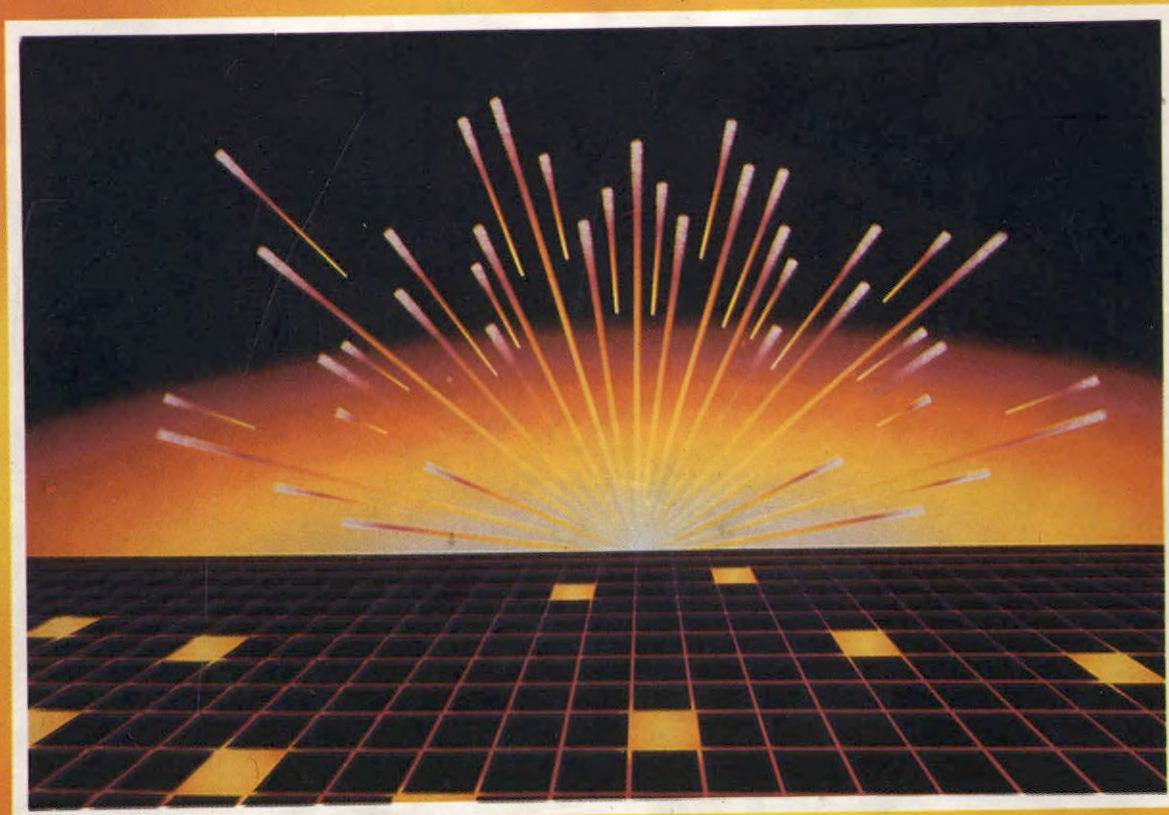


Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia



7923
0c



INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS

ISBN 958-95233-5-8

Investigación Científica

Fundación PESENCA

Revisión

Fis. Felipe Rodríguez Pineda

Ing. Juan Jacobo Castillo Córdoba

Fis. Josué Zapata Lesmes

INEA

Subdirección General de Energía

División de Energías Alternativas

Grupo de Energía Solar

Diseño, diagramación e impresión

RUECOLOR LTDA. Tel.: 360 54 15 - Bogotá, D.C.

1996

000204

333.7923

IN59c

Ej.

4.13

Ministerio de Minas y Energía
República de Colombia
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

ÍNDICE

	Página
PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	13
I. TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
1.1 <i>RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE</i>	15
1.1.1 Radiación directa (H _b)	15
1.1.2 Radiación difusa (H _d)	15
1.1.3 Radiación global (H)	15
1.1.4 Medición de la radiación solar	16
1.1.4.1 Medición directa	16
1.1.4.2 Medición indirecta	16
1.2 <i>EL EFECTO FOTOVOLTAICO</i>	16
1.2.1 Desarrollo histórico	16
1.2.2 La física de los semiconductores	17
1.2.3 El dopado	17
1.2.4 Los donadores y el semiconductor - N	17
1.2.5 Los aceptores y el semiconductor - p	18
1.2.6 El diodo semiconductor	18
1.2.7 El efecto fotovoltaico en la juntura p-n	18
1.3 <i>EL EFECTO FOTOVOLTAICO EN LA CÉLULA SOLAR</i>	18
1.3.1 Parámetros de funcionamiento de la célula iluminada	18
1.3.1.1 Potencia máxima	19
1.3.1.2 Factor de llenado	20
1.3.2 La eficiencia	20

