

La energía solar como fuente alterna de alto potencial de uso

*Anselmo Valdizón Evangelista**

Resumen

El costo creciente de la energía es una realidad que se ha hecho evidente de manera impactante, especialmente cuando la energía la obtenemos de plantas termoeléctricas, combustibles fósiles o peor aún cuando está involucrada la combustión de leña que representa una de las más grandes acciones depredadoras contra el ya muy deteriorado ecosistema. Por tal razón es de vital importancia dedicar recursos a la investigación y desarrollo tecnológico local sobre fuentes alternas de energía, especialmente las que no sean contaminantes del medio ambiente.

El presente trabajo tiene como objetivos específicos la presentación de ideas básicas sobre el aprovechamiento de la energía solar en dos grandes rubros: a) Generación de energía eléctrica mediante microcentrales solares; b) Aplicaciones domésticas e industriales de la energía solar basadas en calor. Sin embargo el objetivo más importante es promover el interés en la investigación y el desarrollo de tecnología que permita la explotación de la inagotable fuente de energía: el sol.

1. Introducción

La tecnología actual permite utilizar la energía solar en las dos maneras siguientes: a) Conversión de la energía fotónica en electricidad mediante colectores fotovoltaicos y b) Conversión de la radiación solar en calor mediante colectores termosolares.

Dado que el objetivo principal de este artículo es promover la investigación y el desarrollo de tecnología local para el uso de la energía solar se presentarán con tal propósito algunas ideas básicas sobre aplicaciones basadas en el calor, involucrando consecuentemente a los colectores solares como uno de los elementos que demanda nuestra atención.

Por tal razón, este artículo expone conceptos generales en la primera parte. En la segunda se hace una propuesta para la construcción de colectores concentradores con espejos elementales planos. En la tercera parte se presentan algunas ideas para el uso de la energía solar mediante colectores concentradores. Al final se exponen algunas conclusiones.

El aporte modesto que se pretende dar consiste básicamente en una propuesta para la construcción de un colector concentrador ejecutado con espejos elementales planos en sustitución de los espejos parabólicos. También se exponen algunas alternativas de utilización para el calor captado por concentradores solares, tanto para la generación de electricidad como en aplicaciones domésticas e industriales. No se trata de descubrimientos espectaculares, sino mas bien de plantear la conveniencia de adaptar la tecnología disponible en

países avanzados para la solución de nuestras necesidades energéticas mediante la actividad de investigación y desarrollo tecnológico congruente con nuestra realidad.

2. Conceptos Generales

El incremento del costo de la energía, en sus diversas formas, eléctrica o en combustibles, hace necesario realizar dos acciones emergentes:

- a) Optimizar la racionalización del uso de la energía.
- b) Utilizar fuentes alternas de energía de menor costo.

La realización de las dos acciones anteriores plantea los siguientes desafíos:

- a) Reeducación del consumidor de energía orientado al ahorro.
- b) Uso de tecnología de punta para ahorro energético.
- c) Investigación científica y desarrollo tecnológico en el uso de fuentes alternas de energía.

Cada uno de los literales anteriores involucra un amplio espectro de alternativas, disciplinas y posibilidades; no obstante la última de ellas es la clave aplicada por las naciones que han llegado a ser la vanguardia del desarrollo.

Varios son los factores que han contribuido a ello, siendo uno de ellos el haber estado dispuestos a pagar el precio: el costo que involucra la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

Por supuesto que la investigación científica y el desarrollo tecnológico no bastan por si mismos, pues hay otros factores que deben concurrir para que una

* *Ingeniero electromecánico, docente a tiempo completo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UDB.*

nación pueda ingresar al grupo de las consideradas como desarrolladas; sin embargo, una discusión al respecto merece todo un documento aparte.

Por el momento, enfocaremos nuestra atención a una de las fuentes alternativas de energía: la solar.

