

108
2º



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ECONOMIA

LA ENERGIA SOLAR COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA
PRODUCCION ENERGETICA EN MEXICO

T E S I S

Que para obtener el Título de:

LICENCIADO EN ECONOMIA

Presenta:

ESPERANZA VEGA PEREZ

DIRECTOR DE TESIS

LIC. JOSE DE JESUS RODRIGUEZ VARGAS

México, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

LA ENERGIA SOLAR COMO UNA ALTERNATIVA PARA LA PRODUCCION ENERGETICA EN MEXICO

INDICE

	Pág.
Introducción	
CAP. I ANTECEDENTES GENERALES.	
1.1 Importancia de la energía eléctrica.....	1
1.2 Fuentes energéticas convencionales productoras de energía eléctrica.....	3
1.2.2 Plantas Hidroeléctricas.....	4
1.2.3 Plantas termoelectricas.....	7
1.2.4 Plantas geotermicas.....	8
1.3 Fuentes alternas de energía.....	10
1.3.1 Energía nuclear.....	11
1.3.2 Biomasa.....	13
1.3.3 Energía eólica.....	14
1.3.4 Energía solar.....	16
1.3.5 Otras fuentes de energía.....	17
CAP. II ENERGIA SOLAR EN MEXICO	
II.1 Consideraciones generales.....	19
II.1.1 Desarrollo histórico.....	22
II.1.2 Características y disponibilidad de recursos.....	25
II.1.3 Importancia.....	29
II.2 Instituciones nacionales que investigan.....	30
CAP. III DESARROLLO TECNOLÓGICO	
III.1 Avance científico.....	34
III.2 Celda solar fotovoltaica.....	37
III.3 Principio de operación.....	41
III.4 Tecnología.....	42

III.4.1	Módulo solar fotovoltaico	46
III.4.2	Aplicaciones	49
III.4.3	Proyectos nacionales	50

CAP. IV ANALISIS ECONOMICO

IV.1	Medio rural mexicano.....	53
IV.1.1	Oferta y demanda de energía.....	55
IV.1.2	Consumo energético en el medio rural.....	57
IV.2	Análisis económicos del sistema fotovoltaico.....	62
IV.3	Alternativa de producción	65

CAP. V PERSPECTIVAS

V.1	Aplicaciones inmediatas, a mediano plazo y alcances esperados	68
V.2	Importancia y perspectivas	69
V.3	Política para fuentes alternas de energía	71

CONCLUSIONES GENERALES	76
-------------------------------------	-----------

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	79
---------------------------------------	-----------

ANEXOS

GLOSARIO

INTRODUCCION.

Hoy día el país se encuentra inmerso en un mundo de importantes cambios estructurales; bajo este contexto el gobierno mexicano ha emprendido un acelerado proceso de industrialización, apertura comercial y modernización, por lo que la producción energética se convierte en una necesidad imprescindible socioeconómicamente. Estos cambios también tendrían efectos positivos en el uso de nuevas energías principalmente en la utilización de energía solar.

Los cambios socioeconómico-políticos que se han estado dando en México en estos últimos años; presentan nuevamente la necesidad histórica para el desarrollo y utilización de nuevas fuentes de energía, particularmente en energía solar, ya que cuenta con tecnología necesaria y de amplias ventajas para cubrir necesidades locales y regionales de energía.

Independientemente de los cambios económicos actuales, el aprovechamiento de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos es una alternativa para la generación de electricidad, principalmente para integrar a estos nuevos cambios, a aquellas comunidades rurales indígenas que aún no cuenta con el servicio de energía eléctrica.

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo, dividido en cinco capítulos, se analiza la utilización de energía solar como fuente generadora de energía eléctrica a través de sistemas solares fotovoltaicos, en el que se analizan sus antecedentes y perspectivas, para contribuir en la producción energética del país.

Capítulo uno. Muestra como la producción energética se ha convertido en una necesidad inevitable para el desarrollo económico de México, ésta ha originado la explotación irracional de los hidrocarburos, lo que se refleja en el consumo de los mismos, han ascendido a más del 90 % en la producción de energía primaria en los últimos años, de los cuales más del 60 % son destinados a la producción de energía eléctrica.

La producción de electricidad está canalizada por fuentes convencionales de energía como hidroelectricidad, termoelectricidad y carboeléctricidad, mismos que operan principalmente por el consumo de hidrocarburos en gran medida, para abastecer al sistema eléctrico nacional interconectado, por lo que aportan un alto grado de contaminación al medio ambiente y ecológico. En los últimos años las plantas geotérmicas también cubren parte de la demanda de energía eléctrica.

Sin embargo a pesar de que aún se cuenta con los suficientes recursos energéticos, debemos considerar que no son recursos renovables sino que siguen una tendencia paulatina hacia su agotamiento; es necesario fomentar la conciencia hacia el ahorro, conservación, racionalización y diversificación de la estructura energética para hacer frente en lo futuro a las necesidades de energía eléctrica; ya que se ha vuelto un poderoso factor de desarrollo que proyecta el crecimiento de las industrias, el mejoramiento de los servicios, el bienestar de la población; razón por lo que se requiere el uso de otras fuentes energéticas como lo es la energía solar por sistemas fotovoltaicos.

Capítulo dos. Resalta el desarrollo histórico de la energía solar y disponibilidad de recursos en México así como las actividades de investigación en materia.

Nos muestra de que manera el hombre descubrió al sol y al viento como fuente energética desde hace miles de años; sin embargo, al descubrir los combustibles fósiles se abandonó la incipiente investigación sobre técnicas para reaprovechar la energía solar, tal es el caso de las fotoceldas.

El efecto fotovoltaico descubierto desde el siglo pasado en celdas electrolíticas y más tarde se observó en materiales semiconductores como el silicio. Las fotoceldas fueron usadas por satélites y barcos, así como proyectos especiales desde mediados del presente siglo en países desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica y Rusia.

Para el uso de fotoceldas es importante conocer las características del espectro solar. El sol es una masa atmosférica gaseosa a elevadas temperaturas diluyéndose

en el espacio a velocidades altas, hasta llegar a la tierra en forma de luz visible, siendo esta energía la que se pretende reaprovechar; para lo cual se requiere de altos niveles de insolación durante la mayor parte del año.

México tiene un 70 % aproximadamente de zonas áridas y semidesérticas que cuentan con la insolación suficiente para abastecer una buena parte de las necesidades energéticas, pese a que su disponibilidad práctica está limitada a condiciones climáticas concretas; ya que puede considerarse como una fuente natural inagotable de energía no reaprovechada aún.

En los últimos años países industrializados como Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia e Inglaterra continúan desarrollando la tecnología de sistemas fotovoltaicos para aprovechar energía solar, con importantes resultados. Las actividades de investigación y desarrollo en materia de sistemas fotovoltaicos en el país son notorias desde hace varios años: aunque dichas actividades se han limitado a organismos especializados de la Universidad de México y el Instituto Politécnico Nacional, principalmente, mismos que han demostrado la factibilidad tecnológica de las celdas fotovoltaicas así como de sus aplicaciones.

Hay otros centros de estudios dedicados a la investigación en materia de fotoceldas como el caso del Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey y otras universidades regionales.

Capítulo tres. Presenta el avance tecnológico de los sistemas fotovoltaicos así como sus aplicaciones, mismos que presentan amplias perspectivas en varias direcciones.

Internacionalmente el aspecto tecnológico actual y los avances científicos muestran que la mayoría de las celdas fotovoltaicas que conforman sistemas están basados en la tecnología eléctrica a cualquier nivel de iluminación.

México a través del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN) cuenta con su propia tecnología en sistemas

fotovoltaicos; aunque no han llegado a una fabricación en serie, todos los esfuerzos de investigación científica y tecnológica se dirigen hacia la reducción de costos de las fotoceldas, así como el mejoramiento de su vida útil y capacidad de trabajo.

Las fotoceldas no son más que dispositivos que convierten la energía luminosa del sol directamente en energía eléctrica, fenómeno que se realiza a través del efecto fotovoltaico en materiales semiconductores de electricidad, como el silicio. Por lo general las fotoceldas son de silicio, ya que es un semiconductor con alta eficiencia.

Considerando que la celda solar es un generador de energía eléctrica de baja potencia, para activar un equipo se requiere de la interconexión de las mismas hasta formar módulos fotovoltaicos; para activar cargas eléctricas mayores es necesario conectar varios módulos fotovoltaicos hasta formar un arreglo; de acuerdo con estas características de modularidad se puede constituir en sistemas fotovoltaicos que operan a temperatura ambiente por largo tiempo, no requieren de mantenimiento y combustible alguno, por lo que no contaminan al medio ambiente.

La tecnología solar fotovoltaica encuentra un campo de amplias aplicaciones, que van desde aquellos que usan microwatts (calculadora y relojes) hasta aquellos que requieren de megawatts, como el caso de centrales fotovoltaicas, dadas las características de modularidad que poseen dichos sistemas. En realidad cualquier aparato electrónico puede ser operado mediante fotoceldas debido a su fácil instalación y manejo, tecnológicamente no hay límite; existen más de 200 sistemas fotovoltaicos instalados en México para diversas aplicaciones como iluminación, sistemas de televisión en secundarias y primarias rurales, radiotelefonía rural, entre otros.

Capítulo cuatro. Analiza socioeconómicamente la estructura energética rural así como el costo de energía eléctrica generado por los sistemas fotovoltaicos.

Algunas zonas suburbanas marginadas y sobre todo las áreas rurales del país constituyen el sector más desfavorecido por el desarrollo energético. Más de 80,000 comunidades rurales no cuentan con energía eléctrica convencional, lo cual representa

un 25 % del total de la población; los sistemas fotovoltaicos pueden dar respuesta a las necesidades energético-productivas de esa población rural.

El aprovechamiento de energía solar por sistemas fotovoltaicos tiene la ventaja de que la instalación de éstos se adapta a las necesidades del medio rural; ya que no posee partes móviles, no requiere de mantenimiento, tiene la posibilidad de almacenar la energía eléctrica generada para usarla posteriormente, no contamina al medio ambiente y lo fundamental es que la fuente primaria de energía está en el lugar de uso (el sol). Así que no se requiere de transporte ni combustibles porque todo se produce en pequeños generadores eléctricos colocados en el sitio de consumo. Sin embargo el inconveniente que presenta en las aplicaciones es que los precios de energía fotogenerada son elevados, aunque han seguido una tendencia a la baja que demuestran ya su factibilidad económica en los últimos años.

Capítulo cinco. Muestra las perspectivas que tiene la energía solar en México. A pesar de que ya existe una tecnología propia en sistemas fotovoltaicos, se ha visto limitada por los problemas económicos-políticos; ya que independientemente de la madurez que ha alcanzado dicha tecnología para general electricidad, y que su costo han disminuido, se ve limitado por la poca importancia y difusión que se le ha dado.

Se reconoce por parte del gobierno la importancia de la energía solar, pero no se ha elaborado y puesto en práctica un programa global fundamentado en el análisis minucioso, que fije las prioridades energéticas y oriente los trabajos de investigación, desarrollo y producción de sistemas fotovoltaicos concretamente.

Sólo el establecimiento de políticas estatales y mecanismos concretos motivaran el uso masivo de nuevas fuentes de energía; creando un mercado generalizado de consumo que motive, incluso, la industrialización de estos sistemas fotovoltaicos.

CAPITULO I ANTECEDENTES GENERALES

1.1 LA ENERGIA ELECTRICA Y SU IMPORTANCIA

La política energética a nivel mundial y en México está centrada principalmente en los hidrocarburos. México cuenta con reservas suficientes que le permiten conservar su ritmo de producción por varios años; sin embargo, es necesario fomentar la conciencia en cuanto a racionalización y ahorro en el consumo de hidrocarburos, mismos que tienden a agotarse cada vez más, asimismo fomentar la investigación, desarrollo y uso intensivo de nuevas fuentes generadoras de energía.

A principios de la década de los setenta, la demanda de energía eléctrica fue cubierta por Plantas Hidroeléctricas principalmente, el 57% del total que se demandaba, y el resto con la participación de Plantas Termoeléctricas y Carboeléctricas. A mediados de esa misma década con la disponibilidad de Hidrocarburos, dicha demanda de energía eléctrica; fue cubierta por termoelectricidad primordialmente, cubriendo por lo menos el 68% del total de la demanda; mientras que las hidroeléctricas cubrían el 31% y las goetermias participaban en 1.8% aproximadamente.

La capacidad instalada tuvo un crecimiento aproximado de 3.5% frente a un ritmo de crecimiento anual en la demanda de energía eléctrica del 5.5% durante el periodo de 1988, incluso se incrementó a un ritmo de 7.5% anual; esto significa que el país enfrenta serios problemas para cubrir la demanda total de energía eléctrica.

La electricidad es indispensable pero no se obtiene directamente de la naturaleza sino que tiene que ser generada por fuentes energéticas como el carbón o el petróleo y sus derivados.

La energía eléctrica en la actualidad, ha obtenido un carácter estratégico para el desarrollo de las naciones del mundo. Se considera factor de producción, desempeñando un papel de gran importancia en las transformaciones productivas, permite concebir los adelantos técnicos y científicos. La industria moderna no existiera a

falta de la electricidad, de modo que la energía es quien alienta el crecimiento y desarrollo económico del país.

El factor fundamental de la transformación, promoción y desarrollo de las actividades socioeconómicas del país ha sido gracias al uso intensivo y extensivo de electricidad, sólo de esta manera se hizo posible la incorporación de procesos productivos más sofisticados que llegaron a revolucionar la industria, a crear nuevos centros de desarrollo y dotar a la población de este servicio indispensable. Por ello, hoy día la oferta del fluido eléctrico debe ser suficientemente anticipada para evitar cualquier trastorno en sectores que de ella dependen directamente.

Con la Revolución Industrial, que dió un nuevo impulso y aceleró el proceso de mecanización tanto en la manufactura como en el transporte y la agricultura; la energía eléctrica con mayor razón tuvo gran importancia, así la electricidad es un elemento de infraestructura para la actividad económica, cualquier restricción o deficiencia del servicio eléctrico provocará un estancamiento en la producción y grandes pérdidas económicas en las zonas afectadas.

El fluido eléctrico no sólo es fundamental en la industria, sino también en servicios como alumbrado público, transporte, suministro de agua potable, en el comercio, para uso doméstico; en cualquier servicio está presente la necesidad de energía eléctrica, en la medicina por ejemplo, ocupa un lugar imprescindible, en hospitales y clínicas, etc.

En el Medio Rural, también es necesario e importante contar con este servicio, toda vez que podría servir de apoyo al bienestar social de las familias campesinas. La electrificación en zonas rurales podrían significar una medida para detener la inmigración de campesinos a las ciudades; dotando a dichas comunidades precisamente de servicios como Centros de Salud, escuelas, agua potable, alumbrado público, etc., que les permita un mejor desarrollo, para lo que se requiere necesariamente de electricidad; al mismo tiempo implica un aumento en la producción agropecuaria.

Precisamente por la importancia que ha tenido y sigue teniendo este recurso energético; México depende fuertemente de los hidrocarburo como fuente energética generadora de electricidad, la participación de éstos ha alcanzado a más del 90% en la producción de energía primaria en los últimos años, aunado a la exportación de grandes cantidades de petróleo, conlleva a pensar en su posible agotamiento a largo plazo. Existe la necesidad de fomentar la conciencia en el ahorro, conservación racionalización y diversificación de energéticos.

1.2. FUENTES ENERGETICAS CONVENCIONALES, PRODUCTORAS DE ENERGIA ELECTRICA

La producción de energía eléctrica está canalizada principalmente por fuentes convencionales como Plantas Hidroeléctricas y Termoeléctricas, esta última opera mediante el consumo de hidrocarburos, abasteciendo el sistema nacional interconectado que a su vez abastece a los sistemas regionales del país; primordialmente a las áreas urbanas donde se genera la mayor demanda de energía eléctrica. Existen también Plantas Carboeléctricas y geotérmicas con una participación menor, incluso se consideran como nuevas alternativas, sobre toda la última.

El desarrollo económico del país y el crecimiento de la población, aunado al incremento de bienes de consumo electrodomésticos, la necesidad de satisfacer la creciente demanda, entre otros aspectos, impulsaron la integración de sistemas mediante redes interconectadas para abarcar las grandes regiones de la República Mexicana.

A continuación se describe a grandes rasgos cada una de las plantas generadoras de electricidad ya mencionadas y que actualmente son quienes cubren la demanda nacional de electricidad.

1.2.1 PLANTAS HIDROELECTRICAS

Las Plantas Hidroeléctricas están diseñadas para utilizar eléctricamente parte de la energía que de manera potencial se produce con cualquier masa de agua localizada a una altitud mayor que el nivel del mar; dada esta característica puede considerarse como un energético no contaminante.

La República Mexicana, en lo que a recursos hidráulicos se refiere, cuenta con aproximadamente 500 km² de agua equivalente al 1% del total mundial, no es muy bajo comparado con otros energéticos, por ejemplo, las reservas mundiales de carbón representan el 1.0%, el petróleo 1.95% aunque ya se ha incrementado con los nuevos yacimientos descubiertos en los últimos años. (1).

México se encuentra entre los países intermedios, se cuenta con recursos que deben cuidarse y racionalizar su explotación. Las plantas hidroeléctricas fueron piedra angular sobre las que se encargó la producción de energía eléctrica, conjuntamente con plantas termoeléctricas.

Es importante señalar que, generalmente en los lugares donde hay plantas tanto termoeléctricas como hidroeléctricas; las segundas cumplen la función de plantas pico por su fácil manejo; es decir, arranca y para con facilidad, genera el suficiente fluido que la demanda exige. Mientras que las plantas termoeléctricas se cuentan como plantas base por no maniobrarse de la misma manera, no opera ni se detiene en cualquier momento debido a los problemas térmicos de las calderas y de los turbogeneradores, por lo que su explotación es continua y uniforme y su uso debe ser por periodos lo más prolongados posible. De modo que las plantas hidroeléctricas tienen como función principal cubrir la potencia pico.

En este apartado se clasifican también las plantas de acumulación hidráulica, no muy usuales, pero resulta útil para cubrir demandas máximas normales. Estos sistemas consisten en dos embalses de agua, uno arriba y otro abajo, en momentos que el sistema demanda mucha carga, el agua fluye desde arriba hacia abajo, accionando las

(1). C.F.E., 1987, "Estado actual de la evaluación del potencial hidroeléctrico nacional", México, D.F., P. 79

turbinas; en cambio, cuando la demanda es baja se bombea el agua de abajo hacia arriba tomando energía eléctrica de las plantas de base y aprovecha la potencia no almacenada.

La hidroelectricidad representa grandes inversiones y una variación de costo por su situación geográfica, por dificultades que presenta el terreno propiamente y el transporte de la energía eléctrica generada hasta los lugares de consumo, que también ocasiona gastos considerables, la pérdida de las líneas por mantenimiento y la indemnización a las comunidades que resulten afectadas por alguna obra de este tipo.

La producción hidroeléctrica en México está canalizada principalmente por las plantas de Malpaso, Agostura y Chicoasen para la explotación del Río Grijalva. Aunque dicha participación ha venido disminuyendo por el uso de otras fuentes que utilizan hidrocarburos; por ejemplo: la hidroeléctricidad para 1976 tuvo una participación de 39.8% y 35.6% en 1982, finalmente para 1988 fué de un 30.8% aproximadamente; tales cambios se dieron por el mayor uso energético que se ha dado a los hidrocarburos, por la participación de otras fuentes como carbón y geotermia. Además porque los proyectos representan cuantiosas inversiones, aunque su costo en combustible es casi nulo aparentemente, depende de precipitaciones pluviales. Potencialmente la planta de Malpaso, inaugurada en 1969, posee una capacidad de 1,080 mw; Angostura, 1975 tiene una capacidad de 1,000 mw, y, Chicoasen, 1980, tiene 2,500 mw, aprovechan la cuenca de Grijalva. Por otro lado, los proyectos realizados en el sexenio pasado (1982-1988) son por ejemplo: Planta el Caracol en el Estado de Guerrero, con capacidad de 594 mw; Peñitas, Chiapas de 420 mw; la Amistad en Chihuahua, de 66 mw. (2)

Existen otras plantas que se encuentran en proceso: Agua Prieta, Sonora, de 240 mw; Comedero, Sinaloa, 110 mw; Chilatán, Jalisco, 40 mw; entre otras como El Cajón, Nayarit; Trojes, Michoacán; Zimapán, Nayarit; Zimapán, Hidalgo; San Juan Tetelcingo, Guerrero; Agua Prieta, Jalisco; La Ampliación, de Temescal, Oaxaca. (3)

En cuanto a plantas microhidroeléctricas son escasas; éstas aprovechan el

(2). Comisión Federal de Electricidad, 1988, p. 48.

(3). el Nacional, agosto 1988, p. 9.

caudal de los ríos, transportando el agua mediante canales por tierra hasta pequeñas presas donde se genera la electricidad por plantas pequeñas, de cualquier forma; estas microhidroeléctricas depende del caudal de los ríos y precipitaciones pluviales, y son adecuadas para demandas locales. El potencial de microhidroeléctricidad reservado es de 25,000 mw. (4)

1.2.2 PLANTAS TERMOELECTRICAS

Es importante señalar que están diseñadas con el motivo de transformar el calor en electricidad; este fenómeno se da a partir de que su construcción consiste en un generador de la combustión de hidrocarburos: carbón, petróleo, gas, etc., así, el agua se convierte en vapor a través del calor producido; una vez generado el vapor se traslada a la sala donde accionará las turbinas quienes al mismo tiempo envían a los generadores la energía eléctrica. La energía producida se manda a los transformadores dirigiéndose a la estación de distribución, lugar de partida a las diferentes áreas y zonas de consumo.

