viveros:*

Debido al incremento de la exportación de flores y plantas ornamentales, se hizo necesario el control de temperaturas de áreas para el crecimiento de plántulas para trasplante; se optó por la climatización de invernaderos mediante técnicas sencillas de aprovechamiento directo de la radiación solar para mantener temperaturas ideales, con buen control de humedad relativa y una buena circulación de aire.

"El invernadero almacena el calor del sol, absorbiendo la radiación diurna; el suelo y las matas devuelven esta radiación durante la noche, de dos formas: por radiación directa hacia el cielo, atravesando el techo, los gases de la atmósfera que absorben radiación y el agua condensada en las nubes, la nieblina (SIC) o el mismo techo de plástico que también absorbe radiación infrarroja" (1).

---

(1) Devis Echandía, Enrique, "Control de temperatura y humedad relativa en invernaderos y cuartos fríos para flores y productos vegetales en la Sabana de Bogotá", Bogotá, ICEL, 1979, 20 p.

### *Cocción de alimentos:*

El gobierno nacional apoyó en 1981 la construcción a gran escala de "estufas solares" para preparación de alimentos (Figura N° 3). Se trata de elementos simples, constituidos por una antena parabólica que concentra los rayos luminosos en un foco (en donde se sitúa la hornilla) y mediante transferencia directa de energía heliotérmica, se aprovecha este tipo de energía.

### *Deshidratación y secado:*

La deshidratación y secado para producción de alimentos en polvo y secos, utilizando tanto heliotermia como aprovechamiento de electricidad de origen foto-voltaico, se está usando en la industria nacional especializada en ese tipo de producción. Es un sistema incipiente y aprovechado por pocas industrias, en conjunto con otros sistemas de energía no convencionales, como la producción de biogás, pero tiene un futuro prometedor.

### *Destilación:*

Se ha usado la energía solar en desalinización y purificación de aguas para satisfacer las necesidades de asentamientos humanos pequeños: por ejemplo, en el centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional, se desarrolló un prototipo de destilador solar para proveer agua a una parte de la población de Galerazamba (Bolívar), con mira a utilizar en la satisfacción de necesidades de agua de personal de comunidades humanas pequeñas y guarniciones militares en los cayos del archipiélago de San Andrés y otros puestos destacados.

### *Generación foto-voltaico:*

El efecto foto-voltaico permite convertir energía solar en electricidad acumulable, y es proceso de eficiencia relativamente alta; requiere una reposición de equipo casi nula y su mantenimiento es sencillo, aunque en el momento su costo es relativamente alto en la inversión inicial.

Las foto-celdas, parte vital del sistema, presentan eficiencias que oscilan del 3 al 25 por ciento, dependiendo del material

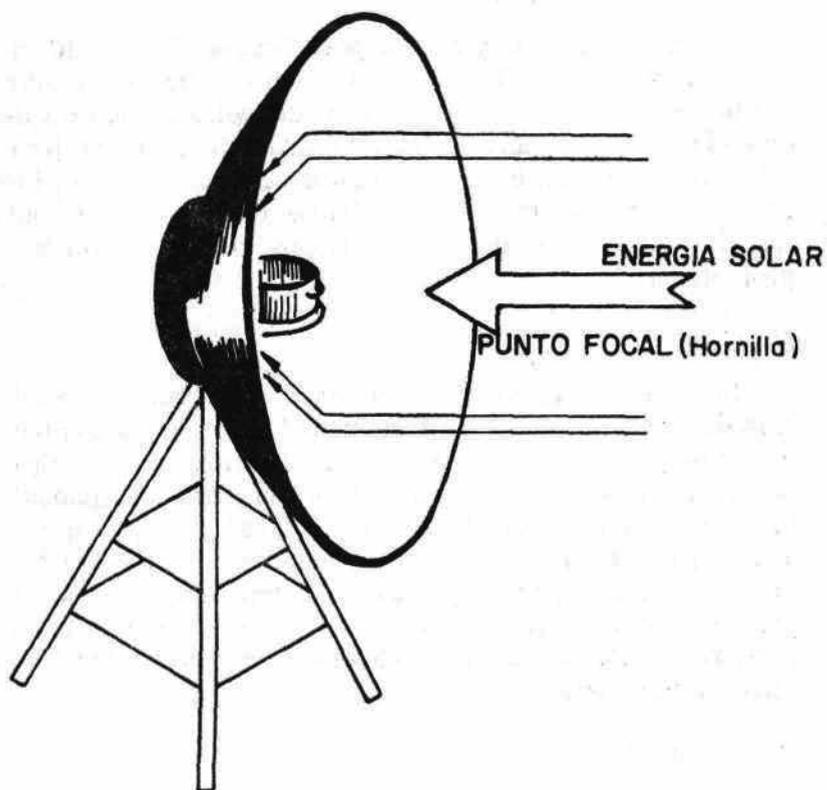


Figura N° 3

Energía solar en la estufa solar

usado en su fabricación, la temperatura de operación, duración del libro solar, etc.