Las formas de energía que predominantemente se aprovecha del sol es la luz y el calor. La energía luminosa se transforma en energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

El calor obtenido de la radiación solar puede ser captado mediante colectores solares de varios tipos, para usarse en aplicaciones muy diversas. Al respecto es muy importante visualizar el campo de aplicación del calor solar como fuente de energía, ya que ésta se puede utilizar no solamente para la generación de energía eléctrica sino que puede satisfacer la demanda de energía en aplicaciones basadas en el calor¹.

Esta consideración es de crucial importancia puesto que casi la totalidad de las aplicaciones basadas en calor demandan energía ya sea eléctrica o de algún tipo de combustible, los cuales al substituirlos por energía solar, se estaría ahorrando el costo de su consumo. Por supuesto que hay aplicaciones en las cuales requerimos el uso de la energía eléctrica y en tal caso sería oportuno pensar en paneles fotovoltaicos².

El hecho que la tecnología actualmente no ofrezca alta eficiencia en el proceso de conversión de energía calórica a eléctrica, no invalida la potencialidad de la actividad de investigación en este campo, pues ésto permitiría el desarrollo de tecnología en infinidad de aplicaciones basadas en el calor, que a fin de cuentas muchas de ellas substituyen el uso de electricidad.

Con esta amplitud de visión, el presente trabajo propone el desarrollo de prototipos para la generación de vapor de agua a alta temperatura y/o presión con la posibilidad de su utilización en un amplio campo de aplicaciones, en la que la generación de energía eléctrica es no más que una de tantas.

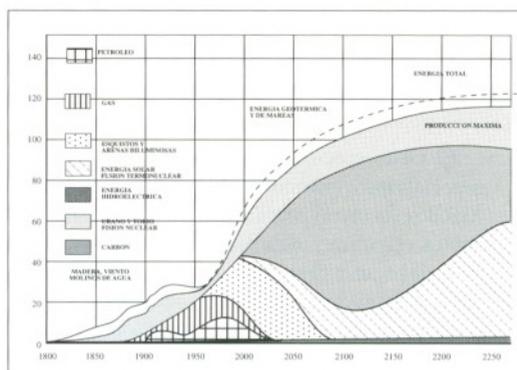
Es interesante analizar la tendencia que ha tenido, desde 1800 y la proyección hacia después del año 2000, el uso de las diferentes fuentes de energía a nivel global. En la Fig. 1³ puede verse que el petróleo y el gas tienden a desaparecer a mediano plazo, (50 años), entretanto que la energía nuclear y la solar tienden a aumentar durante los siglos venideros.

1 Quizás sea la aplicación de menor eficiencia debido a la tecnología disponible al presente.

2 Esperar que una alternativa sea una panacea es frecuente una autopía.

3 Estrategias energéticas alternativas.- Agencia Internacional de la Energía.- Instituto Stanford.

Pasado, presente y futuro de la energía



El gráfico representa la evolución desde 1800 hasta hoy de la estructura del consumo energético.

Además se proyectan las curvas correspondientes para recoger la opinión de los expertos sobre la evolución de este fenómeno.

Fig. 1 Tomada de Palomero et al (1980:61)

Aunque se prevé un auge en el uso de la energía nuclear, ésta tiene la desventaja de los desechos altamente letales, no así la energía solar, la cual es totalmente limpia desde el punto de vista ecológico. Además es una fuente energética a nuestro alcance y nos es factible dedicarnos a la investigación y desarrollo de esta tecnología aún con nuestros recursos limitados. Por otro lado, los pioneros en este campo tendrán mayor probabilidad de explotar comercialmente el sin número de aplicaciones que podrían derivarse del desarrollo de la tecnología solar.

Para aprovechar la energía solar es necesario desarrollar la tecnología de captación de ésta; por lo tanto, dependiendo del tipo de aplicación, se puede considerar el uso de diversas clases de captadores llamados colectores solares.