Como se puede apreciar, necesariamente la instalación de las plantas termoeléctricas estarán cercanas a los manantiales naturales de agua ya que la tubería que conduce el agua hasta las calderas es de pequeña longitud, por tanto debe ser reducida la longitud de la tubería que conduce el vapor de las calderas a las turbinas y generadores. El consumo del combustible estará cercano a las centrales, de lo contrario, la producción y transporte de energía eléctrica sería más costosa.

Económicamente el costo de las termoeléctricas, por su consumo de combustible fósil, es elevado; por ejemplo: a mediados de la década antepasada una unidad de combustible fósil de 300 mw tendría un costo mensual por capital invertido del 1% aproximadamente, aumentando las cargas fijas de superintendencia de construcción, de acuerdo con el informe del sector eléctrico.(5)

Las plantas termoeléctricas han llegado a aportar hasta un 60% de electricidad,

(4). S. Wionczek M. 1987, "El futuro de los energéticos en el desarrollo económico de México", El Colegio de México en Cuadernos sobre perspectivas energéticas, no. 107, p. 10.

(5). Informe del sector eléctrico, (1970-1976), F.C.E. México, p. 61.

incentivada por el uso de hidrocarburos (combustóleo, gas o mezclas). No es muy conveniente crear nuevas plantas de éste tipo; ya que por un lado, dependen de un recurso que tiende a agotarse y cuyos costos de explotación resultan elevados; y por el otro, son plantas que participan en la contaminación ambiental.

En los últimos años, por ejemplo: se a llegado a consumir hasta 250 mil barriles de petróleo diarios, aproximadamente, en la producción de energía eléctrica, consumo que tiende a incrementarse en la medida en que aumenta la demanda de electricidad.

Así, el descenso en la dependencia de hidrocarburos es nulo, si pudiera darse sería de manera paulatina y a lo largo de los años, o en cuanto cobren importancia las Nuevas Fuentes Alternas de Energía.

1.2.3 PLANTAS CARBOELECTRICAS

Por las características que el carbón tiene es capaz de generar electricidad, en cambio, posee un alto grado de contaminación a pesar de que su uso se hace mediante los llamados catalizadores o filtros que permiten la reducción de elementos contaminantes.

Con el impacto de la crisis energética de los setenta, diversas naciones tuvieron que recurrir nuevamente al uso intensivo del carbón. El uso de este energético en la generación de energía eléctrica es muy antigua, incluso llegó a sustituir a la leña en el pasado siglo; pero posteriormente con el descubrimiento de los hidrocarburos en el mercado internacional, el carbón fue sustituido por éstos.

El carbón ha sido el más importante de los hidrocarburos utilizados en el desarrollo de las épocas modernas; en la década de los cincuenta fue una fuente principal de energía, no fue sino hasta hace tres décadas en que se desplazó por otros hidrocarburos, debido al fácil manejo y bajos costos de esos productos con respecto al carbón.

México, al igual que otros países, utiliza el carbón como generador de electricidad, cuenta con una Central Carboeléctrica en Piedras Negras, Coahuila; su

operación data de 1981, con el objetivo de explotar la cuenca carbonífera de Río Escondido, esta planta cuenta con una capacidad de 1,200 mw y dispone de reservas suficientes para sobrevivir por varios años.

Aún se cuenta con las suficientes reservas nacionales de carbón, capaz de mantener nuevas plantas por un período prolongado. Investigaciones hechas por Miguel S. Wionczeck, demuestran que las reservas actuales son de 1,800 millones de toneladas, de las cuales 950 millones son carbón no coquisable. (6).

1.2.4 PLANTAS GEOTERMICAS

La geotermia, nueva alternativa en electricidad, inicia su investigación y desarrollo hace aproximadamente tres décadas. sin olvidar que desde hace miles de años los pueblos antiguos utilizaban las fuentes termales con fines curativos y religiosos; pero no fue sino en los últimos 30 años que algunos países lograron su aplicación con gran éxito, aunque con muchas deficiencias para su aprovechamiento a gran escala.

En 1973 se dió un nuevo impulso a la investigación de nuevas fuentes, entre ellas la geotermia. Esta energía es generada por agua, vapor o mezcla de ambos calentado naturalmente a elevadas temperaturas en el interior de la tierra.

Su participación en la generación de energía es baja a nivel mundial; ya que su disponibilidad natural es pequeña. Hay variaciones entre países en cuanto a energía geotérmica precisamente por sus condiciones naturales y por su capacidad de producción; no todos los países cuentan con el mismo potencial geotérmico. Es necesario continuar con la investigación y desarrollo hasta lograr una mayor eficiencia en su explotación.

La energía eléctrica que se obtiene de Plantas Geotérmicas requiere de tres elementos: una fuente de calor conocida como magna y está en proceso de

(6). S. Wionczeck M., 1987, "El futuro de los energéticos en el desarrollo económico de México", Colegio de México, Cuadernos sobre perspectivas energéticas n. 107, p. 12.

enfriamiento, un fluido caliente y una zona cortical donde se almacena y circula el fluido eléctrico.

La magna se localiza a una profundidad de 6 o más kilómetros, tiene una temperatura de 600° C aproximadamente, que asciende a la superficie; dicha magna transmite su calor por conducción hacia la roca impermeable que la rodea, con una temperatura de 400° C, de esta manera el agua fría que baja desde la superficie se calienta por dicha roca impermeable, adquiriendo una temperatura hasta de 200° C; de inmediato sube nuevamente, aunque mínimamente pierde calor, es en ese preciso momento cuando inicia la ebullición del agua y vuelve finalmente a la superficie en forma de vapor a una temperatura de 100° C que se manifiesta como furola. (7)

Nuestro país como uno de los primeros que inicia estudios para el aprovechamiento de los lugares geotérmicos, ocupa un tercer lugar en la materia según estudios recientes, con una capacidad productiva de 645 mw en 16 unidades; después de Estados Unidos y Filipinas. Además se cuenta con una larga experiencia en geotermia, sus primeros estudios se inician desde los cincuenta sin interrupciones, con las primeras perforaciones exploratorias en Iztlán de los hervores, Michoacán y Cerro Prieto, Baja California; aunque la explotación sistemática se inicia en los primeros años de la década de los setenta.

El primer turbogenerador geotérmico del Continente Americano se instaló y operó en la zona de Pathedel, Hidalgo en 1959 con 6 kw/h, se trataba únicamente de una Planta Piloto, con ella se demostró la explotación comercial de dicho recurso.

La producción geotérmica en México se concreta principalmente por la Planta de Cerro Prieto, Baja California Norte; opera a partir del 4 de abril de 1978 con capacidad de 75 mw, fue la primera planta de América Latina a escala comercial y con la cual se dió un mayor impulso a la investigación para su desarrollo. Actualmente esta central tiene perforados 140 pozos geotérmicos con una profundidad 700 a 4,000 metros, y una capacidad instalada de 620 mw capaz de satisfacer la demanda del propio Estado y

(7). Gutiérrez N. Luis, Geotermia: "Fuente de energía al alcance de México", Ciencia y Desarrollo no. 73, CONACYT, p. 36

parte de Sonora. (8)

Se cuenta con otra planta geotérmica que es la de los Azufres, Michoacán; sus estudios se iniciaron en 1975 y dos años más tarde sus perforaciones. Hasta la fecha se han perforado más de 50 pozos con profundidad de 600 a 3,500 metros; tiene capacidad de 25 mw, previendo que podrían generar hasta 300 mw., posiblemente. (9)

Bajo estas condiciones descritas a groso modo, el territorio nacional mexicano ocupa un lugar cada vez más importante en cuanto a geotermia debido a sus características geológicas en general, este energético puede ser un progreso en el ahorro a los hidrocarburos. Es necesario ampliar la investigación al respecto, mejorar técnicas y buscar nuevos campos geométricos en el país. En base a evaluaciones geológicas, geoquímico-físicas se estima como reservas probadas 12,000 mw. aproximadamente; mientras que la capacidad instalada representa el 5.4% del total de reservas que existe en la actualidad. (10)

1.3 FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

Se ha mencionado ya que la producción energética está canalizada principalmente por fuentes convencionales de energía que operan por el consumo de hidrocarburos, en gran medida, para abastecer el sistema eléctrico interconectado sobre toda en área urbanas. México es un país rico en reservas energéticas, representa gran diversidad en producción de energía, cuenta con petróleo, gas, carbón, potencial hidroeléctrico, geotermia, uranio, etc. Existe una fuerte dependencia de hidrocarburos, fenómeno que se refleja al obtener de éstos gran parte de la electricidad que demanda el territorio nacional. Sin embargo, una gran parte de la población no cuenta con éste servicio.

Son éstos algunos elementos de causa para desarrollar nuevas formas de obtener energía eléctrica. Es importante desarrollar y aplicar nuevas alternativas energéticas pensando precisamente en aquellas regiones apartadas de las redes del

(8). Gutiérrez N. Luis, 1987, Geotermia: "Fuente de energía al alcance de México, Ciencia y Desarrollo no. 79. CONACYT, p. 36

(9). M. Guzmán O., 1982., "Las nuevas fuentes de energía en México, "Situación actual y perspectivas de desarrollo", p. 6.

(10). Ibid. p. 7.

sistema nacional eléctrico y a su pequeña demanda de energía; ya que hasta el momento tal parece que estas nuevas fuentes energéticas, a excepción de la nuclear, sólo pueden satisfacer necesidades locales de pequeña demanda hoy día.

Con la crisis energética de 1973 surgió nuevamente un interés profundo por la investigación y desarrollo de nuevas fuentes energéticas alternas, incluyendo la nuclear. Actualmente existe un conjunto de nuevas fuentes energéticas como nuclear, biomasa, eólica, solar y otras; su investigación y desarrollo muestra diferentes resultados en las distintas regiones a nivel mundial.

Estas nuevas fuentes de energía han estado ampliando su participación y desarrollo en la oferta de energía con base a sus avances científicos y tecnológicos, de acuerdo a los lugares y zonas donde se aplican, de las necesidades y consumo energético, etc., ello implica estudiar proyectos para su uso y así considerar la factibilidad económica de esas fuentes tanto en el futuro inmediato como a lo largo plazo; cuestión que forma el objetivo central del presente trabajo, pero sólo para el caso de la energía solar.

En este apartado se presenta una visión general de las características principales de cada un de las fuentes alternas mencionadas en párrafos anteriores de este mismo punto.

1.3.1 ENERGIA NUCLEAR

La energía nuclear tiene sus raíces en Estados Unidos desde el momento en que creó las bases de utilidad que tienen esta energía para producir electricidad. Esta alternativa energética tiene un elevado desarrollo y gran éxito en los países industrializados, fundamentalmente países como Estados Unidos de Norteamérica, Rusia, Alemania Federal, Francia, Gran Bretaña, Canadá y Japón. En el caso de países subdesarrollados, por diversas restricciones su participación en este campo es relativa; mientras algunos países desarrollan proyectos nucleares, Brasil o Argentina, por ejemplo; en otros países son postergados.

Una central nucleoelectrónica podrían considerarse como un sistema térmico que produce electricidad, ya que su operación es similar a una planta que funciona a través de hidrocarburos; sólo que éstos son sustituidos por un reactor atómico en el que se efectúa la fisión controlada. Esta se genera utilizando como combustible el uranio que al dividirse o romperse los átomos que constituyen este elemento inmediatamente genera el calor que se aprovecha para producir electricidad.

Toda central nuclear opera a base de un reactor que consta de: combustible, un moderador y un fluido refrigerante, el combustible es el uranio que a partir de su fisión genera calor. Esto implica que la energía se obtiene del uranio-235 a base de su desintegración en cadena; es decir, la fisión nuclear se produce cuando un neutrón desintegra un átomo de uranio y así se liberan dos neutrones, los cuales van a ocasionar dos nuevas fisiones, desprendiendo cuatro neutrones que provocarían cuatro fisiones más y así sucesivamente; esta fisión se lleva a cabo dentro del reactor. De esta forma se generan cantidades enormes de calor que producen vapor para mover el generador eléctrico.

Moderador, se denomina así porque va a regular la velocidad de los neutrones recién producidos a velocidades termales, con lo que se aumenta considerablemente las posibilidades de choque para dividir más átomos del uranio-235; convirtiéndose en combustible de uranio natural para de esta manera mantener la reacción en cadena. Este moderador debe necesariamente tener un peso atómico ligero, no absorber neutrones y no tener una elevada densidad atómica; tal es el caso del grafito, agua ordinaria y pesada, así como algunos líquidos orgánicos.

El refrigerante tiene la función de evacuar el calor producido por el uranio, para producir vapor. En éste caso los refrigerantes son el anhídrido carbónico y agua pesada para reactores de uranio natural, sodio en los reactores rápidos. (11)

Nuestro país ha desarrollado la nucleoelectricidad, al igual que otros países, para generar electricidad. Para 1971, la planta nuclear "Laguna Verde" ya estaba en construcción pero por causas financieras y políticas, su construcción y operación se

(11). La energía nuclear en Francia, 1980. información científica y tecnológica no. 20, p. 8.

retrasó, lo cual provocó elevados costos de inversión. Actualmente se cuenta con esta planta nuclear en el país, ubicada en el municipio de Alto Lucero, a 70 kms. al Noroeste de Veracruz y abarca 200 hectáreas. Cuenta con dos reactores tipo PWR de 654 mw. cada uno, la capacidad total es de 1,308 mw. puesto ya en operación. (12)

La forma en que operan los reactores de Laguna Verde, por el tipo de reactor (Boilin Water Reactor-BWR), utiliza el uranio enriquecido; éste se coloca en el núcleo del reactor para producir elevadas temperaturas y así hacer hervir una masa de agua, convirtiéndose en vapor que circula por los conductos hasta las turbinas y moverlas, produciendo energía eléctrica en los generadores para mandarla a los transformadores y luego a la red eléctrica. El vapor es nuevamente convertido en líquido por medio de un condensador y es enfriado por un sistema de tubería que toma agua fría marina. Al convertirse el vapor en agua nuevamente, es succionado por bombas hacia conductos.

El problema en la utilización de esta energía radica principalmente en la gran variedad de desechos tóxicos y radioactivos que contaminan el medio ambiente y ecológico del país.

1.3.2 BIOMASA

La biomasa no es otra cosa más que la energía obtenida de toda materia orgánica que se produce en la naturaleza; desechos orgánicos agrícolas, de animales, algas marinas, etc. Este tipo de energía se aprovecha a través de tres métodos: combustión, fermentación y putrefacción.

De acuerdo con algunas investigaciones se estima que del 6 al 15% de la energía mundial proveniente de la biomasa, la leña representa el 15% de la necesidad energética en México. (13)

La biomasa se obtiene también al fermentar los desechos de la caña, madera, maíz, etc., ello mediante la obtención de alcohol o etano que sirven de combustibles.

(12). Guzmán Oscar M, 1982, "Las nuevas fuentes de energía en México: situación actual y perspectivas", p. 15.

(13). Olgún, J.E., 1988, "Política tecnológica para el aprovechamiento de la biomasa en México; Desarrollo y Medio Ambiente no. 3 p. 13.

Otro potencial de la biomasa se obtiene de las algas marinas por estar constituidas de compuestos químicos.

El uso de la materia orgánica con fines energéticos data de los albores de la humanidad. En 1930 el inglés Vanhelmont, reconoce que el gas generado mediante la putrefacción de la materia orgánica es inflamable; pero no es sino hasta 1895 que el gas detenido en las fosas sépticas se uso para el alumbrado público de Exether, Inglaterra. Dos años más tarde la ciudad de Bombay, India; instaló un digestor de desechos orgánicos y el gas producido se utilizó para el alumbrado público. (14)

La biomasa utiliza el gas metano obtenido mediante la descomposición de materia orgánica ante la ausencia de aire en los biodigestores, generando metano y bióxido de carbono; en este proceso se obtiene abono con utilidad agrícola.

El medio rural es quien tiene más acceso al uso de la biomasa, por el espacio que ocupan dichos digestores y porque la tecnología está enfocada a la recolección y uso de desechos orgánicos de vacas, cerdos, aves, etc. En México se han instalado alrededor de 100 digestores anaeróbicos a partir de desechos orgánicos y agrícolas.(15)

1.3.3 ENERGIA EOLICA

Otra forma de obtener energía eléctrica es a través del viento. Ha sido una fuente de energía que el hombre ha aprovechado de alguna forma, le sirvió para mover los barcos de vela, en los molinos de granos y en extracción de agua. Su aplicación lo fue sobre todo en Europa, pero con la aparición de los motores de combustión interna y con la electricidad se fue desplazando esta energía.

El viento puede convertirse en una importante fuente de energía eléctrica, sólo que tiene el inconveniente de que las turbinas deberán ubicarse por el ruido que producen, cuidadosamente y en grandes cantidades, ya que pueden incluso llegar a interferir la comunicación.

(14). Concheiro Antonio A. y Rodríguez V.L.; 1985, "Alternativas energéticas", ed. F.C.E. p. 192.

(15). Olgún J.E., 1998, "Política Tecnológica para el aprovechamiento de la biomasa en México", Desarrollo y Medio Ambiente no. 3 p. 14.

La energía eólica producida por los vientos, se da precisamente en los cambios continuos de flujos de aire que pasan por la atmosfera de alta y baja presión, las corrientes de aire la forman las diferencias originadas por el desigual calentamiento del sol en distintas regiones.

La investigación en este tipo de energía se ha concretado en la construcción de los llamados aerogeneradores eléctricos, mismos que con el desarrollo de la metalurgia se perfeccionaron. Durante la Segunda Guerra Mundial algunos países como Dinamarca llegaron a crear motores eólicos hasta de 25 kw. (16)

El aerogenerador común consiste en un rotor con aspas conectadas al eje de generación eléctrica. La velocidad en que giran las aspas aumenta el rendimiento del rotor con una velocidad superior de 70 km/h aproximadamente. Las aspas no deben topar a su mástil, motivo por el que se instalan dispositivos de freno en los generadores para regular la velocidad de giro de las aspas.

Tecnológicamente los aerogeneradores varían en 1,2 o más aspas horizontales dirigidas hacia el viento con una longitud relativa. Debido a la baja capacidad que poseen estos aerogeneradores, su instalación puede ser en serie para generar electricidad suficientemente aprovechable; este tipo de instalación constituye lo que se llamaría "Parque Eólico". El inconveniente que existe en ellos es depender de regiones físicas adecuadas y contar con amplias áreas territoriales para su colocación.

Existe otro tipo de aerogeneradores con aspas verticales, son dos o tres aspas con eje curvo o recto; sus rendimientos son bajos, no requieren de dispositivos de orientación hacia el viento y menos de mantenimiento.

En caso de países europeos se ha perfeccionado la técnica para aprovechar energía eólica, ya se utiliza como una fuente energética. América Latina, en países como Costa Rica, por ejemplo; se estudian proyectos para la instalación de plantas eólicas, usando aspas que puedan aprovechar vientos desde 10 hasta 56 km/h.

(16). Concheiro A. y Rodríguez L., 1985. "Alternativas energéticas", ed. F.C.E., p. 290.

Estados Unidos cuenta con una planta de aerogeneradores para aprovechar energía eólica, su capacidad instalada es de 5,500 aerogeneradores aproximadamente, con una productividad de 52 kw., lo cual ya cobra relevancia. (17)

En México se realizan estudios para aprovechar la energía eólica, aunque se encuentra en una fase experimental, se estima que existen Estados con un potencial eólico aprovechable, tal es el caso de Estados como Tabasco, Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Tamaulipas, Durango, Chihuahua y Sonora. Oaxaca por ejemplo, cuenta con una zona llamada La Ventosa, con vientos hasta de 25 km/h. El Instituto de Investigación Eléctrica ha instalado en el Norte y Noreste de la República Mexicana, concretamente en la región de Gavillero, Hidalgo; un aerogenerador para abastecer de energía eléctrica a dicha región, así como la instalación de aerobombas. (18)

1.3.4 ENERGIA SOLAR

En cuanto a esta nueva fuente de energía, como se podrá notar en los siguientes párrafos; sus condiciones de desarrollo técnico-científico tiene variaciones en los diversos países, ya que la disponibilidad de recursos está limitada a ubicaciones concretas.

Hay países como India, Arabia Saudita, Grecia, Japón, Estados Unidos, entre otros, que ya aprovechan esta fuente de energía. en Japón, por ejemplo; para 1978 existían ya varias unidades colectoras de energía solar; en Chipre, un 35% de los hogares usan calentadores solares para agua; en Rusia hay plantas heliotérmicas experimentales, debido a sus condiciones tecnológicas enfocan espejos siguiendo la trayectoria del sol; cuya energía captada se destina al calentamiento de agua, cabe señalar que en épocas de invierno y con la nubosidad los rendimientos de la energía solar disminuyen.(19)

Para aprovechar la energía solar existen varios métodos, por ejemplo, los

(17). Concheiro Alonso y J Rodríguez; 1985, "alternativas energética", ed. F.C.E., p. 291.