Se usan en unidades que producen desde milivatios a pequeños voltajes, hasta potencias eléctricas en cantidades ilimitadas a voltajes de miles de voltios.

Para formar una célula se necesita obtener silicio en estado de absoluta pureza. Se funde en un horno, se le agrega arsénico en pequeníssima cantidad y se convierte en lingotes; lo mismo se hace con más silicio al cual se le agrega boro; los lingotes se cortan en discos muy delgados, se juntan dos (uno de cada clase) y se galvaniza una pequeña sección en cada cara libre para soldarle una conexión. La cara con boro representa el polo positivo.

La celda más usada, y con tecnología más desarrollada es la fotocelda de silicio que en términos generales produce de 10 a 15 milivatios a voltajes cercanos a 0.65 voltios, con eficiencias que oscilan del 15 al 22% y cuyo funcionamiento es prácticamente similar al de un transistor.

La disposición de las celdas foto-voltaicas se hace en arreglos (paneles) planos (Fig. N° 4) o focales que alimentan acumuladores que dan su carga a otros sistemas diseñados para aprovechar esa electricidad, controlando su consumo, para que el tiempo de carga (colección de energía) compense los niveles de consumo.

La energía producida se origina como una corriente directa que pueda ser convertida en corriente alterna para su uso en sistemas que la necesiten.

Una de las limitantes de este sistema de generación es porque la energía producida está en relación directa con la superficie de las celdas y arreglos de celdas, y supone costos elevados por unidad energética producida.

En Colombia se cuenta con una capacidad instalada de 24.038 GWH para 1983, de los cuales alrededor del 45% se consume en los sectores residenciales comercial y hotelero, y de este porcentaje más del 30% se consume en calentamiento de agua, cocción y conservación de alimentos.

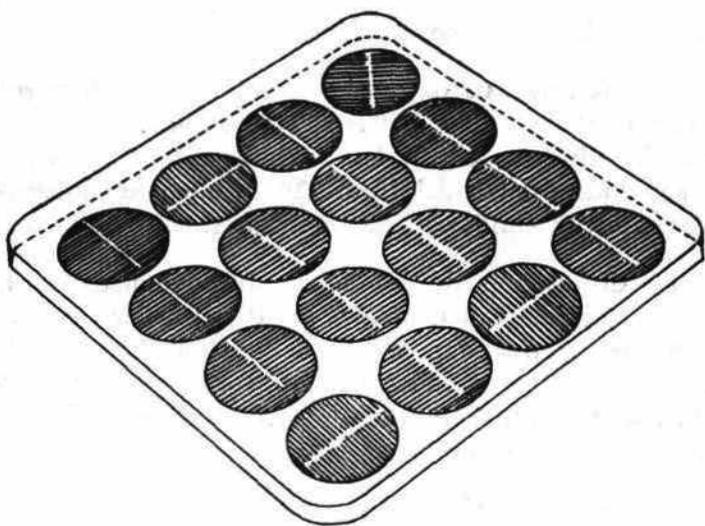


Figura N° 4

Panel Solar

Para Colombia en estos renglones del consumo se ha estimado para 1983, que se requieren 28.885 millones de megawatios-hora para suplir las necesidades residenciales, (8.935 millones de megawatios-hora), para el sector comercial y 2.614 millones de megawatios-hora para el hotelero(\*).

Si estas necesidades pudieran ser satisfechas con sistemas de generación foto-voltaicos, casi podría doblarse la potencia eléctrica aprovechable para la industria; sabemos además que el 10% de la electricidad es generada térmicamente con derivados del petróleo, porcentaje que podría ser reemplazado por la electricidad consumida en asuntos domésticos cuando sea sustituida para el mismo sector por método foto-voltaico; se podría así ayudar a cumplir el objetivo de ahorrar un porcentaje significativo de fuentes de energía fósiles no renovables.

#### *Radio-Telefonía Rural:*

Telecom tiene en ejecución la instalación de 2.500 cabinas radiotelefónicas, distribuidas en todo el territorio nacional, en áreas rurales de difícil acceso, cuya energía eléctrica se origina en sistemas foto-voltaicos que alimentan acumuladores que a su vez entregan la energía para los radioteléfonos. Son sistemas de eficiencia relativamente alta, concebidos para prestar un buen servicio a usuarios de zonas apartadas, por lo cual son sencillos, de fácil manejo, de mantenimiento simple.