Si la aplicación requiere temperaturas de operación hasta de 100° C, son útiles los colectores planos. Estos colectores tienen la ventaja de absorber no solamente la radiación directa proveniente del sol, sino también la radiación difusa presente en el ambiente que rodea al colector. La desventaja de estos colectores radica en que no pueden generar vapor en forma útil a temperaturas por sobre los 100° C. En la Fig. 2, se muestra una construcción básica para un colector solar plano.

En este colector, la radiación solar atraviesa la placa de vidrio y al incidir en la placa de aluminio se convierte en calor, el cual es transferido al fluido de trabajo que circula por la tubería. La placa de vidrio, además de dejar pasar la radiación solar al interior del colector, impide el paso de la radiación infrarroja de gran longitud de onda proveniente de la placa de aluminio, produciéndose el efecto de invernadero. En la Fig. 3, se muestra el comportamiento de la transmisión de la radiación solar a través del vidrio

común. Puede verse claramente un rechazo para radiación de longitudes de onda mayores de 4.6 μ metros. Algunos vidrios especiales podrían acentuar el efecto invernadero, pero el costo involucrado en su adquisición es mayor que el vidrio común.

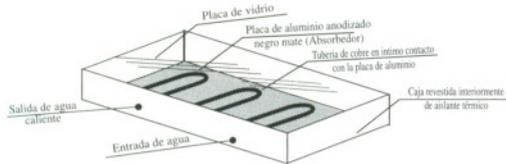


Fig. 2. Colector solar plano

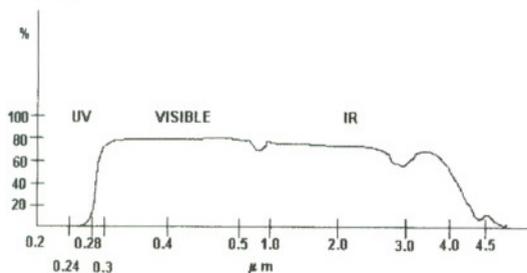


Fig. 3. Transmisión a través del vidrio común

Para aplicaciones en las que se requiera una temperatura de operación mayor que 100° C se utilizan los colectores concentradores. En la Fig. 4, se muestra el concepto básico de un colector concentrador. La sección plana perpendicular al eje de la parábola y delimitada por el tamaño de ésta, constituye el área útil de irradiación. La energía que atraviesa dicha área es reflejada y concentrada por el espejo parabólico rectangular a lo largo de la longitud del espejo que coincide con el punto (la línea en este caso) focal. De esta manera pueden conseguirse factores de concentración muy altos.

El factor de concentración se define como:

$$F.C. = \frac{\text{Área de apertura del espejo parabólico}}{\text{Área del haz concentrado}}$$

Desde el punto de vista teórico, este arreglo es simple, sin embargo desde el punto de vista de la construcción del espejo, esto resulta difícil por las razones siguientes:

- 1- Se requiere un material fácilmente conformable al perfil parabólico. Se usa generalmente lámina de aluminio con la cara útil altamente pulida y con tratamiento o recubrimiento especial para asegurar alta reflectividad.
- 2- La ejecución del perfil parabólico requiere de alta precisión en la conformación de la lámina.
- 3- Si el espejo es de grandes dimensiones, se tendrán efectos adversos sobre su estabilidad debido a la acción del viento.

Para superar estos inconvenientes, la idea básica del espejo parabólico rectangular habrá que modificarse, manteniendo sus propiedades concentradoras.

Otro punto medular en el colector concentrador lo constituye el elemento absorbente de la energía (técnicamente denominado absorbedor), el cual es el encargado de convertir la radiación solar en calor y de transferirla al medio de trabajo, por lo general agua, aunque no necesariamente.

Los problemas principales radican en seleccionar los materiales para conseguir alta absorción y bajas pérdidas de calor, tanto por radiación como por convección por el medio circundante y por conducción, especialmente por los elementos estructurales de soporte.