(18). Ruiz S. Miguel; 1989, "Energía eólica", Muy Interesante no. 2, ed. SAMRA, p. 7.

(19). Concheiro A. y Rodríguez L., 1985, "Alternativas energéticas", ed. F.C.E., p. 63.

estanques salinos generan energía por éste sistema para aprovechar energía solar, únicamente se necesitan estanques, agua y sales. Se han experimentado grandes unidades que generan hasta 5 mw., estos sistemas, sobre todo; se han implementado en países como Israel desde la década de los cincuenta; país que dió prioridad a dichos sistemas por motivos de la crisis energética y por su conflicto con los árabes. La desventaja para el uso de estos equipos es que se requiere de amplias zonas territoriales para colocar los enormes estanques.

Otro método para aprovechar energía solar es a través de Celdas Solares Fotovoltaicas, a lo que se hará referencia en los siguientes capítulos de este trabajo.

México debe considerar dentro de lo factible el amplio desarrollo de esta fuente energética; aunque es obvio que la dependencia que se tiene de los hidrocarburos para generar electricidad no es simple sustituirla, pero es necesario continuar con el esfuerzo de diversificación energética, apoyarse cada vez más en nuevas fuentes alternas de energía, previendo el grave deterioro de los hidrocarburos.

De ahí la inquietud de realizar el presente trabajo, por lo que los capítulos siguientes están dedicados al estudio y análisis concretamente de la Energía Solar, como su objetivo central.

1.3.5 OTRAS FUENTES DE ENERGIA

Existen otras fuentes alternas de energía menos desarrolladas, pero con miras de participar en la generación de energía eléctrica previendo el agotamiento de los hidrocarburos. Son fuentes de baja magnitud en cuanto a posibilidades de oferta energética, su investigación técnicocientífica no es muy amplia y tienen pocas perspectivas. Tal es el caso de la energía oceánica o marina, la cual presenta tres formas de obtenerse: a través de gradientes térmicos, olas y mareas. Hay otro tipo de energía como el petróleo sintético, arenas alquitranadas, aceite de semillas y vegetales, etc. Existe escasa información sobre ellas, cuentan con una gran deficiencia técnica y elevados costos.

Por ejemplo, la producción de energía mediante gradientes térmicos, requiere de la construcción de una planta CETO "Convertidor de Energía Térmica Oceánica", ésta aprovecha las diferencias de temperatura entre las distintas capas marinas; al respecto sólo hay proyectos de fabricación de estas plantas a nivel experimental, en países como Estados Unidos.

La energía marina conocida como maremotriz se obtiene por medio de las mareas; existe un reducido número de lugares con posibilidad de aprovechamiento.

CAPITULO II ENERGIA SOLAR EN MEXICO

II.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Esencialmente en los últimos años se ha dado la explotación irracional del petróleo, gas natural y licuado del gas, toda vez que la demanda de energía crece aceleradamente debido a las necesidades de desarrollo económico del país sin negar así que los hidrocarburos continúan siendo el principal energético en la República Mexicana.

La producción energética por su importancia ha recurrido al uso de hidrocarburos, se ha llegado a absorber el 70% en diferentes años, incluso ha experimentado un incremento hasta 90% aproximadamente en los últimos años. Con base al Balance Nacional de Energéticos; el consumo nacional de energía únicamente por habitante, tuvo un promedio aproximado de 15.6 millones de kilocalorías en 1985; así la dependencia que se tiene de los hidrocarburos, como fuente energética primaria; se incrementa considerablemente. (20)

México se encuentra entre los países que tiene un gasto considerable en el consumo de energía, por lo que es necesaria la diversificación del Balance Energético Nacional y considerar la problemática respecto al agotamiento gradual de los hidrocarburos; ya que el problema se agudiza más por el hecho de que México tiene que exportar grandes cantidades de petróleo.

El primer choque energético de 1973-74 se dió precisamente porque el suministro energético de la economía mundial de esos años dependió precisamente de los combustibles fósiles a precios de mercado mundial reducidos; con la interrupción de la tendencia a la baja en los precios de dichos energéticos y con el temor de los países industrializados de la posible interrupción en el suministro de hidrocarburos se sacudió fuertemente la economía mundial.

(20). Balance Nacional de Energía, 1985, SEMIP, p. 9.

El mundo necesita una ilimitada cantidad de energía para mantener el ritmo de producción industrial que exige la población creciente; los hidrocarburos por su trascendencia energética son recursos de gran importancia, sirven de base para la producción de energía eléctrica. Pero desafortunadamente son poco sustituibles y no renovables, por lo que a futuro se agotarán.

Cualquiera que sea la situación debe implementarse un descenso paulatino en el consumo de hidrocarburos y apoyarse en el empleo de otros recursos energéticos como lo es la energía solar, misma que ofrece un vasto potencial energético para apoyar algunos problemas de energía eléctrica convencional.

Bajo este contexto precisamente es como se alienta la investigación de otras fuentes alternas de energía. Es decir, a nivel mundial ha crecido durante los últimos años el interés por investigar y desarrollar tecnologías que permitan aprovechar nuevas fuentes energéticas, con el afán de diversificar la producción de energía y así depender menos de los recursos energéticos no renovables.

Previendo el constante deterioro de los recursos petroleros y que es preciso racionalizar su uso, los países industrializados ponen atención a las tecnologías solares y resulta significativo que entre los inversionistas más importantes se encuentren varias empresas petroleras.

De hecho los equipos solares empezaron a ser utilizados a principios de siglo, pero fueron desplazados por los bajos precios y la mayor eficiencia de los combustibles fósiles, particularmente los hidrocarburos. Actualmente el consumo de energía se ha modificado y se ha convertido en prioritaria, así que la explotación de energía solar resulta nuevamente de interés para todos los países y sobre todo para aquellos que poseen las condiciones óptimas para su captación.

En efecto, como consecuencia de la crisis energética de 1973-74 se creó un gran interés por investigar y desarrollar ampliamente las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, entre otras, en nuestro país. A pesar de que el potencial energético que requiere el desarrollo socioeconómico aún no es abastecido por las fuentes

convencionales generadoras de energía eléctrica, no es aconsejable que se siga dependiendo únicamente de hidrocarburos; por el contrario, se insiste en el desarrollo de nuevas fuentes alternas de energía con miras a colaborar en la solución de este problema. Para ello se propone aprovechar intensa y extensamente energía solar aunque que por sus características naturales de hecho ha contribuido extraordinariamente.

Por otro lado, la energía eléctrica se ha convertido en un importante factor energético de desarrollo económico y social de la sociedad actual, proyecta el incremento productivo de la industria y el mejoramiento de los servicios así como el bienestar social.

Son estas algunas razones por las que México debe prestar más atención al desarrollo de nuevas fuentes de energía para apoyar la demanda que presenta el progreso técnico-científico de la humanidad. Sobre todo en la energía solar que ya se coloca en primera instancia, aunque no es aprovechada industrialmente hoy en día, a largo plazo podrían aspirar a cubrir un porcentaje de la demanda energética que el país requiera.

Es necesario aprovechar de manera dinámica la energía solar; energía que representa importantes perspectivas en México con un gran efecto, sobre todo, en el medio rural; ya que la electrificación rural significaría un medio de desarrollo y comunicación para aquellas comunidades más apartadas de las ciudades.

La energía solar representa una importante fuente de energía para el desarrollo futuro de México, ya que es uno de los países con mayor incidencia de rayos solares, además es un energético no contaminante, por lo que no afectará a nuestra ecología. Este recurso energético no ha sido posible aprovecharlo en nuestro país por falta de infraestructura adecuada, pero principalmente por falta de políticas estatales homogéneas de apoyo, sólo existe a nivel experimental, aunque ya se tiene la tecnología necesaria.

El aprovechamiento de energía solar se logra por múltiples métodos, desde los más sencillos hasta los más complejos como el caso de celdas fotovoltaicas. Por ejemplo: la producción de energía eléctrica mediante conversión fototérmica, esta técnica utiliza la energía solar inicial para producir calor, mismo que se convierte luego en electricidad, mediante un motor térmico; mientras que la conversión fotovoltaica consiste en fopilas que captan los rayos solares produciendo directamente energía eléctrica.

La energía solar mediante fotoceldas se transforma en energía eléctrica con aplicaciones inmediatas en la industria y en el hogar. Actualmente, México cuenta ya con servicios de alumbrado y refrigeración en algunas zonas rurales, aprovechando energía solar por el método fotovoltaico.

II.1.1 DESARROLLO HISTORICO

Indudablemente, el sol influye en la generación de los vientos y lluvias, asimismo es el sol quien ha propiciado la formación de los energéticos fósiles como el petróleo, gas combustible, carbón, recursos que se han conformado mediante la transformación de la materia desde hace millones de años, se han convertido en recursos no renovables y con características de deteriorar paulatinamente al medio ambiente.

El desarrollo y subdesarrollo de los países, el equilibrio ecológico, los avances científicos e industriales, la productividad y forma de vida, etc. existen a causa de la energía en todas sus formas y sus mecanismos de aprovechamiento; ahí precisamente el interés en la búsqueda de fuentes energéticas a lo largo de la humanidad.

Desde épocas remotas el hombre descubrió como fuentes energéticas al sol y al viento, posteriormente a la energía hidráulica, de modo que esta energía se ha conocido y usado por el hombre desde hace miles de años.

Arquímedes, sabio griego, (212 ac.) descubrió que los rayos solares podían ser concentrados en un punto determinado por medio de espejos. Posteriormente, el Alemán Salomón de Gaus, construye en 1615 una bomba solar para subir el agua por

expansión de aire caliente. Mientras que el francés Lavoisier inventó en 1772 un horno solar; muchos años después, Mouchot hizo funcionar una máquina de vapor y una bomba de agua a través del uso de energía solar. En Francia, los laboratorios de Mont Louis construyeron en 1949 un horno solar que alcanzó temperaturas hasta de 3,500° C, mismo que se usa para procesos metalúrgicos. (21)

Sin embargo, con la Revolución Industrial, y el descubrimiento y explotación de los combustibles fósiles, se desechó la posibilidad de mejorar las técnicas para el uso intensivo de éste energético. Es decir, la incipiente investigación de energía fue abandonada cuando gran parte de los recursos financieros se destinaron para la investigación y la tecnología del petróleo; ya que el petróleo era el energético más espectacular y sus precios estaban al alcance de todos. Años más tarde volvió a renacer la inquietud por el desarrollo de la energía solar, sobre todo con la crisis energética de los setenta y se da un gran impulso a su investigación.

La energía solar que recibe la superficie terrestre se convierte tanto en energía útil como en energía calorífica, mecánica y eléctrica; mediante tecnologías diversas que poseen variaciones desde sus componentes hasta su complejidad; pues mientras los calentadores de agua y secadores de grano son fabricados a través de técnicas sencillas y materiales comunes, el desarrollo de las celdas fotovoltaicas ha recorrido un largo período de investigación y éstas han pasado por complejos procesos de manufactura.

La tecnología de celdas solares es una actividad creciente en países desarrollados como Alemania, Francia, Estados Unidos, Japón e Italia, entre otros; quienes han venido investigando seriamente a fin de elevar las tecnologías para el aprovechamiento de energía solar y de esta manera no contaminar más el medio ambiente y ecológico.

A pesar de que desde el siglo pasado se descubrió el efecto fotovoltaico en celdas electrolíticas así como la fotoconductividad en el selenio, material con estructura semiconductor, no es sino con la primera y segunda guerra mundial cuando se

(21). SAHOP; 1979, Energía Solar no. 1, p. 4.

intensifican los esfuerzos por desarrollar los dispositivos fotovoltaicos.

E. Shottky en 1930 formuló la primera teoría para explicar la ocurrencia del efecto fotovoltaico, que actualmente se usa en el empleo de fotoceldas para la conversión de rayos solares en electricidad. (22)

Años más tarde se desarrolla y descubre el efecto fotovoltaico en otros materiales semiconductores como el silicio, permitiendo el logro de una eficiencia del 14% en laboratorios, porcentaje elevado comparado con dispositivos comerciales, que obtendrían un 10% hacia fines de la década de los sesenta y principios de los setenta. En esta, la actividad de desarrollo e investigación se centró en celdas fotovoltaicas de silicio cuya eficiencia permaneció entre 11 y 14%, a diferencia de otros materiales como el selenio, cadmio y galio; mismos que se descartaron por falta de resultados satisfactorios y porque su costo es más elevado que el del silicio. (23)

Las primeras aplicaciones que se dieron a las fotoceldas se observaron hace cuatro décadas en los satélites y barcos. Por ejemplo, en 1958 se logró convertir la energía solar en energía eléctrica, mediante el efecto fotovoltaico para satisfacer la demanda energética de los satélites. En ese mismo año se colocaron luces intermitentes en estaciones remotas de comunicación para la navegación, adaptando las fotoceldas a un repartidor amplificador que operó por un año sin problema alguno.

Países como Rusia y Estados Unidos de Norteamérica lanzaron sus primeros satélites equipados con arreglos fotovoltaicos de silicio.

Son evidentes los esfuerzos que se han hecho para el aprovechamiento de este energético alterno. Existen equipos sencillos que se fabrican para su distribución comercial que ha podido complementar ventajosamente el uso tradicional energético; la tecnología de celdas fotovoltaicas ha abierto el camino de manera paulatina mediante un continuo proceso de investigación.

(22). Concheiro A. y Rodríguez L., 1985, "Alternativa Energética", ed. F.C.E., p. 130

(23). Morales Acevedo A; 1984, Ciencia y Desarrollo no. 57, CONACYT, p. 28

Hasta hace dos décadas el uso comercial de fotoceldas se había reservado a proyectos especiales como los satélites, submarinos y equipos para dotar de energía eléctrica de emergencia a hospitales; sin embargo, hoy día circulan pequeños dispositivos solares en las calculadoras. Así la tecnología solar empieza a contribuir con eficacia, aunque sea en pequeña escala y usando dispositivos sencillos.

Muchos son los países que se esmeran por desarrollar y aplicar tecnología para el uso eficiente de energía solar, a lo que nuestro país no es ajeno. México también ha venido centrando su atención en la investigación y desarrollo de celdas fotovoltaicas de silicio, a través de sus organismos especializados y sus avances han sido considerables, por lo menos para proyectos determinados; aún no hay una producción masiva para la comercialización de fotoceldas, por lo que es necesario incrementar el apoyo económico y político en la investigación y desarrollo de este energético no contaminante.

II.1.2 CARACTERISTICAS Y DISPONIBILIDAD DE RECURSOS

Las características del espectro solar son importantes para la selección de los materiales a emplear en el aprovechamiento de esta fuente energética.

La energía solar no es más que el resultado de liberar grandes cantidades de energía proveniente de un proceso físico-químico complejo, básicamente de un proceso de fusión termonuclear. Resulta que el sol es una masa con una atmósfera gaseosa a temperaturas tremendamente elevadas, de ahí que los estudios científicos no puedan penetrar mas allá; aún así, los astrofísicos se atreven a decir que han logrado calcular la densidad, temperatura y composición de esos gases, incluso dicen conocer las reacciones nucleares que las hacen arder.

Según estudios, esa atmósfera gaseosa posee un diámetro aproximado de 1'291,000 km., el sol es una zona totalmente heterogénea, ya que la componen tres regiones diferentes que son: núcleo, fotosfera y cromosfera con corona solar. La primera región, genera energía mediante reacciones nucleares, en esta zona la

temperatura deberá alcanzar varios millones de grados, es inaccesible a la investigación.

La fotosfera es considerada superficie luminosa, compuesta por una capa delgada de aproximadamente 300 km., y produce casi la totalidad de los rayos solares que llegan hasta la tierra; la temperatura en esta área alcanza a miles de grados que decrecen rápidamente en el espesor de dicha capa, hasta llegar a la llamada temperatura de superficie que es de 4,500° kelvin; la fotosfera es una capa casi impermeable a las radiaciones procedentes del interior de la esfera. La cromósfera y corona solar, viene siendo la envoltura de la superficie solar formada por gases incandescentes con una temperatura de 6,000°C aproximadamente; es una región de poca densidad y por ende, la materia se encuentra diluida, pues a pesar de que la temperatura es elevada la radiación emitida es débil, prácticamente la energía que emite esta zona es la que llega a la tierra, haciendo un viaje de 1,500 millones de km. en forma de luz visible o de radiación invisible. (24)

El sol nunca está quieto, su superficie está hirviendo permanentemente con burbujas en forma de redes granuladas, apareciendo o desapareciendo manchas solares o regiones frías.

La radiación solar se altera considerablemente durante su trayectoria; la energía solar irradiada es realmente inimaginable, se extiende en todo el espectro y en todas direcciones. Sin embargo, la radiación interceptada por la tierra, según científicos, calculan que sólo son dos billonésima partes, proporción que basta y sobra para dotar al planeta de toda la energía necesaria y por tiempo indefinido. (25)

La radiación solar puede descomponerse en difusa y directa; esta última comprende el flujo de rayos solares captados desde la dirección del disco solar, mientras que la primera corresponde a la que llega a la superficie terrestre desde el resto del cielo y es producto del reflejo y dispersión de la luz solar a través de la atmósfera terrestre. La producción de cada una de estas radiaciones depende de la

(24). Covantes H; 1989, "La energía solar", Ed. F.C.E., México, D.F., p. 15.

(25). SAHOP; 1979, "Energía Solar" no. 1, p.7.

humedad, nubosidad, entre otras condiciones ambientales.

La composición de la radiación solar es indispensable para que las tecnologías solares disponibles aprovechen la insolación directa o la radiación solar, según sea el caso. Además la radiación total promedio anual sobre la superficie de la tierra varía de 2000 a 2,500 kw/m² en zonas de alta insolación, de 100 a 1,500 kwh/m² en lugares con latitud alta. (26) Comparando con los combustibles fósiles, la energía solar está mejor distribuida desde el punto de vista geográfico. Si a esto sumamos que al sol sólo se le calcula una edad entre 5 y 10⁹ años en promedio, estimando que durante toda su vida sólo ha consumido el 14% de sus reservas de energía; (27) se diría que se trata de una fuente energética natural inagotable prácticamente.

El aprovechamiento de la energía solar está sujeto a características como la distribución geográfica, baja densidad energética relativamente, así como las variaciones diarias y estacionales, entre otras que se dan bajo condiciones atmosféricas prevalecientes. De cualquier manera en la tierra existe la suficiente energía solar para abastecer una buena parte de energía requerida; a pesar de que su disponibilidad está limitada a condiciones concretas porque la radiación solar depende de la distancia con respecto al Ecuador.

Para aprovechar la energía solar se requiere de altos niveles de insolación durante la mayor parte del año. De cualquier manera se hace indispensable el uso de esta fuente alterna de energía en el país para satisfacer las necesidades de energía eléctrica en zonas rurales apartados, por el hecho de que su electrificación por métodos convencionales resulta costoso.

Gracias al descubrimiento de instrumentos necesarios para medir la radiación existente en diferentes regiones geográficas del mundo; se ha descubierto que México por su ubicación se localiza en una zona que resulta atractiva desde el punto de vista de la disponibilidad de este recurso energético. Geográficamente el país se localiza dentro de la franja de insolación máxima anual media, ya que está comprendida entre los 30°

(26). Concheiro a. y Rodríguez L., 1985, "Alternativas energéticas", ed. F.C.E., México, p. 58.
(27). Covantes H; 1989, "La energía solar", Ed. F.C.E., México, D.F., p. 15.

latitud norte y sur de la tierra; situado en una posición privilegiada de insolación con un gran potencial energético aprovechable.

La República Mexicana cuenta con casi el 70% de zonas áridas y semiáridas, mismas que cuentan con un alto grado de insolación durante todo el año, por lo que los rayos solares pueden ser aprovechables en estas regiones. Esto hace pensar que la energía solar en México represente una importante fuente energética para el futuro.

De acuerdo con evaluaciones realizadas por medio de la fotointerpretación de nubosidad observada por satélites meteorológicos, se encuentra que la radiación solar intensa en regiones del país se localiza particularmente en los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora, parte de Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Yucatán, Quintana Roo, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León y Zacatecas, sin descartar que el resto de los estados cuentan con la insolación necesaria para su reaprovechamiento. (28)

En base a estudios realizados por los Drs. Almanza y López, consideran que los Estado de Sonora y Chihuahua son zonas de mayor insolación a nivel mundial con una incidencia de 500 langleyes por día, (un langley día equivale a una caloría por centímetros cuadrado al día). Asimismo, con base a sus investigaciones determinaron también otras regiones con más de 450 langleyes-día, como Durango, Zacatecas, gran parte de Guanajuato y otras zonas que comprenden parte de Puebla, otras extensiones amplias de Oaxaca; además pudieron apreciar que más de la mitad del país recibe 400 langleyes-día por año.(29)

En el país son estas las perspectivas de explotación que ofrecen las características de insolación, en el campo de la conversión térmica y fotovoltaica de radiación solar, misma que colaboraría en la producción energética que día a día su demanda es más elevada.

(28). SAHOP; 1979, "Energía Solar" no. 1, p. 9.

(29). Almanza R; 1969, Energía solar para el futuro de México", Caseta UNAM no. 2348, p. 8.