#### *Señalización Marítima:*

Con el propósito de reducir los costos de operación y mantenimiento de las ayudas a la navegación y de operación de los buques que efectuaban esa labor, la Dirección General Marítima y Portuaria tiene en ejecución un plan para cambiar el antiguo sistema de quemadores de acetileno, por el de lámparas alimentadas por corriente directa obtenida a través de celdas foto-voltaicas en arreglos de paneles, calculados para garantizar el funcionamiento automático de las ayudas aún en condiciones de baja visibilidad, por razones obvias

---

(\*) Datos tomados del documento "Bases para un Plan energético nacional" del Ministerio de Minas y Energía, Bogotá, octubre de 1977.

# SEÑALIZACION MARITIMA

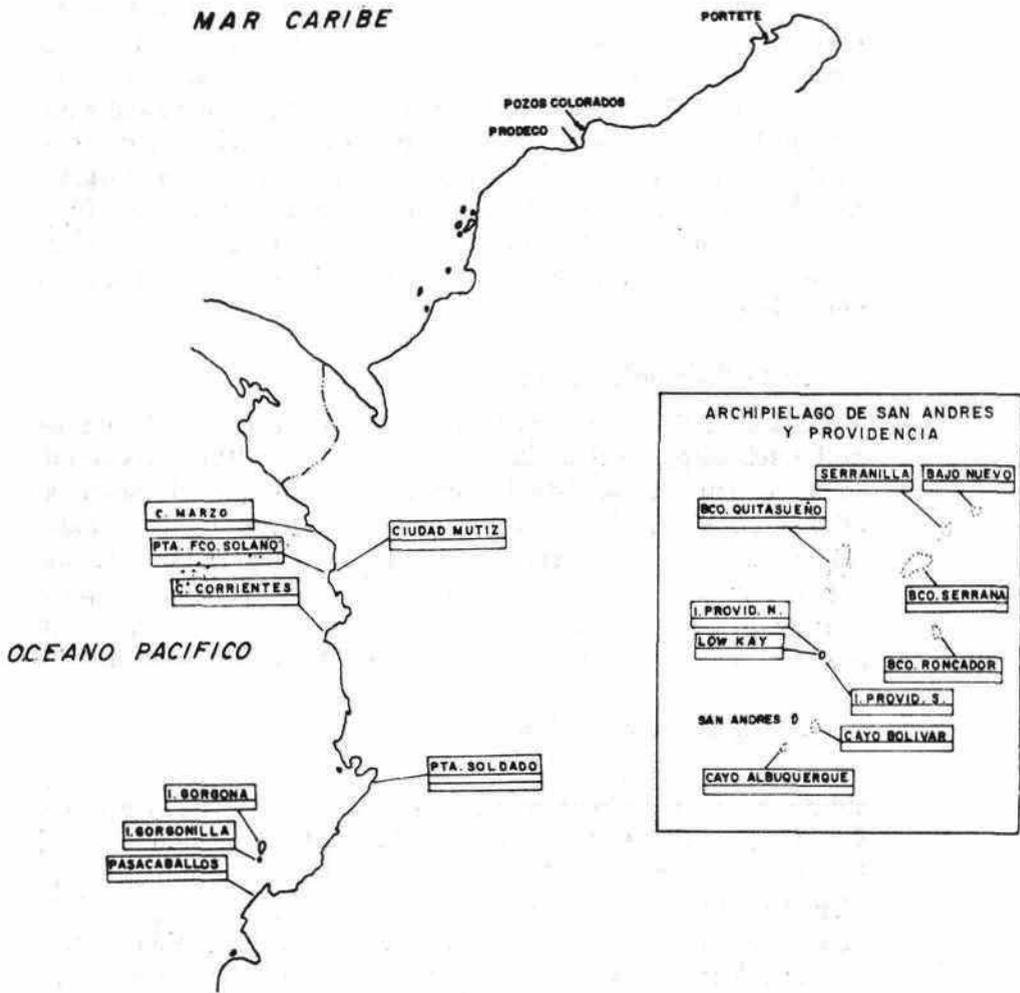


Figura N° 5

Faros alimentados por energía solar

de seguridad en la navegación y de seguridad de la vida humana en el mar.

Se cambiaron 10 faros de los cayos del archipiélago de San Andrés y Providencia en 1982, se instaló una boya de mar de recalada en Buenaventura y están en proceso de instalación 8 faros automáticos con energía solar para el litoral pacífico colombiano (Figura N° 5). Otras entidades oficiales, semi-oficiales y privadas relacionadas con aspectos portuarios y del sector marítimo, han seleccionado los sistemas de ayudas a la navegación con energía solar para sus puertos y muelles:; Puerto Colombia, Ecopetrol, Intercor, Prodeco, entre otros, para los puertos de Barranquilla, Pozos Colorados, Portete (proyecto carbonífero del Cerrejón), muelle carbonífero de Prodeco en Santa Marta, etc.