1.3.2.1	Influencia de la distribución espectral sobre la eficiencia	20
1.4	<i>COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO</i>	20
1.4.1	El panel solar	20
1.4.1.1	Conexión de las células	21
1.4.1.2	Eficiencia.....	21
1.4.1.3	Construcción.....	21
1.4.1.4	Materiales	22
1.4.1.5	Influencia de la temperatura.....	22
1.4.1.6	Vida útil	22
1.4.1.7	Mantenimiento	23
1.4.1.8	Costos.....	23
1.4.2	La batería.....	23
1.4.2.1	Capacidad	24
1.4.2.3	Mantenimiento	24
1.4.2.4	Vida útil	25
1.4.3	Regulador de carga.....	25
1.5	<i>APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</i>	25
1.5.1	Comunicación.....	25
1.5.2	Iluminación	26
1.5.3	Bombeo de agua	26
1.5.4	Desinfección de agua	27
1.5.5	Instalaciones remotas: clínicas, escuelas y viviendas.....	27
1.5.6	Preparación y prevención de desastres naturales.....	28
1.5.7	Mercado creciente de los SFV	29
1.6	<i>OPCIONES FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN</i>	30

1.6.1	Sistemas solares familiares (SSF)	30
1.6.2	Red comunitaria con energía FV	30
1.6.3	Estación central de recarga de baterías	30
1.6.4	Sistemas híbridos	30
1.6.4.1	Generador diesel-solar	30
1.6.4.2	Instalación de energía eólico-solar	30
1.6.4.3	Generador diesel-eólico-solar	31
1.6.4.4	Instalaciones de biogas-eólico-solares	31
1.7	<i>DESARROLLO DEL SECTOR FOTOVOLTAICO EN ALGUNOS PAISES</i>	31
II	CENSO DE MÓDULOS Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN COLOMBIA.	33
III	OFERTA DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA. ..	37
3.1	<i>RESEÑA HISTÓRICA</i>	37
3.2	<i>OFERTA INTERNACIONAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA</i>	38
3.2.1	Solarex Corporation	38
3.2.2	Siemens Solar Industries	40
3.2.3	Photocomm, INC	42
3.2.4	Kyocera corporation	43
3.2.5	B.P. Solar España, S.A.	43
3.2.6	Aeg Telefunken	44
3.2.7	Isofoton S.A.	44
3.2.8	Fotowatt International S.A.	44
3.2.9	Tideland Signal Corporation	44
3.2.10	Nec Corporation	44
3.3	<i>OFERTA NACIONAL DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	44
3.3.1	Enerssin (Energías Integradas Y CIA LTDA)	46

3.3.2	Multielectrónica S.A.	46
3.3.3	Solar Center	46
3.3.4	Energía Integral Andina.....	47
3.3.5	Durespo S.A.	48
3.3.6	Eduardoño	48
3.3.7	Granja Providencia.....	48
3.3.8	Compañía Central Electrónica CICEL LTDA	49
3.3.9	B.PS Equipos e Ingeniería LTDA	55
3.3.10	Solar, Acumuladores Solar LTDA	56
3.3.11	Tudor	56
3.3.12	Magna S.A.	57
3.3.13	Coexito	58
3.3.14	Baterías Alher	58
IV.	DEMANDA DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA .	61
4.1	<i>PROYECTOS REALIZADOS POR EMPRESAS Y ENTIDADES</i>	62
4.1.1	Proyectos de telecomunicaciones	62
4.1.1.1	Empresa nacional de telecomunicaciones - TELECOM -	62
4.1.1.2	Promigás S.A.	69
4.1.1.3	British Petroleum	70
4.1.1.4	Hocol	70
4.1.1.5	ELF Aquitaine Colombie	71
4.1.1.6	Texas Petroleum Company.....	71
4.1.1.7	Ocidental de Colombia.....	71
4.1.1.8	Policía Nacional.....	71
4.1.1.9	Ejército Nacional de Colombia	71