Naturalmente que esto plantea problemas adicionales como los de la conducción del vapor hacia un ducto común de descarga. También está involucrado el problema del aislamiento térmico para la red colectora de vapor.

3. Propuesta para la construcción de un colector concentrador solar mediante espejos planos

- a) Concentrador. Está conceptualizado como un conjunto de espejos planos, montados sobre una base plana, cuadrada, de 4 metros de lado. Cada espejo elemental direcciona el haz reflejado sobre una franja de concentración coincidente con el elemento activo del absorbedor. El concentrador consta de 1600 espejos elementales de 50 * 2 cm. La base plana estará construida con perfiles rectangulares, (Tubos), de aluminio de 2 " X 1 ". La base estará a su vez montada sobre una estructura orientable helioestáticamente. Esta base pivotará en dos cojinetes, con ejes sujetos en una base de concreto o ladrillo.
- b) Absorbedor. Es el corazón del sistema de captura de energía solar. Consiste básicamente de un elemento metálico que absorbe el calor y lo transfiere a un fluido de trabajo que se hace circular por un sistema de tuberías. En este elemento se genera desde agua caliente hasta vapor a alta presión, dependiendo de los parámetros establecidos para el concentrador, absorbedor y caudal del fluido de trabajo, (agua por ejemplo). Este elemento presenta los mayores desafíos de investigación y desarrollo de prototipos, dependiendo del uso de la energía capturada.
- c) Sistema guía. Sistema automático de búsqueda y seguimiento óptimo de la posición

del sol; utilizable tanto en colectores térmicos como fotovoltaicos del tipo heliostático. Existe un amplio espectro de posibilidades a evaluar para conducir el desarrollo de tecnología heliostática. En la figura 5, se ilustra la idea básica del colector concentrador solar.

La idea básica de este concentrador ofrece las ventajas siguientes:

- 1- No es necesario ejecutar ninguna curvatura parabólica que exija alta precisión de trabajo.
- 2- No necesita materiales especiales, pues es realizable con espejos planos.
- 3- Cada unidad reflectora, (espejo), es fácilmente enfocable al punto focal.
- 4- Presenta baja resistencia al flujo de aire, por lo que los vientos ejercen poca fuerza desestabilizadora sobre el colector.
- 5- Puede construirse con materiales y tecnología disponibles.
- 6- Es fácilmente expandible para aumentar su factor de concentración.
- 7- Su mantenimiento es fácil y económico.

4. Algunas aplicaciones de los colectores concentradores para el uso de la energía solar

El objetivo es obtener vapor de agua a alta temperatura y presión. Los datos de partida son:

- 1- Insolación promedio por día en El Salvador: 400 L. (Valor con criterio conservador).
- 2- $1L = 1 \text{ Langley} = 1 \text{ Cal} \cdot \text{gr} / \text{cm}^2 = 10 \text{ Kcal} \cdot \text{gr} / \text{m}^2$
 $1 \text{ Kcal} = 4.1868 \text{ KJ} = 4186.8 \text{ J}$
 $400 \text{ L} = 400 \text{ Cal} \cdot \text{gr} / \text{cm}^2 = 4000 \text{ Kcal} \cdot \text{gr} / \text{m}^2$

En un día la energía recibida promedio es de 4 M Cal / m² y la potencia promedio es de 581.5 W / m² en 8 horas por día de insolación. El Cálculo es el siguiente:

$$P = E / t = (4 \text{ E } 6 \text{ Cal} / \text{m}^2) / 8 \cdot 3600 \text{ s} = 138.889 \text{ Cal} / \text{s} \cdot \text{m}^2$$

pero $1 \text{ Cal} = 4.1868 \text{ J}$, luego $P = (138.889 \text{ Cal}) (4.1868 \text{ J} / \text{Cal}) / \text{s} \cdot \text{m}^2$

$$P = 581.5 \text{ J s} \cdot \text{m}^2$$

Pero $1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s}$, por lo tanto: $P = 581.5 \text{ W} / \text{m}^2$