II.1.3 IMPORTANCIA

Las reservas energéticas fósiles, en particular el petróleo y el gas natural no son renovables y se consumen rápidamente, situación que origina la búsqueda de nuevas formas energéticas que permitan colaborar en la solución del problema actual y futuro de los hidrocarburos. De ahí la amplia importancia que representa la investigación y desarrollo, así como el uso intensivo y extensivo de la energía solar.

La energía solar como fuente alterna es importante porque con su aprovechamiento, por un lado, se apoyaría la demanda de energía en aquellas regiones o comunidades del país que aún no cuentan con energía eléctrica para satisfacer sus necesidades fundamentales, asimismo a los núcleos rurales dispersos que su electrificación a través de los métodos convencionales resulta costosa. Por otro lado, con la disponibilidad de energía eléctrica captada de los rayos solares mediante dispositivos semiconductores o celdas fotovoltaicas se apoyará el desarrollo y bienestar social de dichas comunidades.

También es importante el uso de este energético alterno, toda vez que con ello se apoyará y contribuirá al ahorro de hidrocarburos y sin contaminar el medio ambiente; ya que el método de sistemas fotovoltaicos no tiene relación alguna con los combustibles fósiles, su manejo y almacenaje no representa peligro alguno. Si a esto se agrega el constante incremento de los precios de energía convencional, nos permite considerar la importancia de asegurar la obtención de energía en cantidades cada vez mayores, apoyándose en el uso de otras fuentes alternas de energía en cantidades cada vez mayores, apoyándose de éstas en la medida en que vayan disminuyendo los hidrocarburos.

Es importante porque en un futuro no lejano esta fuente alterna de energía podrá cobrar relevancia pese a su elevado costo; es importante porque se considera como un recurso natural inagotable y porque la energía solar puede transformarse en energía eléctrica con aplicaciones inmediatas en la industria y en el hogar.

II.2 INSTITUCIONES NACIONALES QUE INVESTIGAN

Actualmente en muchos países del mundo, sobre todo industrializados como Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia, Inglaterra e Italia, entre otros, se continúa con la investigación y desarrollo de tecnologías para el uso de energía solar, fundamentalmente en sistemas fotovoltaicos, a pesar de que ya poseen el desarrollo tecnológico necesario en materia, es una necesidad para lograr el mayor éxito en la competencia con fuentes convencionales.

Países subdesarrollados como India, Brasil y México, cuentan ya con una tecnología fotovoltaica propia. Las actividades de investigación en nuestro país son notorias desde inicios de la década de los setentas, las actividades se limitaron a organismos especializados de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional; mismos que avocaron su trabajo principalmente a la investigación básica de fotoelectroquímica y celdas fotovoltaicas, así como a la investigación aplicada sobre dispositivos de refrigeración, calentadores y destiladores de agua, desarrollo tecnológico de colectores planos y sistemas de bombeo.

En los últimos años se han dado pasos importantes tanto en la especialización como en instituciones dedicadas a la investigación y la aplicación de objetivos de programas, incluso las tecnologías que en esa década se encontraban en desarrollo, hoy día, aunque de manera incipiente, han alcanzado ya la etapa comercial.

De acuerdo con estudios y encuestas realizadas al respecto por el Colegio de México, se dice que México ha estado inmerso dentro de la investigación en cuanto a fuentes alternas de energía y sus investigaciones se canalizan principalmente en la mayoría de las instituciones o centros dedicados a la docencia y/o investigación, en gran medida universitarios; y en menor proporción por organismos públicos y asociaciones civiles.

Entre estos centros universitarios se guarda una heterogeneidad en cuanto a recursos humanos, tecnológicos y económicos con que cuenta cada uno; los que realizan los proyectos de mayor envergadura, lo conforma un reducido número de

investigadores. Por otro lado, estos centros realizan actividades fundamentalmente de investigación y desarrollo de proyectos y en última instancia la difusión del aprovechamiento de la técnica; es decir, hay una separación entre estas dos actividades, lo que obedece quizá a que la difusión implica prolongar los trabajos de diseño, construcción y operación de actividades experimentales por parte de los investigadores.

La mayoría de las instituciones que investigan fuentes alternas se inclinan principalmente en el estudio y desarrollo de técnicas para el aprovechamiento de energía solar, los recursos humanos están concentrados en su mayoría al aprovechamiento de esta energía alterna. En los primeros años de la década pasada, la energía solar absorbió aproximadamente el 65% del total del personal dedicado a la investigación de diferentes fuentes alternas de energía.

Dentro de este mismo campo, en cuanto a recursos humanos hay una marcada diferencia entre las tecnologías fototérmicas y fotovoltaicas; hay un predominio de trabajo en conversión fototérmica, comparado con la conversión fotovoltaica, ello obedece a la relativa simplicidad de tecnología requerida para la conversión de la primera por un lado, y porque sus recursos humanos se encuentran distribuidos en la investigación y desarrollo de proyectos integrales, en colectores planos y en generación de energía eléctrica.

En cuanto a celdas fotovoltaicas hay buenos avances en la investigación básica; los proyectos de demostración hasta hoy han tenido resultados satisfactorios, pese a los limitados recursos financieros que se han destinado a los grupos de investigadores. (30)

Hoy día se cuenta con un número reducido, pero avanzado en instituciones de investigación y desarrollo, interesados en la conversión fotovoltaica de energía solar. Se encuentra el Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), quién desde 1964 empezó a realizar trabajos básicos para convertir energía solar en energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas. Sus recursos

(30). Guzmán M O; 1982, "Las nuevas fuentes de energía en México; situación actual y perspectivas energéticas" no. 30, p. 56.

en estos años fueron precarios y sus necesidades de preparación de personal especializado fueron abundantes; con ayuda de la OEA, se definió por completo la investigación en el campo de las fotoceldas y la formación del personal con maestría.

Tiempo más tarde se fundaron bases estructurales de investigación tecnológica en el Programa Nacional de Unidades para el Desarrollo y con apoyo de CONACYT se dió continuidad a las actividades para demostrar la factibilidad tecnológica en la fabricación de celdas y módulos solares fotovoltaicos.

De acuerdo con información proporcionada por los Ings. J. Vega y J.L. del Valle, especialistas en el área, comentan: "La investigación se canaliza en el departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV-IPN, actualmente se cuenta con una planta piloto de pequeña capacidad de producción en fotoceldas de silicio monocristalino; se continúa con la investigación de nuevos materiales para la manufactura de celdas policristalinas y amorfa, hay interés por aplicar estos dispositivos a sistemas autónomos". Como se puede notar, el interés por el desarrollo tecnológico en este centro de investigación va más allá; comentan que: "El CINVESTAV se propone, incluso, crear los mecanismos de producción para la fabricación piloto de celdas y módulos fotovoltaicos, así como ampliar la investigación tecnológica para establecer una unidad de producción y a la mismo tiempo continuar con la investigación de nuevos procesos y estructuras tendientes a aumentar la eficiencia de conversión de las celdas y reducción de costos de manufactura". Consideran que ya existe la tecnología necesaria en materia de sistemas fotovoltaicos para convertir la energía solar en electricidad inmediatamente. (31)

Se encuentra también, el Instituto de Investigación de Materiales de UNAM, inicia sus investigaciones en el mismo año de su fundación, 1972, las cuales se centran en celdas solares de silicio cristalino. La tarea la desarrolla específicamente el Departamento de Energía Solar que aparece en 1979; este departamento, en cuanto al área de fotoceldas, tiene el interés por desarrollar celdas de silicio amorfo para colectores planos, se cuenta ya con tecnología avanzada, según investigadores piensan que es posible producir celdas de este tipo con tecnología propia.

(31). Entrevista directa con Los Ings. J. Vega y J. L. del Valle en CINVESTAV-IPN, marzo 1991.

Se cuenta también con la participación del Instituto de Investigación Eléctrica, quien se interesa por la aplicación de sistemas fotovoltaicos.

El gobierno mexicano ha venido trabajando en programas de construcción de casas solares pasivas, mediante INFONAVIT.

Participan en esta tarea organismos públicos como el Colegio de México, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Secretaría de Energía y Minas e Industria Paraestatal, Comisión Federal de Electricidad, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras públicas, así como la Asociación Nacional de Energía Solar.

Existen otros centros de estudios dedicados a la investigación y desarrollo en materia de fotoceldas, como el caso del Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), quien ha concentrado su atención en el desarrollo de foceldas desde hace varios años. Además investigan algunas Universidades regionales y empresas industriales.

CAPITULO III DESARROLLO TECNOLOGICO

III.1 AVANCE CIENTIFICO

Hasta hace dos décadas el uso industrial de Energía Solar se había reservado a proyectos especiales como los satélites, submarinos y equipos para dotar de energía eléctrica a los hospitales; sin embargo, hoy en día circulan pequeños dispositivos solares en las calculadoras. La tecnología empieza a contribuir con eficiencia, aunque sea en pequeña escala y con dispositivos sencillos.

Hoy día, en el campo de la tecnología de celdas solares, la actividad es amplia y avanza en varias direcciones. países posee el mayor desarrollo tecnológico en sistemas fotovoltaicos. Bajo esta misma perspectiva, Japón avanza en la fabricación de celdas de silicio amorfo hidrogenado, las cuales resultan económicas, dado que sólo se requiere de película delgada y se puede producir en placas de grandes dimensiones, y sus métodos de fácilmente pueden ser fácilmente automatizados. (32)

Alemania, Inglaterra e Italia; son países en donde existen fabricantes importantes de celdas y sistemas fotovoltaicos, cuentan con una paulatina aplicación de mercado interno y externo, reducción de costos y un aumento considerable en la eficiencia de conversión durante el transcurso de esta última década. Otros países donde la actividad es abundante por la búsqueda de fuentes energéticas no contaminantes y económicas son: Brasil y México.

Las celdas solares cobran relevancia, éstas ya no únicamente se usan en los satélites espaciales; sino también, por ejemplo; para el bombeo de agua en zonas desérticas, en la radiotelefonía rural y en otras actividades en las que se requiere llevar electricidad y no se puede hacer por métodos convencionales de energía.

Internacionalmente, el estado tecnológico actual y los avances científicos muestran que la mayor parte de celdas fotovoltaicas comerciales están basadas en la tecnología de silicio monocristalino y producen energía eléctrica de 0.5 volts(v)

(32). Concheiro A. y Rodríguez L., 1985, "Alternativa Energética", ed. F.C.E., p. 145.

aproximadamente, para prácticamente cualquier nivel de iluminación. En Estados Unidos, por ejemplo, gracias al avance científico ha disminuido el precio de las fotoceldas; pero para que su tendencia a la baja contenga, se han implementado políticas decididas a experimentar en el diseño, construcción y operación de plantas fotovoltaicas y al mismo tiempo promueven el mercado de las celdas, a lo que diversos países se suman a esta política.

En México, según señala Oscar Guzmán, 1982, las actividades relativas a conversión fotovoltaica de energía solar, muestran una variación en sus recursos tecnológicos según sea el caso: ya sea que se trate de una investigación básica y fabricación de celdas experimentales o bien, de la aplicación de módulos solares; en este último caso, ya sea como generador eléctrico en unidades prototipo, o en la difusión de sus aplicaciones a mayor escala. Estos dos aspectos señalados en primer término, están estrechamente vinculados con la investigación de las propiedades físicas básicas de los materiales, así como de la estructura de la fotocelda. (33)

La investigación en cuanto a fotoceldas en México tiene sus bases en la década de los sesenta, pues de ese período a estos últimos años se han dado pasos importantes, tanto en la especialización como en instituciones dedicadas a la investigación y en la aplicación objetiva de programas; incluso en las tecnologías que en la década de los setenta se encontraban en desarrollo, hoy en día, aunque de manera incipiente, han alcanzado ya la etapa comercial.

El país produce celdas fotovoltaicas, a nivel experimental, aún no se ha llegado a su fabricación en serie; porque a pesar de que en la actualidad se cuenta con una planta piloto para demostrar la disponibilidad tecnológica de producción de celdas fotovoltaicas con vista a su industrialización, la tecnología es artesanal y los medios de producción son limitados. Aún cuando los laboratorios de los centros que trabajan en fotoceldas cuentan con equipo tecnológicamente avanzado y de buena calidad, el problema es que no se cuenta con la cantidad necesaria para la producción masiva.

(33). Guzmán Oscar M; 1982. (obra cit). p. 8.

Todos los esfuerzos de investigación científica y tecnológica actual se dirigen hacia la reducción del costo de estos dispositivos de conversión, al incremento de la eficiencia de conversión de fotoceldas de silicio, así como al mejoramiento de su vida útil y capacidad de trabajo.

Es necesario destacar aquí que éste es uno de los temas de investigación que se desarrollan en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (IE-CINVESTAV-IPN), para lo que se han realizado sistematicos estudios teóricos y experimentales sobre celadas solares de silicio.

El CINVESTAV-IPN, inicia sus trabajos para conversión fotovoltaica desde finales de la década de los sesenta y su interés por el desarrollo tecnológico es amplio y ambicioso. Tienen, por ejemplo; el objetivo de aplicar fotoceldas a sistemas autónomos, entre otros.

En entrevistas directa con el Dr. J. L. del Valle y J. Vega investigadores de ese centro, consideran que: "Se requiere de mayor apoyo a los trabajos de investigación en este campo, tanto en la aplicación de infraestructura y equipamiento de laboratorio, como en el incremento de recursos humanos, para profundizar con la investigación de nuevos materiales, procesos y estructuras, tendientes a aumentar la eficiencia de conversión de las fotoceldas y la optimización del proceso de fabricación, esto último orientado a reducir los costos de producción; al mismo tiempo considera que es necesario establecer los mecanismos de transferencia tecnológica para pasar del laboratorio a la producción masiva o sector productivo, con el fin de industrializar la fabricación de celdas fotovoltaicas en México". (34)

El país cuenta con capacidad tecnológica 100% nacional para el diseño, fabricación y aplicación de celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino y policristalino. Sin embargo esta capacidad tecnológica no es aprovechada en toda la gama de sus posibilidades, dadas las precarias condiciones económicas de los consumidores y por la poca difusión de esta alternativa energética.

(34). Entrevista personal con los Ings. J. L. del valle y J. Vega en CINVESTAV-IPN, nov. 1990.

Como se puede notar, en cuanto a celdas fotovoltaicas hay un avance importante en el país, la investigación básica y los proyectos de demostración en materia, hasta hoy, han tenido resultados satisfactorios, pese a los limitados recursos financieros que se han destinado a su investigación y desarrollo para aprovechar la energía solar como fuente energética alterna.

III.2 CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA

Una celda solar fotovoltaica es un dispositivo que convierte la energía luminosa directamente en energía eléctrica; este fenómeno de transformación directa de energía solar en electricidad, utiliza como proceso de conversión el "efecto fotovoltaico" y se presenta en materiales semiconductores.

Una celda solar, es por ende, una placa semiconductor que libera corriente eléctrica cuando recibe luz; es decir, son semiconductores capaces de absorber la energía de los fotones presentes en la luz que incide sobre ellos, y la transforma en energía eléctrica de manera inmediata. Las fotoceldas no poseen ninguna pieza móvil ni alta temperatura, todo se efectúa en el seno del material semiconductor, ahí se desarrolla el fenómeno conocido como "conversión fotovoltaica". (35) (ver anexo 1).

Ahora bien, en cuanto a semiconductores; de acuerdo con ciertas propiedades físicas existen materiales que son: conductores eléctricos, otros son materiales aislantes, mientras que hay algunos que tienen conductividad intermedia, precisamente a estos últimos se les conoce como semiconductores, mismos que aquí interesa destacar.

Conviene señalar para una mayor comprensión que un semiconductor tiene 3 zonas conocida como: 1) banda de valencia, 2) banda de conducción y 3) banda prohibida. La banda de valencia es la última banda que está totalmente llena de electrones a una temperatura de cero absoluto; mientras que la banda de conducción, es la primera banda permitida que no está ocupada a dicha temperatura, asimismo, la

(35). Vega P. J.; 1989, "Generación de energía eléctrica a través de celdas solares fotovoltaicas", Ingeniería Eléctrica CINVESTAV-IPN, México, D.F., p. 8.

banda prohibida, es la banda intermedia y se define por el ancho de la banda (eg). (36).

Un semiconductor cristalino es caracterizado por una banda de energía prohibida entre una banda de valencia y una banda de conducción; a través de las cuales se mueven electrones y huecos o espacios libres que dejan los electrones cuando se les aplica un campo eléctrico externo, de manera que la conductividad de los semiconductores se puede controlar mediante la introducción de cierto tipo de impurezas. En consecuencia, si estas impurezas producen una mayor cantidad de electrones que de huecos, se tiene un semiconductor tipo "N"; pero en caso de producir una mayor cantidad de huecos que de electrones, se obtiene un semiconductor tipo "P". (37)

Básicamente, una celda solar es una placa de gran superficie constituida por dos materiales semiconductores de tipo "N y P"; formando una zona de unión adecuada para que la luz pueda penetrar en ellas y realizarse así el efecto fotovoltaico. De modo que una fotocelda la constituye una parte superior, mostrando una rejilla que permita la incidencia de luz en el semiconductor, y otra posterior formada por una capa metálica; ambas caras son contactos que actúan como medios de interacción entre el dispositivo y el exterior.

La estructura típica de una celda solar de silicio consta de: (38)

a)

Un sustrato tipo "P" de 250 micras (una micra es una milésima parte de un milímetro) de espesor aproximadamente.

b)

Una zona tipo "N", de 0.5 micras de espesor, aproximadamente.

c)

Una capa antirreflejante de dióxido de estaño.

(36). Mekelvey, John P.; 1969, "Física del estado sólido y simiconductores", ed. LIMUSA, México, p. 49.

(37). M. Acevedo A.; 1987, "Hacia una celda solar de alta eficiencia", Ciencia y Desarrollo no. 77, CONACYT, México, p. 95.

(38). Urbano Castelan J.A.; 1986, "Desarrollo integral de la conversión fotovoltaica en el CINVESTAV-IPN," México, D.F., p.4.

d) Un contacto metálico posterior.

e) Un contacto en forma de rejillas sobre la cara iluminada que permite recoger la corriente eléctrica, y a la vez, permite que la luz pase hasta el semiconductor.

De acuerdo con la relación eficiencia-costo y con la diversidad de semiconductores con los que se hace posible la fabricación de fotoceldas, se encuentra el silicio como el material más adecuado; ya que si bien no es el semiconductor ideal, su abundancia en la naturaleza y su alta eficiencia lograda recientemente, lo hace ser un material atractivo para la fabricación de celdas solares. Tal es el caso de las que se manufacturan hoy en día, particularmente en el CINEVESTAV- IPN.

Actualmente existen varios tipos de celdas solares fotovoltaicas, de acuerdo con los materiales empleados en las capas que la forman y con los valores de eficiencia obtenidos en laboratorios. Sin embargo, entre las opciones que están siendo investigadas recientemente se mencionan los siguientes tipos de celdas solares: (39)

1) Celdas de sulfuro de cadmio (CDS) y de sulfuro de cobre (CUS), o celdas de película delgada: Este tipo de celdas presenta la ventaja de una fabricación sencilla y de un rendimiento de conversión razonable, aproximadamente 5 a 8%. El problema que presenta este tipo de estructura, es su inestabilidad; es decir, su degradación en cuanto a rendimiento de conversión a través del tiempo.

2) Celdas solares de Arsenuro de Galio (Ga-As): Aunque estas celdas son de gran costo, presentan rendimientos hasta de 20% y pueden ser

(39). M. Acevedo A.; 1987. (obra cit.) p. 37.

utilizadas exitosamente, ya que son celdas de concentración. Sin embargo, la opción fotovoltaica mediante este tipo de celdas solares no han demostrado ser aún la mejor alternativa; pues dichos sistemas tienen además otros inconvenientes tales como: la instalación del equipo para el seguimiento solar, así como el de enfriamiento para disipar el calor en la celda solar.

3)

Celdas solares de silicio policristalino: Actualmente se fabrican celdas de este tipo, obteniendo una eficiencia del 10%. Esta es una opción prometedora a gran escala para el aprovechamiento de la energía solar.

4)

Celdas de silicio amorfo hidrogenado: Esta es una nueva alternativa que aparece en los últimos años, constituyendo un tema de investigación con gran atractividad en varios países; hoy en día ya se pueden fabricar celdas solares de silicio amorfo con una eficiencia del 5% aproximadamente. En el país, es el instituto de Materiales Eléctricos de la Universidad Autónoma de México, quien está investigando en este tema.

5)

Celda solar de silicio monocristalino: Este tipo de celda es la más comercial en el mundo; está construida a partir del silicio monocristalino tipo "P", y de fósforo, para obtener la superficie "N". En México se ha estado trabajando en esta área por varias instituciones, entre las que se encuentra la sección de electrónica del estado sólido del CINVESTAV-IPN, donde ya se ha desarrollado la tecnología para la fabricación de este tipo de celdas solares.

En cuanto al rendimiento de las celdas solares depende de las propiedades físicas de los materiales semiconductores.

Dentro de las características eléctricas, las fotoceldas proporcionan corriente continua cuando son iluminadas en la superficie del semiconductor tipo "N"; la corriente eléctrica que nos brindan éstas es determinada principalmente por la eficiencia, por el área que constituye la celda y por la intensidad de insolación.