4.1.1.10	Intercor	71
4.1.2	Proyectos de electrificación rural con SFV	72
4.1.2.1	Cargadores solares de baterías comunitarios	72
4.1.2.2	Centrales solares.....	73
4.1.2.3	Sistema híbrido en hospital de Nazareth	75
4.1.2.4	Otros proyectos de electrificación rural con sistemas	76
4.2	<i>SISTEMAS INDIVIDUALES (SOLAR HOME SYSTEMS)</i>	76
4.3	<i>OTRAS APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</i>	77
4.4	<i>DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A NIVEL NACIONAL</i>	78
V.	ESTIMACIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO	81
VI.	EVALUACIÓN «IN SITU» DE LOS SFV COMERCIALIZADOS EN EL PAÍS ...	85
6.1	<i>METODOLOGÍA APLICADA PARA EVALUACIONES DE CAMPO</i>	86
6.2	<i>LIMITACIONES PARA LAS EVALUACIONES A NIVEL DE CAMPO</i>	87
6.3	<i>RESULTADO DE LAS EVALUACIONES A NIVEL DE CAMPO</i>	88
VII.	MERCADOS ACTUALES Y OPCIONALES DE LOS SFV	99
7.1	<i>SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR FOTOVOLTAICO COLOMBIANO</i>	99
7.2	<i>AMPLIACIÓN DEL MERCADO DE LOS SFV</i>	100
7.3	<i>JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LOS SFV</i>	101
VIII.	RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
8.1	<i>RESUMEN</i>	113
8.2	<i>CONCLUSIONES</i>	118
8.3	<i>RECOMENDACIONES</i>	119
	BIBLIOGRAFÍA	125

PRESENTACIÓN

La demanda energética nacional está suplida esencialmente por el Sistema Interconectado Nacional, y por plantas diesel en aquellas ciudades medianas aisladas. Pero existen localidades aisladas en el sector rural para las cuales las plantas diesel no son la solución más adecuada, puesto que el acceso del combustible es complejo; para estos sitios se debe diagnosticar sobre los recursos energéticos con que cuentan estas localidades, que sin duda los recursos energéticos alternativos ofrecerán la mejor solución.

Es evidente que para este sector, las pequeñas centrales hidroeléctricas -PCH's- han jugado un papel importante en contribuir para satisfacer esta franja de la demanda, pero también es cierto que existen localidades pequeñas que no cuentan con este recurso hídrico y a cambio posee otros recursos entre estos el solar, como lo muestran estudios existentes sobre prospección como el realizado por el INEA conjuntamente con el HIMAT y el Ministerio de Minas y Energía, y publicado con patrocinio de CARBOCOL S.A., denominado "ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE COLOMBIA", en el cual se establece la intensidad del recurso solar por m² en el territorio nacional, regiones donde la tecnología solar fotovoltaica ha logrado desde la década de los 70 tener algún grado de penetración, en usos como la electrificación residencial y la de telecomunicación; sin embargo, su aplicabilidad ha sido limitada.

Para conocer las causas que ha frenado el aprovechamiento de esta tecnología, y teniendo en cuenta las funciones y los objetivos adicionales asignados a inicio de la década de los 90 al INEA, este Instituto realizó y publicó el estudio denominado "CENSO, CARACTERIZACIÓN Y GRADO DE SATISFACCIÓN DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN COLOMBIA". Este estudio muestra el número de módulos y la potencia instalada en el país, los usos o servicios que prestan, las fallas que han tenido, el concepto de los usuarios, conclusiones y recomendaciones.

Como una de las fallas encontradas en el estudio, es la baja calidad y el uso inadecuado de algunos elementos en los sistemas fotovoltaicos, así como el dimensionamiento de los mismos; el INEA, en la actualidad adelanta el proyecto "NORMALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS Y FOTOVOLTAICOS", el cual tiene como metas: Definir las normas de los elementos y de los sistemas térmicos y fotovoltaicos; diseño, construcción e implementación de una infraestructura física e instrumental a través del cual se realicen las caracterizaciones respectivas de los sistemas solares, y por último desarrollar un programa de estandarización de estos sistemas.

La publicación de este documento va dirigida a comercializadores y usuarios de la tecnología solar fotovoltaica, como también a entidades oficiales y privadas que puedan contribuir mediante sus investigaciones, difusión y definición e implementación de mecanismos para que los sistemas solares fotovoltaicos sean accesibles a los usuarios y cumplan los estándares mínimos de calidad.

Humberto Rodríguez Murcia
Director General
Instituto de Ciencias Nucleares
y Energías Alternativas

INTRODUCCIÓN

El sol es la fuente de energía más potente con la cual cuenta la humanidad al final del segundo milenio. El sol está irradiando una energía de $3,87 \times 10^{26}$ Joule en cada segundo. Esta energía alcanzaría para abastecer a toda la humanidad durante más de un millón de años con los niveles actuales de consumo.

La energía que llega durante un año a la tierra es $4,03 \times 10^{24}$ Joule equivalente a 6720 veces la necesidad energética del mundo calculada por los expertos en unos $0,6 \times 10^{21}$ Joule/año para el año 2000.

Frente al crecimiento acelerado del consumo de energía no se puede suponer que la humanidad pueda satisfacer sus necesidades energéticas únicamente con los recursos energéticos de origen fósil; es preciso y casi imperativo que se diseñen políticas que estimulen el uso masivo de la energía solar.