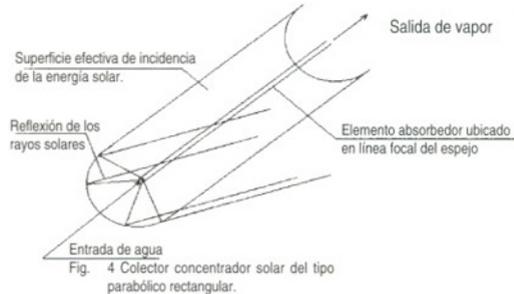
Como nuestro objetivo es generar vapor, podemos considerar el sistema mostrado en la figura 6.

La microcentral solar

Una de la aplicaciones de este tipo de colector es la generación de energía eléctrica mediante la

conversión de la energía térmica en energía mecánica y luego ésta en energía eléctrica.

El sistema de la Fig. 6 deberá complementarse con un sistema termoelectrico, tal como se muestra en la Fig. 7.



Tomando como referencia la Fig. 7, se puede deducir que para una potencia de salida del sistema de 100 KW, por ejemplo, se requiere de una potencia de entrada de:

$$P_{\text{entrada}} = 100 \text{ kW} / 0.054 = 1852 \text{ kW.}$$

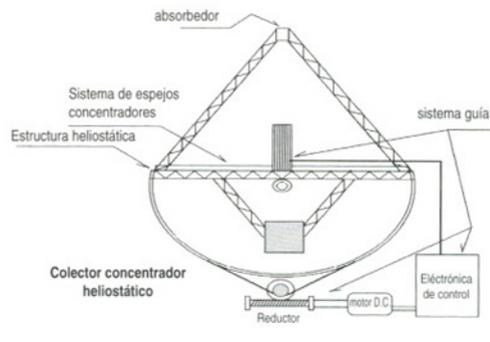


Figura 5.

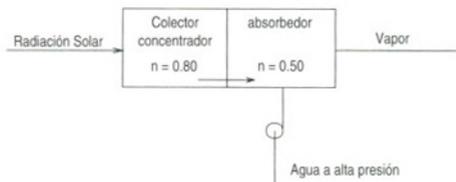


Fig. 6. Conjunto colector - absorbedor.

De acuerdo a los cálculos previamente realizados, la potencia promedio recibida por metro cuadrado se estima en 580 Watts por metro cuadrado, por lo tanto se requerirá de un área efectiva de incidencia de radiación solar de:

$$A = 1 \text{ 852 } 000 \text{ W} / (580 \text{ W} / \text{m}^2) = 3193 \text{ m}^2.$$

Si se utilizaran colectores de 16 m², (4 m por lado), entonces serían necesarios:

$N = 3193 \text{ m}^2 / 16 \text{ m}^2 / (\text{colector}) = 199.5 = 200$ colectores concentradores.

Esto requeriría un espacio abierto cuadrado de aproximadamente 70 m de lado, para incluir una holgura para maniobra y circulación.

Si consideramos el costo alarmantemente creciente de la energía eléctrica, una microcentral de generación de energía eléctrica, activada por energía solar podría ser fácilmente competitiva.

No obstante, tomando en cuenta que la energía solar está disponible solamente durante el día, si es soleado, adicionalmente el sistema deberá incluir alguna forma de almacenamiento de energía, si pretendemos depender en máximo grado de él.

Una forma de almacenamiento es mediante acumuladores eléctricos e inversores electromecánicos o electrónicos, sin embargo, esta alternativa es cara e ineficiente.

Otra forma de almacenamiento es por medio de energía potencial, al bombearse agua desde un nivel inferior a otro superior, con una diferencia de altura suficiente para manejar bastante energía con relativamente bajo caudal.