III.3 PRINCIPIO DE OPERACION

Recuerdese que una celda solar, consiste en la unión de dos materiales semiconductores de gran superficie; construida de tal manera que la luz pueda penetrar en la zona de unión "P-N", en la que existe un campo interconstruido, esta unión es capaz de absorber los fotones presentes en la luz que incide sobre ella para convertirla en energía eléctrica.

Recuerdese también, que las celdas solares utilizan como proceso de conversión el "Efecto Fotovoltaico", es éste el fenómeno base que permite transformar la energía luminosa del sol directamente en energía eléctrica. Esto es, entre la energía luminosa incidente y la energía eléctrica resultante no hay ninguna fase intermedia de energía.

Para que la energía solar pueda ser convertida en energía eléctrica, mediante el efecto fotovoltaico, necesariamente deben estar presentes dos fenómenos: (40)

1)

El material semiconductor expuesto a la luz debe tener la propiedad de **absorción óptica**, fenómeno fundamental para explicar el efecto fotovoltaico; es decir, deben ser capaces de absorber los fotones de la luz que le incide, de tal manera que estos fotones interacciones con el material, generando así pares electrón-hueco. Para que éste se cumpla el fotón de la luz incidente debe tener una energía luminosa igual o mayor que la energía del ancho de la banda de la región prohibida del

(40). Urbano Castelan J.A.; (obra cit.) p. 10.

material semiconductor; de esta manera, la energía del fotón se transfiere a un electrón que se encontraba en estado de equilibrio en la banda de valencia, haciéndolo pasar a la banda de conducción.

2)

Además, es necesario que en el interior del material semiconductor exista un campo electrostático que permita separar las cargas negativas de las positivas, para que entonces aparezca una diferencia de potencial eléctrico en ambos lados de la barrera (límite de la unión de los dos semiconductores). Esta barrera de potencial electrostático en el semiconductor se logra contaminándolo con impurezas adecuadas.

Las celdas fabricadas en el CINVESTAV-IPN, por ejemplo, utilizan el silicio monocristalino tipo "P" con impurezas de fósforo para convertir la superficie a tipo "N", de esta manera se obtiene la unión "P-N".

Esto implica que el efecto fotovoltaico que genera corriente eléctrica, se produce al incidir la luz solar sobre las celdas fotovoltaicas de unión; se precisa que si los fotones absorbidos tienen suficiente energía, entonces se produce un exceso de electrón-hueco que se mueven en todas direcciones, debido al efecto de difusión. Sin embargo con la presencia de un campo eléctrico externo se provoca la separación de electrones y huecos, cuando éstos alcanzan la región del campo eléctrico precisamente en ese momento se produce una corriente eléctrica que se puede aprovechar.

III.4 TECNOLOGIA

Internacionalmente, hasta principios de la década de los ochenta, las fotoceldas en el mercado habían sido de silicio monocristalino, incluso fue el primer tipo de celda solar por el que varios países impulsaron su investigación y desarrollo, con el propósito de reducir costos. Los resultados han sido notables, de mediados de los setenta a la fecha, estos costos se han reducido considerablemente; su eficiencia también ha mejorado, se ha incrementado la producción e iniciado la comercialización de nuevas celdas solares fabricadas con procesos automatizados eficientemente.

Las actuales tecnologías de fabricación comercial de fotoceldas, con una mayor eficiencia, se basan en el empleo de materiales semiconductores de silicio; ya que, por un lado, es uno de los materiales abundantes en la corteza terrestre, y por otro lado, es el semiconductor más conocido tecnológicamente y científicamente.

Si bien, el silicio es un elemento abundante en la tierra, desafortunadamente aparece en forma de compuesto, además es un semiconductor pobre en su forma pura; por lo que necesariamente se le contamina con otros elementos para darle la conductividad requerida. Es ésta la razón por la que se le agrega una cantidad determinada de fósforo al silicio para generar cargas negativas, formando un semiconductor conocido como silicio tipo "N"; pero si al silicio se le añade boro, aparecen cargas positivas, formando el silicio conocido como tipo "P".

El silicio puede ser utilizado de tres formas:

- a) en su estado cristalino perfecto (monocristalizado,
- b) cristalizado imperfecto (semicristalino) y
- c) desordenado completamente (amorfo). (41)

Dado que el silicio no se encuentra aislado, se le aplica un proceso de reducción y purificación, luego se da un proceso de crecimiento de cristales de silicio en forma de lingotes cilíndricos, que finalmente se cortan en obleas.

La tecnología típica para la fabricación comercial de celdas solares fotovoltaicas parten del material base, que es la oblea de silicio monocristalino tipo "P", drogado con boro, por ejemplo; obleas de 5 a 10 cm. de diámetro. Esta tecnología comercial de celdas solares usa dos procesos que son: (42)

1)

Proceso de difusión: tiene como objetivo hacer fotosensibles la placa de silicio virgen tipo "P" para obtener la unión de los dos semiconductores;

(41). M. Acevedo A.; 1987, (obra cit.) p. 41.

(42). Vega P.J.; 1989, "Generación de energía eléctrica a través de celdas solares fotovoltaicas", Ingeniería Eléctrica, CINVESTAV-IPN, México, D.F., p. 8.

esto es, convertirla en una celda solar, introduciendo impurezas contrarias a las que tienen inicialmente. En la tecnología actual las impurezas de fósforo se introducen en el silicio mediante el proceso de difusión térmica, la cual se lleva a cabo en un horno tubular horizontal a una temperatura que varía entre 800 y 1,000°C

2)

Proceso de contactos: Tiene por objetivo proporcionar los dos electrodos a las fotoceldas, mismos que coleccionarán la corriente generada. Actualmente, la tecnología de contactos se realiza por la técnica de evaporación al alto vacío.

La celda solar obtenida originalmente en México como producto de la investigación y desarrollo de materiales semiconductores, cobra gran importancia. La tecnología de fabricación en celdas y módulos solares se encuentra en una etapa de intensa evolución; en cuanto a investigación y desarrollo se trabaja con una amplia variedad de materiales y estructuras, ya se han desarrollado prototipos fotovoltaicos y se cuenta con experiencia.

La tecnología que se ha venido desarrollando hasta hoy es a través de la planta piloto del IPN., y parte de placas de silicio tipo "P", con un diámetro de 7.5 cm. y 400 micras de espesor. El proceso tecnológico que se aplica en esta planta se resume en los siguientes pasos: (43) (Ver anexo 1).

1)

Fase de pulido químico de obleas: Este proceso se inicia con el pulido y preparación superficial de las obleas o placas obtenidas del lingote de silicio; ello se hace con el objeto de eliminar las impurezas adheridas y por los defectos mecánicos originados con el corte del material. Puesto que la oblea no es completamente plana, se le efectúa la supresión del óxido de la superficie a través de sustancias químicas.

(43). Romero Paredes A.; 1988, "Resultados y Avances logrados en la planta piloto de fabricación de celdas y módulos fotovoltaicos", I.E. del CINVESTAV-IPN, México, D.F. p. 135.

Concretamente, esta primera fase consiste en el pulido y limpieza de la oblea.

2)

Fase de difusión: Luego del pulido se efectúa la sensibilización de las placas de silicio, por medio de un proceso convencional de difusión de fósforo; ésto, a partir de una fuente de oxiclورو de fósforo y gases portadores de nitrógeno y oxígeno. La difusión térmica se lleva a cabo en un horno con temperatura de operación de 900°C aproximadamente para difundir en el silicio impurezas de fósforo; bajo esta condición se tiene una profundidad de la unión "P-N" de 0.5 micras, en un lapso de 30 minutos. Finalmente las celdas son desóxidadas con ácido fluorhídrico.

3)

Fase de eliminación: Etapa que consiste básicamente en el pulido químico de la superficie de la oblea, tal que únicamente quede la unión "P-N", éste es el diodo (unión de los dos semiconductores) que forma finalmente la celda fotovoltaica. Para ello se pasa por varias etapas en las que se cubre y descubre con sustancias químicas a la celda hasta eliminar los residuos orgánicos y metálicos que hayan depositado en la superficie.

4)

Fase de evaporación: Hasta aquí, ya se ha obtenido la celda fotovoltaica; solo resta adherir contactos en las superficies de la celda para recolectar la corriente generada. Esto se hace considerando, por un lado, que los contactos queden fuertemente adheridos y a la vez que presenten baja resistencia, que le permita evitar pérdida de potencia; y por otro lado, se considera que el material empleado presente facilidad para interconectar diferentes arreglos eléctricos. Los materiales que hay dado buenos resultados y que se están utilizando como electrodos para el acoplamiento metálico son: titanio y plata, una vez contactadas las

oblas con estos materiales, se colocan en un horno cuya temperatura es de 550° C, durante 10 minutos, en una atmosfera inerte de aragón para aumentar la adherencia de los electrones. Es decir, esta cuarta fase consiste básicamente en la metalización, misma que implica adicionar contactos mediante un equipo de alto vacío, en el que se funde titanio y plata en ambas caras de la oblea; en la superficie de fósforo terminal negativo, cara "N", se hará en forma de enrejado, y la superficie de silicio terminal positivo, cara "P", se hará en forma continua.

5)

Fase de rocío químico: Una vez contactada la fotocelda, se le adiciona una capa de dióxido de estaño sobre la cara "N", esta película sirve de antireflejante, logrando aumentar la absorción, y por tanto, la corriente generada.

6)

Mediante un sistema de adquisición de datos, se miden las características de voltaje, corriente y potencia. Las celdas así fabricadas poseen una potencia máxima de 0.5 watts.

7)

Finalmente, ya terminada la fabricación de fotoceldas, son interconectadas entre ellas, previa selección por corriente y potencia máxima, formando módulos solares fotovoltaicos.

III.4.1 MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO

Dado que la corriente fotogeneradora es proporcional a la insolación y al área iluminada, y el voltaje fotogenerado es constante con la insolación; considerando que la celda solar es un generador de energía eléctrica de baja potencia relativamente, por sus

características eléctricas. Es necesaria la interconexión de celdas solares unitarias para activar un equipo, a tales arreglos se les conoce como "Módulos fotovoltaicos".

Un módulo fotovoltaico, no es más que la representación de un conjunto de celdas interconectadas, ya que éstas por sí solas son unidades pequeñas generadoras de baja potencia eléctrica por lo que su aplicación requiere de la conexión eléctrica de varias de ellas. (44) (Ver anexo 2).

Los módulos que se fabrican en el CINVESTAV-IPN están integrados por 36 celdas solares de 7.5 cm. de diámetro e interconectadas en serie. Su técnica consiste en un soporte de vidrio sobre el cual se colocan las fotoceldas, vaciando en ellas una capa de resina de silicón para sellar las terminales de salida, con la finalidad de protegerlas de humedad, corrosión, fracturas, etc., y luego se enmarcan con un perfil de aluminio. Es decir, las celdas para constituirse en módulos son encapsuladas en un armazón que les proporciona soporte y protección. Estos módulos han sido diseñados para acoplarse a una batería automotriz, suministrando corriente en el régimen de carga, de 11 a 15 voltts (v).

Sin embargo cuando se desea activar una carga eléctrica mayor a la que se obtiene de un módulo, es necesario hacer interconexiones de varios módulos solares para obtener el voltaje y corriente de operación deseada. A este tipo de conexiones se les conoce con el nombre de "Arreglo fotovoltaico"; de modo que los arreglos solares están diseñados para proporcionar una potencia requerida, y son instalados sobre soportes mecánicos. (Ver anexo 2).

Finalmente, las celdas solares, con sus características de modularidad, se constituyen en un "sistema fotovoltaico", mismo que está formado por tres unidades fundamentales que son: (45) (Ver anexo 3).

1)

La unidad básica de un sistema fotovoltaicos, es la unidad convertidora

(44). Castejan V.: 1986, "Aspectos tecnológicos sobre la conversión fotovoltaica en México", Segunda reunión nacional sobre energía solar, Querétaro, México, p. 5.

(45). Castejan V., 1985. (obra cit.), p. 6.

de energía solar a energía eléctrica continua, la cual consiste en un arreglo de celdas conectadas en serie y en paralelo, formando un "arreglo fotovoltaico o pánel" para generar la potencia y voltaje requeridos.

2)

Unidad consumidora de energía, es decir, el equipo o aparato electrónico a operar.

3)

Unidad interfase, constituida a su vez por una sección de almacenamiento de energía a través de un banco de batería recargable; por una sección de control, mediante un circuito de protección automática de carga-descarga de batería.

En esta unidad se incluyen también, los tableros para la operación y monitoreo de señales eléctricas; se incluyen los convertidores de corriente directa a corriente alterna, o bien, convertidores de nivel de voltaje directo.

Durante el día el generador fotovoltaico, puede actuar como un cargador de batería, o bien puede operar directamente al equipo eléctrico en la modalidad de acoplamiento directo.

Con el empleo de batería, la carga eléctrica opera a partir de éstas y el sistema puede funcionar independientemente de las condiciones de insolación; además el voltaje de operación permanece casi fijo. De esta manera se cumple el principio básico de funcionamiento de un sistema fotovoltaico, que es el de lograr un balance entre la generación y el consumo de energía eléctrica, para lograr su autonomía independientemente de las condiciones de insolación.

Con todo lo anterior, se puede apreciar que las celdas solares son modulares e integradas a sistemas, mismos que no poseen partes móviles, operan a temperatura

ambiente, tienen larga vida de utilidad y prácticamente no requiere de mantenimiento alguno. El carácter de modularidad de celdas permite el diseño adecuado para satisfacer requerimientos de energía eléctrica de cualquier magnitud y aumentar su capacidad paulatinamente.

III. 4.2 APLICACIONES

En realidad las celdas solares, como elementos generadores de energía eléctrica, son dispositivos prometedores en todas las áreas. Cualquier aparato eléctrico o electrónico puede ser activado mediante celdas solares, debido a la versatilidad para su manejo e instalación potencial en el área rural y en los lugares de difícil acceso, en donde no hay o es difícil llevar energía eléctrica convencional. Dentro de las múltiples aplicaciones que se dan al uso de las fotoceldas, puede dividirse en dos grupos: Aplicaciones de beneficio social y aplicaciones de servicios auxiliares profesionales.

1)

Aplicaciones de beneficio social: En este grupo encuentran respuesta las necesidades de servicio indispensables que demanda el medio rural, principalmente, y suburbano; aquí se contemplan los sistemas de : alumbrado a escuelas, clínicas y telesecundaria, bombeo de agua, refrigeración para clínicas, radiotelefonía, alumbrado público, transmisores de T.V., etc.

2)

Aplicaciones de servicios auxiliares profesionales: En este grupo se encuentran: señalamientos ferroviarios, radio-faros aéreos y navales, estaciones sismológicas, meteorológicas y forestales, equipos portátiles, etc.

Además, mediante sistemas fotovoltaicos autónomos, instalados en los techos de las casas, puede obtenerse agua caliente y energía eléctrica para aparatos de uso doméstico y alumbrado de las mismas. (Ver anexo 4).

En cuanto a la capacidad energética que puede cubrirse con las celdas solares, se considera básicamente que está en función del costo del sistema fotovoltaico; ya que, en realidad no hay límite tecnológico en las aplicaciones, debido a la diversidad de

equipos eléctricos y electrónicos que pueden operarse. En estos equipos la energía de consumo puede oscilar desde muy baja potencia. 0-1000 watts, equipos de mediana potencia, que van desde 1,000 a 100,000 watts, hasta la instalación de centrales fotovoltaicas de gran potencia, del orden de 100,000 watts hasta megawatts. (Ver anexos).

III. 4.3. PROYECTOS NACIONALES

En varias zonas rurales de diversos Estados de la República Mexicana se encuentran instalados por el CINVESTAV-IPN, más de 200 sistemas fotovoltaicos para aplicaciones diversas; dichas instalaciones se desarrollan dentro del marco de proyectos inter-institucionales, Federales y Estatales.

Estos proyectos engloban la instalación de 160 sistemas de alumbrado para escuelas albergues del Instituto Nacional Indigenista (INI), así como equipos de alumbrado en Palacios Municipales, distribuidos en zonas marginadas del país.

Existen instalaciones de sistemas de televisión para recibir programas educativos de Primaria y Secundaria, transmitidos por la Secretaría de Educación Pública.

Por ejemplo, en coordinación con la Dirección de Telesecundarias de Educación Pública y la Comisión Nacional de Energéticos de la Secretaría de Patrimonio Nacional, se diseñó e instaló un sistema de televisión en blanco y negro, para fines educativos, como estación experimental de telesecundarias en dos pequeños poblados de la Sierra Norte de Puebla: "Bienvenido de Galeana", que viene operando desde 1977; el generador solar o panel fotovoltaico es de 30 watts, un televisor comercial de 21, " (pulgadas) modificado para bajo consumo, un sistema de control de carga y dos acumuladores convencionales. El otro sistema de televisión viene operando desde 1980 en "Tlamaya", Puebla. En ambos casos, se han mostrado resultados considerable, cada televisor consume 24 watts y funciona con dos módulos solares de 15 watts cada

uno. (46)

Otro proyecto, por ejemplo; de acuerdo con el informe técnico del CINVESTAV-IPN, consiste en la modificación de un televisor a color de 20" para operar con módulos fotovoltaicos y batería de automóvil, con la finalidad de consumir la mínima energía posible. El televisor, cuyo consumo nominal original era 75 watts, una vez modificado registrará un consumo promedio inferior a 55 watts a, máximo brillo; funciona confiablemente sin falla alguna. El sistema consta de un T.V. de 20", 4 módulos solares de 17 watts cada uno, dos baterías de 12 volts tipo automotriz y un control de carga. (47). Actualmente el prototipo desarrollado está disponible para su aplicación masiva.

Se cuenta con un sistema prototipo para bombeo de agua, operando motobombas de 3/4 y 7 1/2 caballos de fuerza (HP). El proyecto BID-CONACYT 1987, por ejemplo, reporta el desarrollo de un prototipo de motor-bomba, el cual esta diseñado para operar una hora diaria, durante los 365 días del año y para extraer agua desde mantos fráticos localizados hasta 90 metros de profundidad, con respecto a la superficie del terreno; obteniendo 11,520 litros de agua por día, suficiente para cubrir la necesidad de comunidades hasta de 200 habitantes. Es posible aumentar el tiempo diario de operación, incrementando los módulos instalados y así abastecer a más habitantes. Este sistema fotovoltaico consta de un arreglo de 48 módulos, cuya potencia es de 33 watts a 28°C cada uno.

Los módulos están distribuidos en 6 paneles conectados en paralelo y cada panel está integrado por 8 módulos conectados en serie. Tiene una unidad de almacenamiento que consta de un banco de batería, 20 baterías tipo industrial interconectadas en serie. El motor instalado es marca "General Electric" de 150 kg, y es activado por 120 volts de corriente directa. Se instaló una bomba marca "Gould" modelo 8-AHC de 500 kg., tipo vertical, posee una eficiencia de 74 %, entrega un gasto de 3.8 litros de agua por segundo. (48)

(46). Quintero R. y Vega P.J.; 1985, "Informe final sobre La adaptación de un televisor a color operando mediante módulos solares", Informe técnico no. 19. CINVESTAV-IPN, México D.F., p. 18

(47). Quintero R. y Vega J.; 1985 (Informe cit.)p.25.

(48) Del Valle I., Urbano J.A, Vega P.J. y otros; 1987, "Proyecto BID-CONACYT. Ingeniería de sistemas fotovoltaicos", Informe técnico No. 79 CINVESTAV-IPN, México, D.F., p. 38

En coordinación con la Comisión de Radio-Teléfono Rural de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; aprovechando la experiencia tecnológica en la fabricación de celdas solares, se han diseñado y construido generadores solares de 30 watts, para aplicaciones de radio-telefonía rural. Así mismo, se han realizado, para dicha comisión, estudios técnico-económicos de la alternativa energética y para las estaciones base "Guadalupe de los Reyes y Madroño", sistemas de base de radio-telefonía rural en los altos de Silanloa.

En 1977, por ejemplo; se instaló un sistema fotovoltaico para telefonía rural en el Estado de Puebla, para operar con módulos fotovoltaicos, alimentados de energía solar.

Se cuenta con un receptor transmisor, vía satélite experimental en los campos del CINVESTAV-IPN.

Estos pueden ser algunos de los proyectos que se ha realizado en México, a través del CINVESTAV-IPN, dichas instalaciones y estudios realizados, han permitido demostrar la factibilidad económica de los sistemas solares fotovoltaicos como fuente de energía eléctrica autónoma en sitios remotos del país; asimismo la concepción de estos sistemas fotovoltaicos por técnicos mexicanos, permite reducir sus costos de manera importante.

CAPITULO IV ANALISIS ECONOMICO

IV. I. MEDIO RURAL MEXICANO

La mayoría de las naciones latinoamericanas se encuentran con problemas de integración sociocultural de sus comunidades indígenas; son estas áreas en particular donde las nuevas fuentes de energía pueden jugar un papel importante. México no escapa a esta problemática, se sabe que el medio rural es deficitario en energía eléctrica en mayor grado comparado con las zonas urbanas.

De acuerdo con el Programa Nacional de Energéticos, se afirma que más de 80,000 comunidades rurales, de las cuales aproximadamente el 75 % lo conforman poblaciones que sólo cuentan con 100 habitantes cada una, no cuentan con el servicio de energía eléctrica convencional; lo cual representa un 25 % del total de la población. (49). Esto sin considerar algunas zonas urbanas que carecen también de este servicio.