*Otros campos:*

En otros campos, tales como el de juguetería, calculadoras, radio-transmisores portátiles, etc., se usan las células foto-voltaicas, pero son actividades basadas primordialmente en la importación del equipo listo para uso, por lo cual se consideran actividades colaterales y no significativas para la disciplina intelectual en sí.

## R E S U M E N

En Colombia la actividad para el aprovechamiento de la energía solar es incipiente, y aunque el hombre desde tiempos inmemoriales ha usado la energía solar para solucionar algunas de sus necesidades básicas, sería ideal iniciar una campaña de educación y divulgación a todos los niveles, para captar el interés de sectores que son potenciales consumidores de energía solar en múltiples aplicaciones; romper la natural resistencia causada por los costos iniciales de los equipos y sistemas, por la carencia de tecnologías para producir todos los componentes en el país y para mejorar el ensamblaje de los sistemas, o aún de preparar el recurso humano para una actividad que, sin lugar a dudas, puede ser benéfica para los colombianos y de influencia notoria en la solución del problema energético, debe ser labor prioritaria si deseamos tener un rendimiento adecuado de las energías no convencionales, puesto que no estamos en condiciones de desperdiciarlas o dejarlas pasar inadvertidas.

## BIBLIOGRAFIA

- BARRANTE, CARLOS. Programa nacional para la utilización de la Energía Solar, Simposio sobre energía solar y sus aplicaciones en Colombia, Bucaramanga, UIS, 1978, 21 p.
- BELTRAN, RAFAEL. Factores de radiación solar latitudes 0° a 15° Norte, Bogotá, Universidad de los Andes, 1978, 29 p.
- CHAI, AN—TI, Back Surface reflectors for cells, Ohio, NASA, 1980, 8 p.
- DEVIS, ENRIQUE. Control de temperatura y humedad relativa en invernaderos y cuartos fríos para flores y productos vegetales en la Sabana de Bogotá, ICEL, 1979, 20 p.
- DIEROLF, CARLOS. Evaluación experimental de un destilador solar, Bogotá, Universidad del Valle, 1978, 22 p.
- ESPINOSA, CARLOS. Diseño de un sistema helioeléctrico, Antofagasta, Chile S. C. 1978, 75 p.
- FERNANDEZ, OSCAR y otros. Refrigeración Solar — Congreso Nacional de Ingeniería Eléctrica, Mecánica y ramas afines, Bogotá, ACIEM, 1979, 8 p.
- FOSTER, ARTHUR. Estimación del rendimiento de sistemas solares de circuito cerrado. Bogotá, ACIEM, 1979, 34 p.
- GARAVITO, CLEMENTE. La energía solar y el Instituto de Asuntos Nucleares, Bogotá, I A N, 26 p.
- GONZALEZ, FABIO y RODRIGUEZ, HUMBERTO. Análisis de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico, Bogotá, Universidad Nacional, 1979, 27 p.
- HELD, THOMAS. Energía Solar y no Convencional y su función social Bogotá, SOCES, 1980, 9 p.
- LOF, GEORGE O. G. y WARD, DAN S. Desing construction and Testing of residential solar heating and cooling system, Washington, Energy Research and Development Administration, 1976, 107 p.

- MEJIA, MILLAN y PERRY LTDA. Estudio Nacional de Energía, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Minas y Energía, Impresora Gráfica, Bogotá, 1982, 663 p.
- OLARTE, LUIS ALBERTO. Producción de electricidad, Bogotá, Universidad Nacional, 1978, 25 p.
- PINZON, HERNANDO. Arquitectura solar, Bogotá, Universidad Nacional, 1978, 20 p.
- PROCIENCIA, REVISTA PROCIENCIA. Volumen 5, número 2, Energía Solar, Asociación Colombiana para el avance de la ciencia, Bogotá, 1982, 19 p.
- SANCHEZ, GUILLERMO. Almacenamiento de energía solar en forma de calor sensible, Bogotá, Universidad Nacional, 1978, 19 p.
- SERNA, RAUL y RODRIGUEZ, GUILLERMO. La Energía solar como complemento de la energía eléctrica en el ámbito nacional, Bogotá, ICEL, 1978, 24 p.
- SIMPOSIO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES EN COLOMBIA. 1º, Bogotá, 1978, Colombia se prepara para ingresar a la era de la energía solar. Bogotá, S. C. 1978, 4 p.
- TELECOM. Energía Solar en telefonía rural, Bogotá, Telecom, 1980, 7 p.