Dependiendo de la magnitud de la carga, este sistema podría funcionar en forma autónoma indefinidamente. En la Fig. 8, se esquematiza tal sistema. En este caso, la eficiencia del sistema es menor, pero tiene la ventaja que puede suministrar potencia durante la noche o días parcialmente nublados.

Como puede verse la conversión de energía solar en energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico es bastante ineficiente, aunque no por ello pueda ser competitivo a mediano y largo plazo. Pero por otro lado, si mediante la energía solar se puede generar vapor a una temperatura relativamente alta, (Cercano a los 300° éste puede utilizarse tanto para uso doméstico como industrial.



Fig. 7 Sistema de generación de energía eléctrica mediante energía solar y ciclo termodinámico.



Fig. 8 Estructura básica de una microcentral solar

Aplicaciones domésticas e industriales

Entre algunos de los usos domésticos podemos considerar:

- Cocina solar.
- Horno solar.
- Secadora de ropa solar
- Acondicionamiento de aire por absorción.
- Calentadores de agua

Para uso industrial, por ejemplo podemos citar:

- Sistemas de aire acondicionado de edificios, por absorción
- Hornos para panadería.
- Sistemas de lavado a vapor,(Dry Cleaning).
- Sistemas de pasteurización.
- Sistemas de pintura al horno.
- Hornos para secado de madera o industria textil.

Para esto habrá que desarrollar la tecnología correspondiente, sin embargo, es oportuno exponer algunas ideas en este sentido, como un aporte modesto a dicho desarrollo.

Ideas básicas sobre una cocina solar.

El alma de cualquier sistema basado en la transferencia de calor que sea activado mediante energía solar es el colector concentrador solar. Si partimos del hecho de que podemos obtener vapor de agua a 300° C, y que se incluye un buen sistema de aislamiento térmico, se podría transportar dicho vapor hasta el punto de utilización con una pérdida moderada de calor, de tal manera de obtener vapor a una temperatura entre 200° C y 250° C. Una vez utilizado el calor del vapor, éste deberá devolverse al colector concentrador para absorber más calor (subir su temperatura), siendo para esto necesario una bomba de recirculación del vapor. Esto constituye un circuito de vapor con dos intercambiadores de calor, uno constituido por el absorbedor del colector y el otro por el utensilio en que se cocinarían los alimentos. La ventaja de este tipo de cocina es que es de uso interior como una cocina común. En la figura 9, se muestra el concepto elemental del sistema de la cocina solar.

El utensilio debe ser metálico, de preferencia de aluminio. El interior podría estar revestido de una capa delgada de acero inoxidable. Para acelerar la transferencia del calor al producto a cocinar, podría incluirse un agitador operable a través de la tapa del utensilio.

Para una mayor versatilidad del sistema, éste puede ser híbrido, conmutando el ciclo de vapor a un intercambiador de calor alimentado con propano, para los intervalos de tiempo en que no haya radiación solar incidente en el colector concentrador.