La población marginal de las ciudades, pero sobre todo las zonas rurales del país constituyen los sectores más desfavorecidos por el desarrollo energético y por tanto de la economía nacional. La falta de abastecimiento de energía eléctrica a las zonas rurales ha causado diversos problemas: escasez de tierras irrigadas, la insuficiente producción agrícola, así como la limitada cobertura de los satisfactores básicos, entre otros problemas que se presentan en dichas zonas. Todo ello se refleja claramente en la creciente migración del campo a las ciudades, lo que es más, al extranjero como a Estados Unidos. La falta de energía eléctrica en el campo también se manifiesta en la falta de transporte, de alumbrado y servicios públicos en general; lo cual muestra características dramáticas para esas regiones: falta de agua potable, analfabetismo, Incomunicación, miseria, etc.

Si bien este cuadro dramático no sólo se aplica en el campo, es cierto que son las poblaciones rurales las que están desconectadas de la vida económica del resto del país; existe menor posibilidad de dar educación por falta de escuelas, padecen

(49). Programa Nacional de Energéticos, 1984-1988, Poder Ejecutivo Federal, México, D.F., p. 18.

enfermedades endémicas por falta de clínicas médicas para combatirlas, etc. Es en el medio rural donde se reflejan claramente las diferencias sociales que existen en el país. En estas condiciones, es el desarrollo de las nuevas fuentes de energía las que pueden contribuir a cubrir las necesidades de energía eléctrica en la población rural, en particular en las regiones con mayor dispersión de asentamientos humanos y donde existe un mayor aislamiento de las comunidades.

Las nuevas fuentes de energía pueden dar respuesta a las necesidades energético-productivas de la población rural, también pueden contribuir en el sector industrial y de servicios en menor proporción; al mismo tiempo contribuye en el uso racional de energéticos del país, así como en su diversificación.

El aprovechamiento de energía solar mediante la tecnología de sistemas fotovoltaicos constituye una opción energética para estas zonas; ya que la generación de energía eléctrica por este método implicaría la contribución al ahorro de los combustibles convencionales con un consecuente impacto sobre el Balance Energético de ese sector, sobre todo que el uso de estos sistemas para generar electricidad no provoca contaminación ambiental, problema que hoy día ha alcanzado niveles críticos en nuestro país.

La tecnología de sistemas fotovoltaicos permite generar consideradas cantidades de energía eléctrica, por lo que su desarrollo no únicamente es posible y deseable en esas zonas sino que es necesario, permitiría mejorar las condiciones de vida y de producción de cada uno de los habitantes de dichas comunidades indígenas; sobre todo que sería un incentivo para reducir la fuerte migración rural-urbana por el deterioro de su situación económica.

Contar con energía eléctrica en el campo significa ir cambiando el nivel de vida de grandes zonas rurales que socio-económicamente se encuentran en marginación hoy en día. Es indispensable contar con este servicio en el campo porque independientemente de que vive una buena parte de la población, es donde se genera la mayor parte de riqueza; son los campesinos quienes producen los alimentos que se

consumen en áreas urbanas y gran parte de los productos de exportación; es el campo quien soporta el crecimiento de las ciudades y el desarrollo industrial.

La alternativa de sistemas fotovoltaicos para generar electricidad captando los rayos solares, en el campo es muy práctica; ya que debido a sus características de modularidad, sencilla colocación y lo fundamental que la fuente primaria de energía se encuentra en el lugar de uso (El sol) para transformarla en electricidad y satisfacer la demanda requerida en el momento, o bien, almacenarla en el banco de batería para ser utilizada posterior y satisfactoriamente en esos lugares remotos.

Tomando en consideración que el Plan Nacional de Desarrollo menciona que una especial atención merece el hecho de que un segmento importante de la población no tiene acceso a la energía eléctrica a pesar de los esfuerzos de electrificación que se han estado haciendo hasta la fecha, que por sus condiciones de ubicación geográfica se encuentran alejadas de las líneas de distribución convencional; características que determinan que los costos de electrificación rural sean cada vez mayores.

Asimismo el gobierno federal está implementando subprogramas energéticos para que dichas zonas cuenten con el servicio de energía eléctrica. Se sugiere que en dichos subprogramas se contemple el uso de nuevas fuentes de energía no contaminantes, particularmente, difundir y fomentar entre los habitantes el aprovechamiento de energía solar mediante aplicaciones con sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.

IV. 1.1 OFERTA Y DEMANDA DE ENERGIA

Las estructuras de producción primaria de energía, sus diversos procesos de transformación, así como su consumo final, constituyen el análisis de la realidad energética como parte importante para la modernización del país.

La oferta y demanda de energía en México, está determinada por los hidrocarburos; situación que no ha cambiado desde los últimos 20 años. El país tiene

un alto grado de consumo energético por habitante y en este elevado consumo de energía se combinan diversos factores: elevadas tasas de crecimiento urbano, transformación de la estructura industrial, en los que han cobrado importancia sectores de alta intensidad energética. También participa un patrón de demanda por los bajos precios de los energéticos que no sólo han conducido a un consumo eficiente desde el punto de vista económico y social, sino que incluso a un derroche de recursos; dependemos en más de un 90 % de hidrocarburos como fuente primaria, situación compleja realmente.

Ha sido complejo determinar o cuantificar la oferta y demanda energética en el medio rural, aunque existen algunos trabajos realizados al respecto, sólo hacen referencia a problemas particulares; es decir, no existe información suficiente, cualitativa y cuantitativamente hablando para presentar un diagnóstico sobre la demanda y oferta de energía en el medio rural del país, así, que es difícil tener una visión nacional de dicha situación.

Según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Eléctricas, 1984-86 a varias comunidades rurales, se encontró que la leña es el recurso más empleado por dichas comunidades y el uso de energía comercial está determinado directamente por el nivel económico de las familias.

Los estudios realizados por la Dirección General de Investigación y Desarrollo de SEMIP, 1986, concluye que el consumo per cápita de energía en el medio rural oscila entre 1.57 a 8.8 barriles de petróleo crudo equivalente al año.

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo, 1984-88, establece en la estrategia de desarrollo rural integral, atender el mejoramiento de los niveles de bienestar social de la población rural, lo cual significa la integración de las mismas con el resto del país, la participación organizada de las comunidades así como la plena utilización de los recursos naturales y económicos.

La oferta limitada de electricidad, asimismo la política de desarrollo rural, encaminada a elevar la calidad de vida y mejorar el bienestar económico-social de ese

sector, implica promover las actividades productivas en ese medio; significa que el sector energético tenga una atención particular, realizando una planificación energética que a la vez promueva el uso de fuentes locales de energía esencialmente nuevas y renovables, como el caso de energía solar, que satisfaga los requerimientos de energía tanto actuales como futuras dentro del marco socioeconómico en esas zonas.

Sin embargo, antes de ver la futura contribución de esas nuevas fuentes, es necesario analizar la posible magnitud de demanda de energía primaria. Son los futuros niveles de oferta y demanda de energía quienes determinan la tasa con que serán explotados los recursos energéticos disponibles, particularmente los hidrocarburos y son quienes fijaron la necesidad de utilizar nuevas fuentes renovables de energía a largo plazo.

La ejecución del Programa de Electrificación Rural 1982-86, por ejemplo, beneficio aproximadamente a 4 millones de habitantes, más de y mil poblaciones rurales y colonias populares. (50)

Recientemente, el propio Presidente de la República, Carlos Salinas de G. afirmó públicamente que en lo que va de su administración se ha dotado de electricidad a más de 14 mil comunidades campesinas, pero aún no es resuelto el problema de electrificación en esas zonas.

IV. 1.2 CONSUMO ENERGETICO EN EL MEDIO RURAL MEXICANO

El papel que juegan lo energéticos, así como la disponibilidad a los precios más bajos posibles, son factores para el desarrollo del sector rural en México.

A pesar de las innegables aportaciones al proceso de desarrollo el país aún enfrenta una problemática energética compleja, destacando factores como el alto grado de consumo por producto producido, la gran dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria, la falta de disponibilidad de energía eléctrica de un sector importante de la población como lo es el medio rural.

(50). Estadística por Estado Federativo, 1987. C.F.E., México, D.F., p. 14

Evidentemente la energización rural muestra características distintas a las del medio urbano; mientras en éste prevalece un alto consumo de energía convencional, producto de las elevadas tasas de urbanización y de la infraestructura industrial existente, de ahí que la dependencia de los energéticos tradicionales sea elevada. El medio rural, en cambio, está prácticamente fuera del sector energético, afectando principalmente a los pequeños núcleos rurales dispersos, por su irregular abastecimiento. De acuerdo con estudios realizados por SEMIP, 1987, el consumo total rural de energía fue de 94.865 billones de kilocalorías anuales, lo cual equivale a un consumo rural medio per cápita de 11 mil 458 kilocalorías diarias, representando aproximadamente el 40 % del consumo total nacional. (51)

La estructura energética en el medio rural está formada por diversas fuentes que son: leña, gasolina, gas l.p. disel, petróleo, electricidad, pilas y baterías; algunos de estos energéticos se consumen en menor proporción aunque son importantes en dicha estructura como se verá a continuación.

Leña: La leña y el gabazo desempeñan el papel fundamental en la estructura energética del sector rural mexicano. Tan sólo en 1987, por ejemplo, contribuía con un 70 % aproximadamente del total de la demanda energética rural, representa más de 16 millones de toneladas de leña al año. (52)

La leña no es un energético comercial, pero un número considerable de habitantes en el campo la compra ocasionalmente; sus precios varían dependiendo de la calidad y cantidad del producto, así como de la época del año en que se realiza la operación. En 1987, por ejemplo, los precios más bajos fueron del orden de 10 pesos kilogramo y los más altos de 150 pesos kilogramo.

El principal uso que se le dá a la leña es para la preparación de alimentos, para el calentamiento doméstico de agua en menor proporción, para generar energía térmica a procesos pecuarios, para iluminación del hogar, para la fabricación de objetos de barro, entre otras.

(51). SEMIP; 1988, Energía Rural en México, p. 13.

(52). Ibid. p. 27.

La obtención de este energético es por la recolección de árboles muertos o ramas vivas en el bosque, lo que implica recorrer varios kilómetros e invertir varias horas del día y es transportada con el esfuerzo físico de las personas o empleando animales de carga.

Sin embargo, el uso de este energético, por la gran dependencia que se tiene de él en el campo, provocaría un grave problema que es el deterioro de la flora. Indicador importante para iniciar la reforestación en dichas zonas, así como fomentar el uso de otras energías nuevas y renovables.

Gasolina: Este energético contribuye a la satisfacción de las necesidades rurales, aporta el 10.5 % del total de la energía consumida en esas zonas, equivalente a 277 millones de litros anuales. (53)

El empleo de la gasolina es importante en el medio rural, pero son pocos los consumidores de dicho energético; ya que su consumo se limita principalmente para aquellos grupos con mayores ingresos, por lo que el porcentaje de usuarios es bajo. Los consumos elevados de gasolina corresponden a poblaciones con alto grado de actividad agrícola y pecuario, implementandola en las máquinas agrícolas, vehículos de transporte, para las plantas de bombeo de agua, generación de energía eléctrica, etc. Estos lugares cuentan con un buen acceso, por lo que los precios del energético son acorde con los oficiales, aunque tienen un problema de abastecimiento porque las estaciones de servicio son escasas en el medio rural.

Las comunidades más pobres no electrificadas, usan ocasionalmente gasolina para el uso exclusivo de iluminación en el hogar o para molinos de nixtamal, por tanto el consumo es bajo o nulo. También se suma el hecho de que estas comunidades tienen un difícil acceso por lo que la comercialización de este energético es en pequeña escala y a través de una cadena de intermediarios, incrementando así el precio oficial del combustible, incluso hasta el 100 %.

Gas L.P.: Este energético contribuye en 9.984% del total equivalente a

(53). SEMIP; 1988. "Energía rural en México", p. 35.

814 millones de kilogramos anuales. (54) A pesar de que es muy importante este producto en la satisfacción de necesidades energéticas del medio rural, su uso no es generalizado, al igual que el anterior éste cuenta con un número reducido de consumidores, lo usan prácticamente familias con mayores ingresos.

El empleo cotidiano de este energético está determinado por el estado que guardan sus vías de acceso y el tamaño de la población; es decir, entre más difíciles sea el acceso de entrada a esos poblados mayor es el problema de abastecimiento y sobrepuestos, por el transporte y distribución, por lo tanto el precio del gas l.p. para esas familias es elevado.

Este energético se presenta como una imagen de modernidad en esas zonas rurales y su empleo depende directamente de la variación económica de las familias en todo el año. Las familias con buenos ingresos usan el gas l.p. en estufas y principalmente para la preparación de sus alimentos, el calentamiento doméstico de agua; mientras que las comunidades de difícil acceso si a caso la utilizan es para iluminación.

Diésel: El uso del diésel en las comunidades rurales del país es bajo, los usuarios apenas representan un 10 % del total de la población; el consumo de este energético es variado, por tanto, existen pequeñas comunidades que consumen de 1 a 10 litros mensuales en promedio por familia y sólo para iluminación, para estas comunidades alejadas el precio se incrementa por concepto de transporte. En regiones altamente agrícolas el consumo de diésel representan un 30 %; y la mayor parte de sus consumidores lo usan para equipos de transporte, máquinas agrícolas y motobombas para riego, el consumo familiar en esas regiones varía de 400 a 900 litros al mes. (55)

Electricidad: Dentro de la estructura energética rural nacional se encuentra la electricidad, aportando el 2.59 % de los requerimientos rurales de energía. El consumo medio familiar en las comunidades que cuentan con este servicio, va de 16 kwh/mes en zonas de mayor desarrollo. (56)

(54). SEMIP, 1988, "Energía rural en México, p. 31.

(55). SEMIP, 1988, "Energía rural en México, p. 37.

(56). Ibid.

De las comunidades que sí están electrificadas existe una cantidad considerable de viviendas que no gozan del servicio, debido a la organización de las casas en las comunidades, es decir hay una gran dispersión en las viviendas, lo que dificulta y encarece la electrificación a esas familias.

En cuanto al precio de este energético también es variado: hay comunidades rurales que aún no cuentan con medidores de consumo de electricidad, entonces el cobro es una cuota fija con base al número de focos y de contactos.

El principal uso que se da a la energía eléctrica en el medio rural es para la iluminación esencialmente, así como para el uso de algunos aparatos eléctricos, radio principalmente y plancha ocasionalmente. En las regiones rurales desarrolladas, la electricidad tiene una participación importante, ya que cuentan con sistemas agropecuarios intensivos y parte de las agroindustrias.

Petróleo diáfano: El petróleo participa con 1.58 % de la energía empleada en el medio rural nacional, lo que equivale a 179 millones de litros al año. El precio de este energético también es variable, hasta 348 pesos por litro para 1988 debido al intermediarismo que existe. (57)

El consumo medio familiar es variable y su principal uso en zonas apartadas, principalmente en el sur del país, es para iluminación del hogar mediante el quinqué; mientras que en otras regiones, (norte y centro del país) se utiliza para proporcionar calor a uso pecuarios, calefacción de huertos y casas.

Pilas y baterías: La mayoría de las comunidades rurales que no cuentan con energía eléctrica usan pilas y baterías como fuente de energía, aunque su aportación es muy pequeña; tiene gran difusión en esas regiones. El uso principal de las pilas es para iluminación, mediante lámparas de mano así como para radio; en cuanto al precio de este producto es elevado, ya que no está sujeto a ningún tipo de regulación oficial; pues iluminar la vivienda con este recurso resulta costoso.

(57). SEMIP; 1988, "Energía rural en México," p. 41.

La batería de uso automovilístico es exclusivo de comunidades no electrificadas; y su uso es importante para alimentar el amplificador de sonido, resulta costoso por el difícil traslado para cargarlo.

Son estas las condiciones energéticas y sus repercusiones como la tala inmoderada de bosques, conllevando a un problema de deterioro ambiental y ecológico; la existencia de un gran intermediarismo y abuso de comerciantes en la compra-venta de los energéticos ya mencionados que emplean las comunidades rurales del país. Motivos suficientes en las comunidades rurales para contar con energía eléctrica que permita mejorar sus condiciones de vida.

IV. 2. ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Realmente existen escasos trabajos que analicen desde el punto de vista económico el aprovechamiento de energía solar y menos aún por el método de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, haciendo historia acerca de la evolución del precio para generar un watt de energía eléctrica por sistemas fotovoltaicos para aprovechar la energía solar, éste ha sufrido cambios considerables.

Cuando las aplicaciones eran para propósitos especiales, satélites y barcos, se optimizaba la máxima potencia al menor peso y volumen, por lo que el costo de estos generadores solare, alcanzaban precios elevados de hasta 500 a 900 dolares el watt a inicio de los sesentas y los generadores fotovoltaicos en tierra eran igualmente costosos en esa época. (58)

Existe una gran variabilidad internacional de precios principalmente porque existe poca difusión y escasas políticas para el impulso de su industrialización, por tanto un reducido mercado de consumo, la existencia de pocas industrias altamente desarrolladas, distintas tecnologías de desarrollo.

Esta variación de precios es mayor en México, ya que aunado a los factores ya

(58). M. Acevedo A.: 1984, Ciencia y Desarrollo No. 57, p. 63.

mencionados existe el intermediarismo. En 1981, por ejemplo, una ensambladora de módulos solares en México ofreció precios de 30 dolares el watt, otras representaciones ofrecían, en ese mismo año, precios entre 15 y hasta 60 dolares el watt.

La tendencia del precio del watt de energía fotovoltaica ha bajado sustancialmente; de hace tres décadas a la fecha, esta tendencia ha sido soportada básicamente por cuestiones como la crisis energética de 1973; tecnologías muy desarrolladas, innovación tecnológica-científica en la fabricación y por el descubrimiento y uso de nuevos materiales a gran escala, principalmente en países desarrollados como Estados Unidos y Japón. En estos últimos años el costo del watt-pico fotovoltaico sin instalar, sólo para recuperar sus costos de producción, es de 9 a 11 dolares y de 3 a 5 dolares el watt al mayoreo en el mercado internacional. Sin embargo, el costo incrementa ya instalado entre 40 y 60 % dependiendo del tipo y tamaño del sistema a instalar, debido a que se requieren otros equipos y accesorios como estructura metálica, cable, batería electrónica de control e ingeniería para su instalación.

Estados Unidos por ejemplo, ha destinado grandes inversiones a la investigación y desarrollo de sistemas fotovoltaicos y sus esfuerzos han tenido resultados espectaculares, de 1975, a estos últimos años el costo del watt-pico ha bajado de 4 a 6 dolares y el tiempo de vida de los módulos se ha incrementado de 20 a 30 años de vida útil. (59)

Actualmente el país cuenta con una tecnología 100% nacional para aprovechar energía solar, mediante sistemas fotovoltaicos, mismos que son ya de producción nacional. Se cuenta en el CINVESTAV-IPN, con una planta piloto para fabricar estos sistemas aunque con muchas limitaciones y modificaciones a resolver; se producen módulos de 15 a 17 watts-pico con un costo de 8 dolares el watt sin instalar; es decir, este precio sólo representa los gastos directos de producción a recuperar. (60)

(59). Del Valle J.L. Y. Motzumoto y M. Ortega; 1986, "Problemas y perspectivas de la conversión fotovoltaica", CINVESTAV-IPN, México, D.F., p. 136.

(60). Vega P.J.; 1990 "Generación de energía eléctrica a través de celdas solares fotovoltaicas", en conferencia de: "Energía y sus aspectos técnicos y económicos", Revista Ingeniería Petrolera No. 3, p. 40.

La energía solar se transforma directamente en energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos; el elemento de costo más sensible en estos sistemas, lo constituye el dispositivo de conversión, (Celda fotovoltaica) que usualmente se integra en un arreglo de tamaño conveniente denominado módulo fotovoltaico. Los esfuerzos científicos y tecnológicos actuales están dirigidos hacia la reducción del costo de esas unidades de conversión, el incremento de su eficiencia, el mejoramiento de vida y su capacidad de trabajo.

El silicio, material utilizado para la fabricación de celdas, prácticamente es quien determina en buena medida el costo de la celda, y por tanto, del sistema fotovoltaico; los precios en este sentido también son variables. Ante la relación eficiencia-costo, el silicio, sigue siendo el material apropiado para producir celdas fotovoltaicas por su alta eficiencia como semiconductor de electricidad y por su abundancia en la naturaleza.

Las celdas de silicio cristalino, usadas en los satélites son de buena calidad y larga duración, poseen un costo elevado, aunque para otras aplicaciones se reduce; concretamente el factor que determina el precio del módulo fotovoltaico de este material se deriva del costo de los procesos de cristalización del silicio. Mientras que las celdas de silicio amorfo hidrogenado son más simples, por tanto su precio es menor; el costo del watt-pico es de 5 a 6 dólares debido a su ritmo de producción y velocidad de crecimiento de la película. La ventaja es que esta última ya se produce en México. (61)

Si la tendencia de los precios sigue bajando entonces el número de aplicaciones para potencias mayores seguirá incrementando y por tanto ampliado el mercado interno y externo de consumidores; obteniendo como resultado la rentabilidad técnica y económica de dichos sistemas. Para lograr eficientes resultados, se sigue trabajando con nuevos materiales, nuevos procesos técnicos de fabricación hasta automatizar el proceso productivo, tratando de abatir costos.

Esta situación origina que diversos grupos de investigadores, hoy día; discutan y analicen la rentabilidad del uso de energía solar. Hay grupos optimistas que consideran que los sistemas fotovoltaicos alcanzarán precios competitivos con las fuentes

(61). Del Valle J., Y. Motzumoto y M. Ortega. 1986, p. 138 (Obra Cit.)

convencionales antes de finalizar el siglo. Otros estiman que será hasta mediados del siglo XXI. Lo cierto es que los sistemas fotovoltaicos alcanzarán su vialidad económica a mediano o largo plazo.

Son muchos los que creen que el precio desempeña el papel determinante para generar eficientemente energía eléctrica mediante sistemas solares fotovoltaicos. Si bien, obtener energía eléctrica por éste método, representa grandes costos iniciales y finales; posee bajos costos de operación y mantenimiento. Por otro lado, existen otras condiciones que justifican que el precio como razón poderosa es insuficiente.

Existe el hecho de que hay miles de comunidades rurales dispersas en la sierra y zonas áridas, en este sentido la desventaja económica queda compensada por una necesidad social; así que los sistemas fotovoltaicos para generar electricidad aprovechando los rayos sofares resultan atractivos, se justifica su rentabilidad técnico-económica y social, en aplicaciones específicas para que dicha tecnología puede ampliar el mercado, optimizando aún su rentabilidad.

IV. 3 ALTERNATIVA DE PRODUCCION

La inexistencia del uso extensivo e intensivo de sistemas para aprovechar nuevas energías, es en gran medida por la insuficiente industrialización y la reducida comercialización de las técnicas; hasta la fecha en México no se ha generado el enlace entre el avance tecnológico de los centros de investigación con la industria que se interese en fabricar masivamente dichos equipos.

La energía solar para el futuro presenta un amplio panorama ventajoso con respecto a otras fuentes de energía convencionales, por el gran potencial de recursos con que se cuenta. Razón por la que desde hace algunos años ha surgido la inquietud de profesionistas e investigadores de crear una industria mexicana para la fabricación masiva de celdas fotovoltaicas; que en su aplicación permita aprovechar la abundante energía solar que se renova diariamente, asimismo la tecnología y experiencia con que se cuenta en el país.

Hay características que justifican la conveniencia de industrializar a celdas y módulo fotovoltaicos: por un lado, no únicamente se pueden instalar o aprovechar en áreas rurales sino también en zonas urbanas, en áreas de servicios como hospitales y escuelas, en la industria fomentando sistemas autónomos de electrificación. Por otro lado, se cuenta con una tecnología propia 100% nacional que demuestra eficiencia en su producción, así como la asesoría para el diseño e instalación de los equipos, se cuenta con la capacidad tecnológica para resolver problemas industriales; la tecnología de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica se encuentra ya en un estado de desarrollo comercial.

El rápido crecimiento de la demanda de energía eléctrica, producto de la modernización industrial y del crecimiento demográfico nacional, la existencia de comunidades sin electricidad; abren un mercado potencial, esencialmente de pequeño consumo en el medio rural hacia donde se orienta básicamente el consumo de celdas y sistemas fotovoltaicos. Se cuenta con un amplio mercado de aplicaciones e instalaciones a satisfacer, tanto en el campo como en la ciudad, por tanto es conveniente la inversión en la producción de celdas y sistemas fotovoltaicos con una seguridad de consumo.

Debe tomarse en cuenta que la fabricación de celdas, módulos y paneles fotovoltaicos que ha producido la planta piloto del I.P.N. ha logrado un prototipo de industrialización de las mismas con mucho éxito, creando condiciones para fabricar a gran escala. Sin embargo, para la producción comercial se requiere la participación de la iniciativa privada o del Estado, lo que permitirá obtener un efecto de producción masiva nacional e internacional, exportando módulos incluso a otros países centroamericanos, sobre todo, en aquellos que aún no han desarrollado esta tecnología; ya que el éxito de dicha industria dependerá en gran medida de la comercialización del producto.

Realmente lo que hace falta es que la industria nacional invierta su capital en la producción de estos equipos que cuentan con un mercado importante en el campo, para producciones agrícolas y pecuarias con posibilidades de financiarse sus propios insumos necesarios; o bien que el Estado políticamente decida convertir ese mercado

potencial en un mercado real con seguridad de consumo, demandando servicios que los sistemas fotovoltaicos puedan cubrir. De no ser así se importarían estos productos, originando fuga de divisas y sepultando los esfuerzos pasados, presentes y futuros del desarrollo tecnológico nacional en materia.

En los últimos años el interés de industrias extranjeras (Norteamericanas y Japonesas) de celdas fotovoltaicas pretenden establecer operaciones comerciales e industriales en México; debería servir ésto como reflexión para crear una industria nacional en esta área.

CAPITULO V. PERSPECTIVAS

V. 1 APLICACIONES INMEDIATAS, A MEDIANO PLAZO Y ALCANCES ESPERADOS

Ciertas aplicaciones se citan con frecuencia por el interés de fomentar las nuevas fuentes de energía en la producción energética del país, ya sea porque se ha alcanzado la viabilidad técnico-económica o porque el mercado potencial es importante, o el mercado a satisfacer es de difícil acceso a medios convencionales de energía.

Evidentemente la energía solar fotovoltaica no puede resolver todos los problemas energéticos del medio rural, debido al alto costo del watt de energía eléctrica generada por ese método; para que los equipos utilizados resulten técnicamente factibles y económicamente rentables deben ser destinados a satisfacer necesidades de tipo social prioritariamente: alumbrado público a escuelas y clínicas, sistemas de bombeo para agua potable, son estas algunas de las aplicaciones inmediatas para los sistemas fotovoltaicos.

La escala de aplicación de las fotoceldas puede ir desde aquellas que usan microwatts, calculadoras y relojes, hasta aquellas que requieren de megawatts, en el caso de centrales fotovoltaicas; ello por el hecho de las características de modularidad que poseen dichos sistemas fotovoltaicos, asimismo su sencilla colocación, no contamina y la fuente primaria de energía está en el lugar de uso. Es decir, la aplicación de estos sistemas fotovoltaicos pueden satisfacer también necesidades de energía eléctrica a actividades agropecuarias, forestales, mineras, pesqueras, piscícola, pequeña y mediana industria y servicios públicos de alumbrado a comunidades; todo esto mediante sistemas fotovoltaicos independientes o autónomos. (ver anexo 4)

En los diversos ranchos y granjas del país es indispensable organizar, mejorar e incrementar la producción mediante el uso de recursos propios de la región es indispensable la energía eléctrica, por lo que será útil y rentable el uso de sistemas fotovoltaicos para convertir la energía solar en electricidad.

A nivel industrial estos sistemas tendrían su aplicación principalmente en áreas de servicios de las mismas; electricidad para el calentamiento de agua, aire, aceite, para iluminación en casos de emergencia, climatización ambiental del edificio o en áreas específicas, señalamientos de radiocomunicación, etc.: aplicaciones que resultarán exitosas a mediano y largo plazo, por su importancia no sólo nacional sino internacional.

En cuanto a la aplicación de sistemas fotovoltaicos se han obtenido logros interesantes en el país, se han electrificado zonas rurales, se han instalado y operado equipos de radio comunicación, televisión, telefonía; proyectos con buenos resultados cubiertos por sistemas fotovoltaicos producidos en el país, a través de la planta piloto del I.P.N. Se puede señalar que a ésta le faltan apoyos en todos los sentidos, para obtener mejores resultados de desarrollo y aplicación.

A nivel internacional se han obtenido resultados espectaculares, por las importantes inversiones que los países han hecho en materia de energía solar por fotoceldas, existen plantas fotovoltaicas de generación de energía eléctrica. En Oklahoma E.U., por ejemplo; se instaló una batería de 1,500 paneles fotovoltaicos para el suministro de energía eléctrica en el Centro de Ciencias y Artes; el proyecto financiado por el propio centro en el Departamento de energía, es una demostración de factibilidad del uso fotovoltaico en aplicaciones comerciales e industriales. (62)

V. 2 IMPORTANCIA Y PERSPECTIVAS

Mundialmente, investigadores en materia, consideran que las fuentes alternas de energía presentan para el futuro un panorama ventajosa sobre las fuentes convencionales de energía, sobre todo por los avances tecnológicos con que se cuentan hoy día; consideran también que los hidrocarburos en un futuro no muy lejano, dejarán de ser la principal fuente de energía primaria, incluso hay investigadores que pretenden mostrar que habrá algunos países donde sería posible abastecer su demanda de energía a partir de nuevas fuentes alternas de energía como eólica, biomasa y solar. (63)

(62). Covantes H.; 1989, "La energía solar" F.C.E., México, D.F., p. 60.

(63). Conchero A.y Rodríguez L.; 1985, p. 390, (Obra Cít.).

Existen en México escasos trabajos documentados que intenten cuantificar la futura contribución de la energía solar al suministro energético del país. Sin embargo, creo que el mayor aprovechamiento e impacto futuro de la conversión de energía solar por sistemas fotovoltaicos, la mayor eficiencia y el menor costo de los mismos; dependerá en gran medida de la investigación y desarrollo de nuevos materiales, pero principalmente de aplicaciones concretas y amplia difusión de dichas técnicas. Asimismo del apoyo que el gobierno proporcione a los proyectos de investigación y/o del interés de inversión que la iniciativa privada desarrolle en el campo de las celdas y módulos fotovoltaicos.

De acuerdo con estudios hechos por SAHOP, 1979, consideran que para el año 2000 la utilidad de nuevas fuentes de energía sea generalizada a nivel urbano y rural; creen que por lo menos el 30% del consumo energético del país será cubierto mediante nuevas fuentes de energía. (64)

El uso de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos a gran escala presenta una amplia perspectiva futura de uso, de modo que la participación de este nuevo energético en el largo plazo apoyará la demanda insatisfecha por métodos convencionales en zonas rurales. (65)

Desde el punto de vista social, el aprovechamiento de energía solar por sistemas fotovoltaicos empieza a resultar económicamente viable y tecnológicamente existen avances importantes, hay aplicaciones que lo demuestran; la investigación continúa para obtener una mayor eficiencia con mayor vida útil, se buscan tecnologías avanzadas para la producción masiva de dispositivos de conversión como el caso de fotoceldas, para alcanzar menores costos y mayores condiciones de operación.

Considero que aún no se debe perder de vista que con base al desarrollo técnico-científico ya existente en el país hay día; en cuanto al aprovechamiento de energía solar, por el método fotovoltaico; en un momento determinado podran conformarse centrales fotovoltaicas generadoras de energía eléctrica,

(64). SAHOP; 1979, Revista Solar No. 1, p. 2.

(65). Guzmán Oscar M.; 1982, "Energía y subsector agrícola de subsistencia". Comercio Exterior No. 32, p. 4.

colaborando con la producción de electricidad para la industria o el transporte, pese al alto consumo energético que éstos tienen. Se podría colaborar precisamente al ir descentralizando el sistema nacional de acuerdo con la política de racionalizar y diversificar los energéticos y los esfuerzos por electrificar las zonas marginadas del medio rural mexicano.

Dentro de otras fuentes alternas como la biomasa y eólica, considero que la energía solar es la que muestra una mayor perspectiva de desarrollo sobre todo en su método fotovoltaico, con mayor ventaja y gran éxito primordialmente en el medio rural; sin perder de vista que también puede contribuir en las ramas económicas de las áreas urbanas, que dependen de energía eléctrica. Esto a través de una descentralización del sistema eléctrico que permita conformar unidades autónomas de abastecimiento con perspectivas de conformar centrales generadoras de electricidad, quienes a su vez puedan conectarse a la red convencional de energía para mayor contribución en el Balance Energético Nacional. La alternativa energética solar, muestra perspectivas de amplio desarrollo sobre todo porque México está considerado a nivel mundial como uno de los países que cuentan con un alto grado de insolación.

V. 3 POLITICA PARA FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

Las políticas en materia de energéticos a nivel mundial, sobre todo en países industrializados, en los últimos años han brindado importancia al desarrollo de nuevas fuentes alternas de energía, tales como energía eólica, biomasa y solar.

Países industrializados han emitido reglamentaciones especiales que originan incentivos al ahorro energético y al uso de sistemas alternos de energía que puedan ahorrar o desplazar algunos energéticos. Es necesario empezar a definir que orientación y alcances pueden tener dichos reglamentos y medidas en nuestro país.

En cuanto a política energética en México se contemplan objetivos fundamentales como mantener la autosuficiencia energética nacional, dotar de energía eléctrica a toda la población y lograr un balance energético equilibrado con las fuentes convencionales

de energía, racionalizando su producción, distribución y uso, para lo cual las nuevas fuentes de energía deben contribuir.

Los requerimientos de energía comercial ascienden a más del 90% en consumo de hidrocarburos, de los cuales una mayor parte se usa para la generación de energía eléctrica. El uso del petróleo por ejemplo, visto como una solución a los desequilibrios económicos ha traído como consecuencia una política de sobreexplotación, dejando de lado la diversificación a otras fuentes energéticas que en un momento determinado existirán para prolongar el periodo de vida de los hidrocarburos. Probablemente precios elevados en los hidrocarburos puedan alentar el rápido desarrollo en nuevas técnicas para su ahorro y utilización comercial de fuentes energéticas alternas.

La elaboración del Programa Nacional de Energéticos (PRONE) 1984-1988, representa un importante avance en cuanto a planificación energética en nuestro país, por sus objetivos de productividad, ahorro, uso eficiente de energía y diversificación. Sin embargo, se ven limitados los proyectos de investigación y desarrollo tendientes a la diversificación energética debido a restricciones económicas registradas en los últimos años.

En cuanto a fuentes alternas de energía señala que no tienen una contribución significativa a la oferta energética nacional, pero que se pueden aprovechar en forma importante por lo que las acciones están encaminadas a alentar el uso de equipos y dispositivos para aprovechar recursos energéticos no convencionales en sustitución de hidrocarburos, esto donde exista factibilidad técnica y económica para lograrlo; estas fuentes deben ocupar un papel específico en el corto plazo, satisfacer requerimientos especializados de pequeño y mediano volumen particularmente en el medio rural. (66)

La anterior administración ofreció algunas posibilidades para el desarrollo de estas nuevas fuentes, tomando dos medidas: a) La creación de una Dirección de Investigación y Desarrollo perteneciente a SEMIP y b) La asignación oficial de la responsabilidad del desarrollo científico y tecnológico en este campo al Instituto de

(66). Programa Nacional de Energéticos, 1984-88, Gobierno Federal, SEMID, p. 84.

Investigación de Electricidad, a través del Programa Nacional de Energéticos.(67)

A pesar de que la presencia de nuevas fuentes alternas de energía en México datan desde hace más de 20 años, estas no han logrado incorporarse al sector energético; aunque hay instituciones que tienen la responsabilidad oficial de desarrollar tecnologías para el uso de nuevas fuentes de energía, se encuentran limitadas de presupuesto para realizar sus proyectos debido a problemas; por un lado, económico-político por considerar que las fuentes alternas de energía no son una prioridad del sector energético. Por otro lado, existe una inadecuada conceptualización de ellas, ya que únicamente las han asociado con el medio rural o regiones económicamente atrasadas; esta inadecuada conceptualización de nuevas fuentes de energía es porque los hacedores de políticas energéticas no cuentan con el suficiente conocimiento sobre estas nuevas energías, resistiéndose a la innovación tecnológica y al compromiso político-económico para desarrollarlas ampliamente. Además para el caso específico de generación de electricidad, la empresa encargada solo tiene predilección para la producción centralizada y de gran capacidad. (68)

Estos son algunos factores que limitan la penetración de nuevas fuentes alternas de energía en el sector energético del país, manteniendo la creencia que las tecnologías de explotación para dichas fuentes se encuentran aún en etapa de investigación tecnológica, pensando que su aprovechamiento sólo se dará a largo plazo.

El desarrollo tecnológico de sistemas generadores de energía eléctrica para aprovechar las nuevas fuentes alternas de energía ha sido lento en nuestro país, por las razones ya mencionadas y además porque la crisis energética no ha llegado al extremo de requerir la amplia aplicación de dichas energías. Sólo una planeación energética adecuada podrá ir integrando las tecnologías de estas nuevas fuentes a los sistemas convencionales de energía eléctrica, ampliando así su oferta y asegurando un suministro continuo e ir disminuyendo la dependencia de los combustibles.

A pesar de la madurez que han alcanzado las diferentes tecnologías para

(67). Monles Nora L.; 1987 "Evaluación y perspectivas de las fuentes de energía nuevas y renovables", Colegio de México Cuadernos y Perspectivas No. 97, p. 36.

(68). Ibid. p. 97.

generación de electricidad a través de nuevas fuentes alternas de energía y la tendencia a la baja que manifiestan sus costos de inversión; el uso de estas nuevas fuentes de energía en México no han proliferado principalmente porque:

1)

No existe una política y/o una legislación concreta que aliente y promueva el desarrollo y difusión a nivel nacional del uso de tecnologías y equipos ya probados para aprovechar nuevas fuentes de energía como el caso de sistemas fotovoltaicos para convertir energía solar en electricidad.

2)

Faltan de estímulos fiscales, se destinan pocos apoyos federales para el desarrollo de tecnologías nacionales en fuentes alternas, así como para la industrialización, aplicación y difusión amplia de técnicas y equipos ya probados en plantas prototipo.

3)

Hay una reducida transferencia tecnológica a la industria, o más bien se carece de industrialización de sistemas o equipos que son viables técnica, económica y socialmente.

Como puede notarse los lineamientos que rigen la política energética del país explicitan de alguna manera la conveniencia de utilizar fuentes no convencionales, reconocen la importancia del aprovechamiento de energía solar, por ejemplo; pero realmente no se ha elaborado y puesto en práctica un programa global fundamentado en análisis exhaustivos de los recursos y campos donde las técnicas ya desarrolladas permitan una acción inmediata, que fije las prioridades en materia y oriente los trabajos de investigación, desarrollo y producción de dichas técnicas.

Con la coordinación y clarificación de acciones, la base para el establecimiento de políticas y mecanismos concretos; son quienes favorecen la diversificación de energía, alentando el uso de nuevas fuentes energéticas como la solar. Así mismo ir incluyendo oportunamente a éstas en el Balance Nacional de Energía publicado por el gobierno federal, ya que se carece de suficiente información y datos estadísticos concretos acerca de estas energías alterna.

En vista de que hoy día se cuenta con experiencia en sistemas fotovoltaicos para convertir energía solar directamente en energía eléctrica y existe la necesidad social de implementar dichos sistemas a corto plazo, en el medio rural y en algunas zonas suburbanas que aún no cuentan con el servicio de energía eléctrica, se podría establecer para su aplicación de acuerdo a programas institucionales, una política que contemple:

- a) Los servicios cubiertos por sistemas fotovoltaicos sean inicialmente comunitarios, formando comités y/o cooperativas ejidales de servicios; granjas para el caso de actividades agrícolas y pecuarias.
- b) En aplicaciones concretas formar paquetes financieros que conviertan el gasto inicial de un sistema fotovoltaico en operación, en un gasto recurrente a lo largo de la vida útil del sistema, es decir, las familias pagarán por la energía consumida y que ha sido generada a través de dichos sistemas.
- c) La generación de energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos debería tener un subsidio, dado el carácter social general que tendría.

Las condiciones ambientales y ecológicas en que se encuentra actualmente el país debe servir de motivación para el uso de nuevas fuentes alternas de energía, particularmente energía solar a través de sistemas fotovoltaicos, ya que su uso no es contaminante.

CONCLUSIONES GENERALES

Con base en las investigaciones realizadas para el desarrollo del presente trabajo concluyo:

1)

De acuerdo con los cambios socioeconómicos que actualmente se viven en el país, la producción de energía eléctrica mediante generadores solares fotovoltaicos es una alternativa para la demanda energética actual, sobre todo en áreas rurales; ya que el uso de estos sistemas permite optimizar la producción agrícola conservando las condiciones ambientales y ecológicas, contribuyendo al ahorro de hidrocarburos.

2)

Los sistemas fotovoltaicos convierten los rayos de energía solar directamente en energía eléctrica y con aplicaciones inmediatas; no tiene partes móviles, por sus características de modularidad, no requiere de mantenimiento alguno, es de fácil instalación y su operación no consume combustible alguno por lo que no contamina al medio ambiente y cuenta con un promedio de 20 a 30 años de vida.

3)

Actualmente en el país, a través de sus centros de investigación representados por el IPN y la UNAM, se ha diseñado la tecnología necesaria para explotar la energía solar; por lo que se cuenta en materia de sistemas fotovoltaicos, con una tecnología 100% nacional experimentada y probada en las plantas piloto de éstos centros de investigación. Sin embargo, considero que es necesaria la transferencia tecnológica al sector productivo para su producción masiva.

4)

Basandose en la tendencia del precio del watt-pico fotovoltaico desde los 60's a la fecha, se ha mostrado una tendencia a la baja; la cual está soportada en el uso de nuevos materiales y tecnología de fabricación en

gran escala. Se puede esperar que las innovaciones tecnológicas continúen con la misma tendencia de reducir costos; por lo tanto puede llegar a ser competitivo con los costos que ofrecen las fuentes de energía convencional.