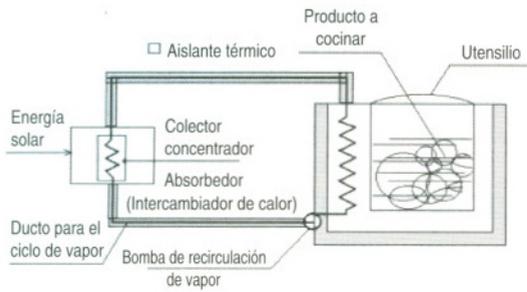


Fig. 9 Ciclo de vapor para cocina solar

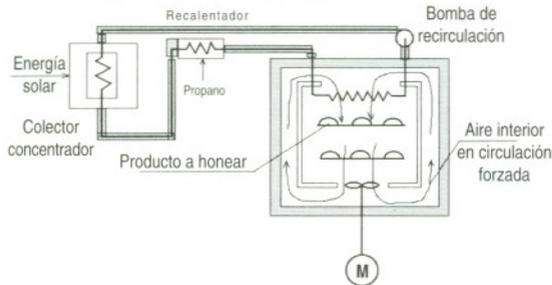


Fig. 10 Ciclo de vapor para horno solar

Ideas básicas sobre el horno solar

El sistema sería similar al de la cocina solar. Las ideas adicionales conciernen a la forma de transferir el calor al producto a hornear. En este caso el utensilio sería una cámara de horneado, y la transferencia del calor se realizaría mediante recirculación forzada del aire interno de la cámara. Adicionalmente se utilizaría un intercambiador de calor alimentado con propano, para recalentar el vapor, en caso fuese necesario obtener mayor temperatura de horneado. En la figura 10 se muestra el concepto fundamental del horno solar.

Ideas básicas sobre secadora de ropa, solar

El sistema es similar al del horno solar. La diferencia estriba en que el aire encargado de la transferencia de calor para el secado de la humedad de la ropa, se toma del exterior, se pasa por la cámara de secado y sale al exterior por la parte superior de la cámara.

Además no sería necesario el recalentamiento alimentado por propano. Sin embargo, siempre se usaría un intercambiador de calor alimentado por propano, como fuente alternativa de calor, cuando no haya radiación solar incidiendo sobre el colector concentrador. En la Fig. 11 se muestra el sistema elemental de la secadora de ropa, solar.

En lo que respecta al acondicionamiento de aire mediante energía solar, la idea básica es alimentar al intercambiador de calor de entrada de energía del sistema por absorción con el vapor a alta temperatura proveniente del colector solar. Si es necesario se incluiría un recalentador alimentado con propano.

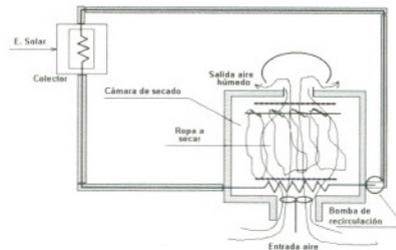


Fig. 11 Ciclo de vapor de secadora de ropa, solar

Las aplicaciones industriales utilizan estos mismos conceptos básicos, con las modificaciones pertinentes.

5. Conclusión

El encarecimiento de la energía eléctrica y de los combustibles fósiles así como la crisis en nuestro ecosistema que será ineludible si continuamos con la gran depredación de nuestros recursos forestales con la consiguiente contaminación ambiental nos obliga a meditar sobre la búsqueda de fuentes alternativas de energía limpia ecológicamente. La fuente disponible por excelencia es el sol, pero debemos desarrollar nuestra propia tecnología solar adaptando la existente a nuestro medio y recursos. Esto nos obliga a estar dispuestos a pagar el costo que demanda la investigación tanto en nuestras universidades como en el ámbito de los industriales. De otra manera no podremos escapar de la catástrofe que predicen los datos estadísticos como los presentados por las gráficas de la Figura 12.⁽¹⁾ ¡Con justa razón El Salvador es uno de los países más deforestados de América!

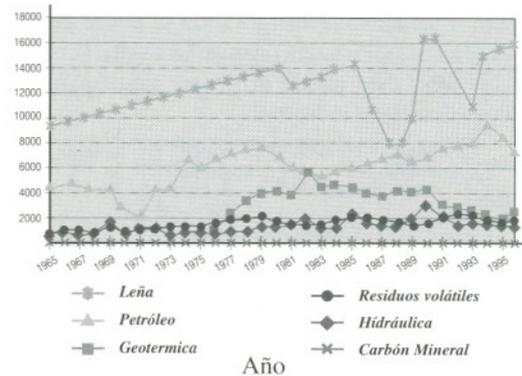


Figura 12

El Salvador, Centro América; Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, Balance Energético.

Bibliografía

Considine, Douglas M. (1989) Tecnología de las Energías: Solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos. Editorial Marcombo, Méjico, España.
Escobar, Ethelvina Morillo de (1998) Energía Solar Aplicada. EDUCA, ICAITI Energía Solar.