Actualmente se estiman dos predicciones: una optimista, que considera que antes de finalizar este siglo se alcanzarán precios competitivos con las fuentes convencionales; y la otra, estima que será a mediados del siglo XXI.

5)

Es necesario instrumentar una política energética específica para fuentes alternas; sobre todo en materia de energía solar incluyendo métodos que contabilicen los beneficios sociales y desarrollo tecnológico para su aplicación y difusión. Así mismo incluir oportunamente a las nuevas fuentes de energía en el Balance Nacional de Energía publicados por el gobierno federal.

6)

Dado que se cuenta con una tecnología propia para conversión de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos, considero que es necesario establecer políticas fiscales gubernamentales que contemplen la instrumentación de estímulos necesarios para agilizar la transferencia tecnológica; es decir, para fomentar la industrialización, producción, comercialización y aplicación de sistemas y equipos fotovoltaicos a nivel nacional.

7)

Para difundir el uso de energía solar mediante sistemas fotovoltaicos se requiere de una amplia aplicación e instalación masiva de los mismos; para lo que se requiere elaborar paquetes financieros interinstitucionales que reemplacen los costos de capitalización por costos amortizables a lo largo de la vida útil del sistema, lo cual ampliará el mercado de consumo que pueda dar lugar a una industria fotovoltaica nacional.

8)

Contar con la tecnología de sistemas fotovoltaicos para reaprovechar energía solar como fuente generadora de energía eléctrica; encaminada sobre todo a las regiones rurales no electrificadas; implica crear conciencia a la población en cuanto a la importancia que tienen los recursos naturales para cubrir necesidades energéticas prioritarias como lo es la electricidad, lo cual requiere de una amplia difusión.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- 1) Almanza, Raphael; 1989; "Energía solar para el futuro de México", Gaseta, UNAM N. 2348. p. 8.
- 2) Balance Nacional de energía, 1985, SEMIP, México, D.F.
- 3) Concheiro, A. y Alonso Rodríguez V. Luis, 1985, "Alternativas Energéticas", ed. F.C.E., México, D.F. p. 583.
- 4) Croll Donald; 1986, "Oferta y Demanda para el año 2,000" No. 63, México, D.F. p. 10.
- 5) Comisión Federal de Electricidad; 1978, "Estado actual de la evaluación del potencial hidroeléctrico nacional, México, D.F p. 79.
- 6) Covantes H; 1989, "La energía solar", ed. F.C.E., México, D.F. p. 55.
- 7) De Alva Edmundo; 1983, "Política sobre fuentes alternas en el programa de energía", reunión de consulta para la industrialización de fuentes alternas de energía, SEMIP. p. 37.
- 8) Del Valle J.L., Y Matsumoto y M. Ortega,; 1986, "Problemas y Perspectivas de la conversión fotovoltaica", CINESTAV-IPN, México, D.F., p. 10.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- 9) Del Valle J.A., Urbano y Vega P.J.; 1987, proyecto BIO-CONACIT; "Ingeniería de sistemas fotovoltaicos", Informe técnico No. 79, abril CINVESTAV-IPN, México, D.F. p. 91.
- 10) Estadística por Estado Federativo, 1987, Comisión Federal de Electricidad; Gobierno del estado federal. México, D.F.
- 11) Gutiérrez Negrín, J.A.; 1987, "Geotermia: una fuente de energía al alcance de México", Ciencia y Desarrollo No. 73, CONACYT, México, D.F. p. 15.
- 12) Guzmán, M Oscar; 1982, "Energía y sector agrícola y de subsistencia", Revista de Comercio Exterior No. 32, México, D.F. p. 10.
- 13) Guzmán, M Oscar; 1982, "Las nuevas fuentes de energía en México: Situación actual y perspectivas de desarrollo"; Perspectivas energéticas No. 30, Colegio de México, México, D.F. p. 55.
- 14) Grenón, M.; 1980, "Perspectivas sobre nuevas fuentes de energía", Col. de México, Perspectivas energéticas No. 6. p. 25.
- 15) Informe del sector eléctrico, 1970-1976, Comisión Federal de Electricidad, México, D.F. p. 87.
- 16) Información Científica y tecnológica No. 20. 1980; "La energía Nuclear en Francia", y CONACYT; México, D.F. p. 5.

- 17) Mckelvey, John P.: "Física del estado sólido y semiconductores", ed. LIMUSA, México, D.F. p. 630.
- 18) Montes Nora L., 1987, "Evolución y Perspectivas de las fuentes de energía nuevas y renovables". Col. de México., Cuadernos y perspectivas No. 97, p. 51.
- 19) Morales Acevedo, A.; 1984, Ciencia y Desarrollo No. 57 CONACYT, México, D.F. p. 8.
- 20) Morales Acevedo A.; 1987, "Hacia una celda solar de alta eficiencia", Ciencia y Desarrollo No. 77, CONACYT, México D.F., p. 10.
- 21) Olgún J. Eugenia; 1988, "Política tecnológica para el aprovechamiento de energía de biomasa en México", Desarrollo y Medio Ambiente No. 3, ed. IMETA. p. 10.
- 22) Plan Nacional de Desarrollo; 1983-1988, Poder Ejecutivo Federal, México, D.F., 1983.
- 23) Programa Nacional de energéticos: 1984-1988, Poder Ejecutivo Federal, México, D.F., 1984.

- 24) Quintero Romo R. y Vega Pérez J.: 1985, "Informe final sobre la adaptación de un televisor a color para ser operado mediante módulos solares", Informe Técnico No. 19, CINVESTAV-IPN, Méx., D.F. p. 33.
- 25) Ruíz Schwarsener, M.; 1989, "Energía eólica", Muy interesante No. 2, ed, SAMRAS, A, México, D.F. p. 10.
- 26) Romero Paredes A.; 1988, "Resultados y avances logrados en la planta piloto de fabricación de celdas y módulos fotovoltaicos", Ingeniería eléctrica, CINVESTAV-IPN, México, D.F. p. 20.
- 27) SAHOP: "Plan Nacional de Energía Solar", Tomo 1.
- 28) SAHOP, Dirección general de aprovechamiento de aguas salinas, 1979; Rev. "Energía Solar" No. 1. p. 10.
- 29) SEMIP; 1988, "Energía rural en México", México, D.F. p. 81.
- 30) S. Wionczek, Miguel: 1983, "Problemas del sector energético en México", Col. de Méx., México D.F. p. 60
- 31) S. Wionczek, Miguel: 1987, "El futuro de los energéticos en el desarrollo económico de México", Col. de México, Perspectivas energéticas No. 107, México, D.F. p. 15.

32)

Urbano Castelán, J.; 1986, "Aspectos tecnológicos sobre la conversión fotovoltaica en México dentro del marco de la promoción, ahorro y el uso eficiente de la energía y sus fuentes alternas", Segunda Reunión Nacional, Queretaro, México, p. 19.

33)

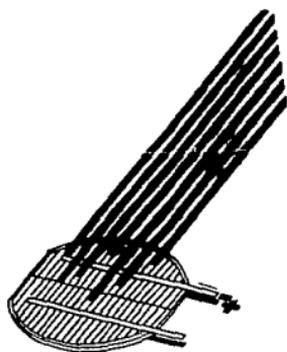
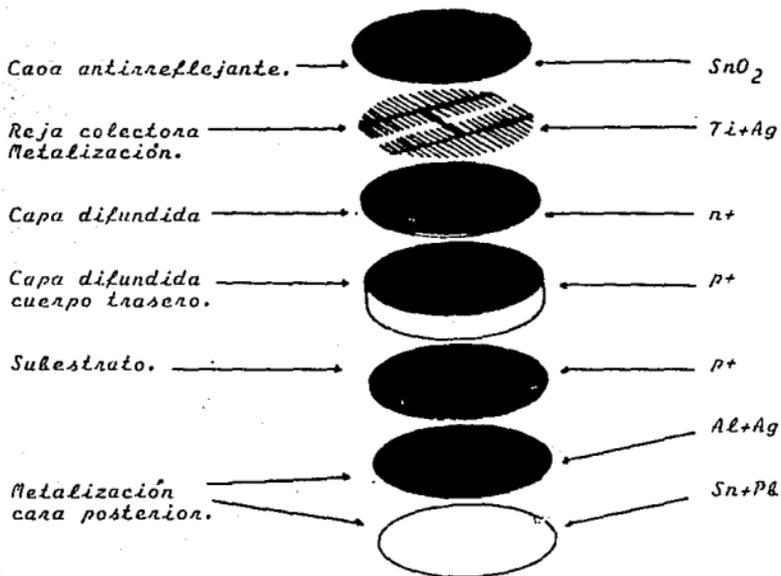
Vega P. Jaime; 1990, "Generación de energía eléctrica a través de celdas solares fotovoltaicas", Conferencia de: "La energía y sus aspectos técnico-económicos; Revista Ingeniería Petrolera No. 3. p. 40.

35)

Venikoy V. A.; 1987, "Problemática actual de los sistemas de abastecimiento de energía eléctrica en México", Perspectivas Energéticas No. 119, Colegio de México, México, D.F., p. 10.

ANEXO 1

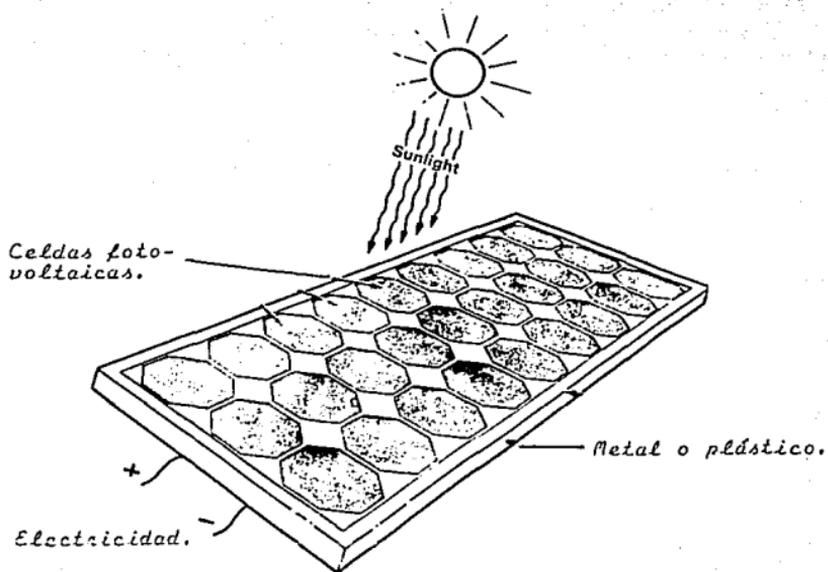
SECUENCIA PARA LA FABRICACION DE CELDAS SOLARES DE SILICIO.



CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA.

ANEXO 2

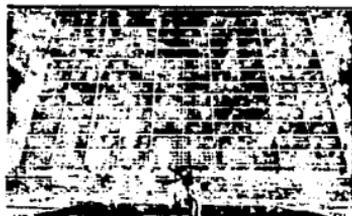
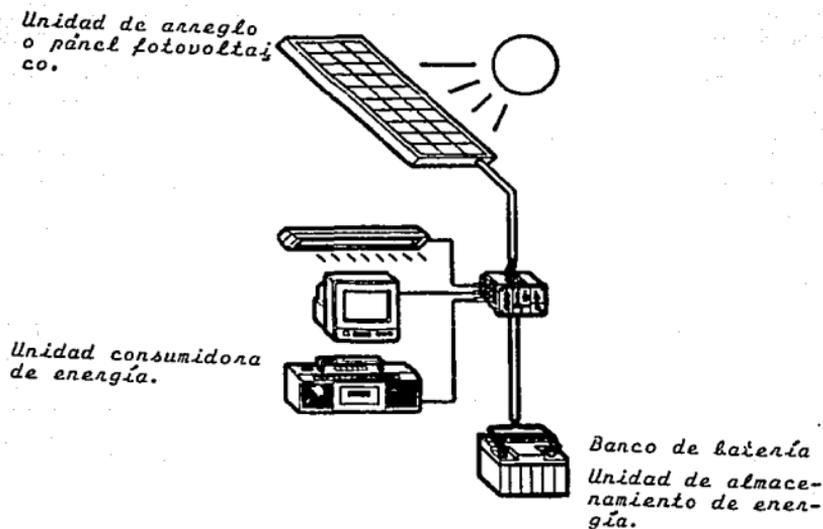
MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO.



ARREGLO O PANEL FOTOVOLTAICO.

ANEXO 3

UN SISTEMA FOTOVOLTAICO Y SUS TRES UNIDADES.



SISTEMA FOTOVOLTAICO.

ANEXO 4

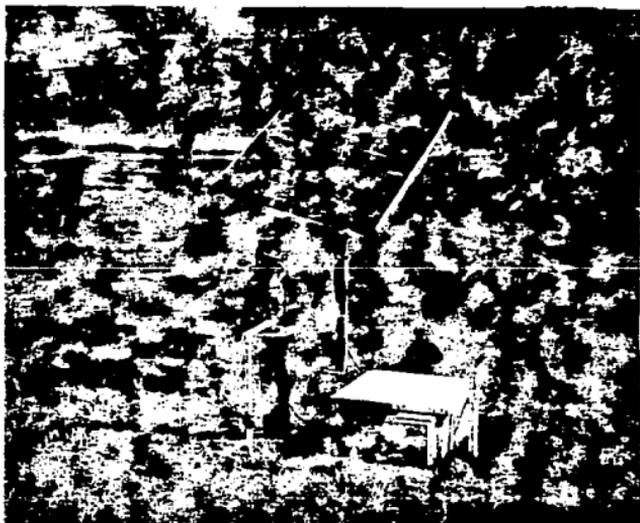
APLICACION DE MODULOS Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.



Sistema fotovoltaico, operando para el tráfico en carretera, en Estados Unidos de América.



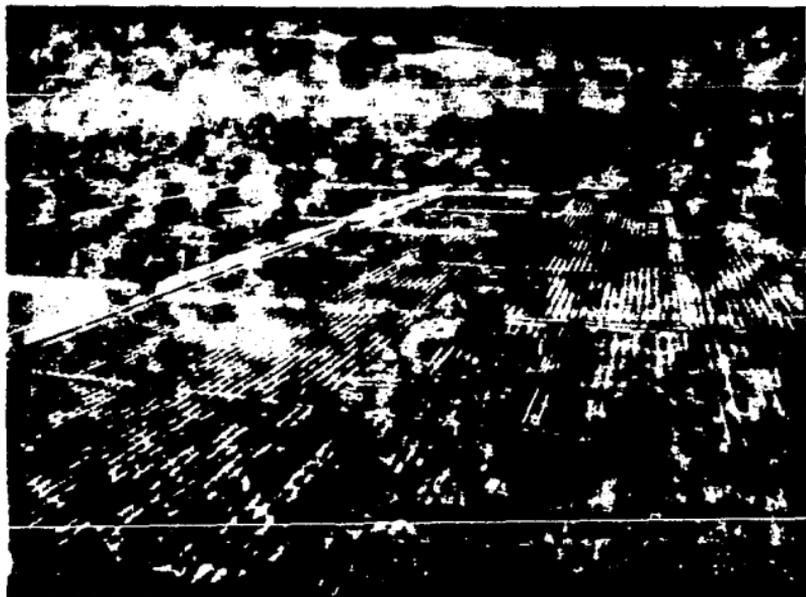
Sistema fotovoltaico para dotar de energía eléctrica a una casa habitación. New York, Estados Unidos.



Paneles fotovoltaicos, operando un sistema de bombeo de agua, E.E.U.U.



Sistema fotovoltaico, operando una estación de radio.



Central fotovoltaica, opera desde 1990 en Luz's California, Estados Unidos , con una capacidad de producción de 350 mw.

Fuente Electricity from sun and wind, perspectives and activities of the EPRI, Solar power program. Electric power research Institute.

GLOSARIO

Banda de Valencia: Se designa así a un nivel de energía en el que se localizan electrones susceptibles de poderse liberar y pasar a otros niveles de energía al incidirse por luz.

Banda de conducción: Es el nivel de energía al que pueden trasladarse electrones que fueron excitados por luz, pero instantáneamente.

Banda prohibida: Espacio entre una banda de Valencia y una banda de conducción, en el que no pueden permanecer electrones.

Evaporación al alto vacío: Liberación molecular de los materiales en una región en el que no existe aire. Técnica empleada para colocar contactos eléctricos a las celdas.

Lingote de silicio: Barra de silicio en forma cilíndrica.

Fotovoltaico: Palabra compuesta por: foto, que significa luz y voltaico que significa electricidad; En este caso implica que de la luz se puede obtener electricidad.

Watt-pico: Cantidad máxima de potencia generada por las fotoceldas en el instante de máxima insolación.

Batería: Dispositivo provisto de materiales áctivos que convierte directamente la energía química en energía eléctrica mediante una reacción electroquímica de reducción-oxidación.

Almacenamiento: Se refiere al almacenamiento de energía eléctrica en un subsistema de batería o acumulador, de acuerdo con la capacidad de la batería.

Celda Fotovoltaica: Dispositivo semiconductor con tratamiento Químico, que convierte la irradiación solar en electricidad.

Celda de silicio cristalino: Celda fotovoltaica fabricada con cristales de silicio.

Celda de silicio monocristalino: Celda que proviene de un lingote de un solo cristal.

Celda de silicio policristalino: Celda que proviene de un lingote de silicio cuya estructura es policristalina.

Ciclo de vida útil: Relación entre el tiempo activo y el tiempo total de servicio de un sistema fotovoltaico. Se usa para describir el régimen de funcionamiento de aparatos o cargas eléctricas conectadas a sistemas fotovoltaicos.

Concentrador: Aparato que emplea elementos ópticos para aumentar la cantidad de luz solar que incide sobre una celda solar fotovoltaica.

Conjunto: Grupo de arreglos o módulos fotovoltaicos interconectados eléctricamente e instalados mecánicamente en su ambiente de funcionamiento.

Convertidor: Dispositivo que cambia y acondiciona los niveles de tensión de corriente continua.

Corriente: Flujo de electrones entre dos puntos de un conductor que tiene una diferencia de potencia (tensión).

Costo de ciclo de vida útil: Costo estimado de la adquisición y utilización de un sistema fotovoltaico durante un periodo de vida útil.

Diodo: Componente electrónico que permite el flujo de corriente en un solo sentido.

Disponibilidad: Calidad o condición de estar disponible para utilización. La disponibilidad de un sistema fotovoltaico es el porcentaje del tiempo en que el sistema puede suministrar 100% de energía a la carga.

Horas de sol máximo o máxima insolación: Valor equivalente al número de horas diarias en que la irradiación solar media es de 1,000 w por metro cuadrado.

Hora-sol: Neologismo que se podría usar como unidad de medida solar, con el significado de "una hora de sol máximo".

Insolación: Radiación solar que llega a una superficie en un periodo de tiempo. Generalmente se expresa en Kilowatt- horas por metro cuadrado.

Irradiación: Radiación solar instantánea que llega a una superficie. Generalmente se expresa en Kilowatt-horas por metro cuadrado.

Kilowatt (Kw): Mil watts. También se denomina Kilovatio.

Kilowatt-hora (kwh): Equivale a una potencia de mil watts durante un período de una hora.

Langleg (L): Unidad de irradiación solar. Su valor es de caloría-gramo por centímetro cuadrado.

Modularidad: La unidad reemplazable mas pequeña de un conjunto fotovoltaico, Un módulo integral encapsulado contiene una cantidad determinada de celulas fotovoltaicas.

Pánel Fotovoltaico: Designación de un número de módulos fotovoltaicos reunidos en un solo bastidor mecánico.

Placa: Lámina delgada de metal y otro material, destinada a acumular energía eléctrica en una batería.

Potencia: Unidad básica de energía eléctrica. Se especifica en watts.

Radiación difusa: Radiación que se recibe del sol después de la reflexión y dispersión que produce la atmósfera.

Recurso solar: Cantidad de insolación que recibe un sitio o lugar. Generalmente se mide en Kw/metro cuadrado/día.

Rendimiento de conversión: Relación entre la energía eléctrica que produce una celda fotovoltaica y la energía solar que recibe la celda.

Semiconductor: Dispositivo de material sólido que posee una capacidad limitada de conductividad eléctrica.

Silicio: Elemento semiconductor que se utiliza comúnmente en la fabricación de celdas fotovoltaicas.

Silicio amorfo: Celda de silicio que carece de estructura cristalina.

Silicio tipo n: Silicio provisto de una estructura cristalina que contiene impurezas cargadas negativamente.

Sistema independiente: Sistema fotovoltaico autónomo, o sea que funciona sin necesidad de estar conectado a la red de energía eléctrica de la empresa de servicios públicos.

Sistema fotovoltaico: Instalación de módulos fotovoltaicos y otros componentes, proyectada para generar potencia eléctrica a partir de la luz del sol.

Temperatura ambiente: Temperatura de los alrededores.

Watt (w): Unidad de potencia eléctrica que se desarrolla en un circuito con 1 ampere que influye a través de una diferencia de potencial de 1 volts.

Watt-hora (wh): Unidad de medida de energía. 1 wh es la enegía convertida o consumida durante una hora, cuando el nivel de potencia es de 1 w.