El sol también es nuestra fuente de energía más confiable. Según investigaciones científicas, la radiación solar se ha mantenido bastante constante desde los últimos 109 años y según todas las observaciones se puede suponer que seguirá irradiando la misma energía por un período de 1010 años más sin cambios significativos en su masa y en su contenido de hidrógeno.

Pensando en el futuro, por muchas razones se puede suponer que la generación de electricidad a partir de la radiación solar y su almacenamiento en forma de hidrógeno llegará a tener una mayor importancia que la que tienen hoy los energéticos de origen fósil. Para el aprovechamiento de la energía solar en forma masiva puede pensarse principalmente en los desiertos donde se puede generar más energía de la necesaria sin comprometer al sistema ecológico del planeta. Y es que entre las múltiples ventajas de la energía solar la principal de ellas es la de no ser contaminante del medio ambiente, es una energía completamente limpia que no arroja residuos contaminantes a la atmósfera como sí ocurre en la combustión de energéticos de origen fósil.

Otra ventaja que ofrece la tecnología solar es que los dispositivos que convierten la radiación solar en energía eléctrica se construyen con base en silicio, elemento que se encuentra disponible en cantidades incalculables en la corteza terrestre y por lo tanto barato; lo costoso en este momento es la manera de

producir los módulos fotovoltaicos que todavía no aprovechan las economías de escala en la construcción en series grandes. Sin embargo, puede esperarse que en este milenio se introduzcan nuevos métodos de producción que contribuirían a reducir significativamente los precios actuales.

Otra ventaja, y ésta muy significativa, de la tecnología solar fotovoltaica es la carencia total de elementos mecánicos móviles, de aquí que este tipo de tecnología no requiere prácticamente de mantenimiento.

En relación con la disponibilidad del recurso, se cuenta con la energía solar durante todos los días máxime como en el caso de Colombia que se encuentra situada en un lugar de privilegio en la zona ecuatorial, es así, que con referencia a la energía solar máxima diaria promedio anual a nivel mundial de $6,8 \text{ kWh/m}^2$ en Arabia Saudita, el potencial de Colombia varía entre el 84% en la Guajira y 58% de este valor máximo en la Costa Pacífica. De lo anterior se puede afirmar que el país dispone del recurso solar de manera abundante durante todo el año.

El aprovechamiento de la energía solar tiene dos grandes orientaciones, una es la relacionada con la utilización térmica y la otra, la generación directa de electricidad. El aprovechamiento de la energía solar de esta forma tienen muy diversas aplicaciones en los campos de las telecomunicaciones, electrificación rural, protección catódica, sistemas de señalización y control en lugares aislados, etc.

En Colombia no existen industrias para la producción de celdas solares, sin embargo, se encuentran firmas que importan módulos fotovoltaicos para comercializar estos elementos en el país, los cuales han tenido una penetración importante mas no elevada en las áreas rurales. Al mismo tiempo, se está investigando, específicamente en la Universidad Nacional de Colombia, con nuevos materiales en busca de aumentar la eficiencia y bajar los costos de las celdas solares.

Teniendo en cuenta que para el diseño adecuado de un sistema solar cualquiera que sea, además de las necesidades del usuario, se requiere por lo menos conocer dos parámetros esenciales como son el recurso solar y las características de los elementos solares que se instalarán, el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas -INEA-, junto con otras

instituciones, ha elaborado y publicado el Atlas de Radiación Solar de Colombia y además está desarrollando un Banco de Pruebas para la evaluación de estos sistemas.

En el año 1992 la Comisión Nacional de Energía y el INEA, adelantaron la formulación del Programa Nacional de Energías no Convencionales, en el cual se contempló como una de las actividades prioritarias la elaboración de un inventario y evaluación de los sistemas fotovoltaicos instalados en Colombia. Dentro de esta perspectiva, el INEA, con el fin de adelantar esta actividad adjudicó el estudio «Censo y Evaluación de los Sistemas Fotovoltaicos Instalados en Colombia» a la Fundación PESENCA, bajo la supervisión del doctor Felipe Rodríguez Pineda Jefe de la División de Energías Alternativas del INEA. En este estudio se tienen como objetivos principales:

- Determinación de las características técnicas y económicas de cada uno de los elementos que constituyen los sistemas solares fotovoltaicos y evaluación global de los mismos de acuerdo con los diferentes sistemas comercializados e instalados en el país.
- Conformación de una base de datos con información sobre las características técnicas y económicas de los sistemas existentes en el país.
- Evaluación del grado de aceptabilidad de estos equipos por los usuarios.
- Identificación y evaluación del equipo solar disponible en el mercado.
- Estimación del suministro de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos en los sectores que los emplean.

Para una mayor comprensión de los resultados del estudio se inicia presentando en el capítulo I una reseña sobre el estado actual de la tecnología fotovoltaica en el mundo, como ha sido su desarrollo y la aplicación.

El capítulo II se dedica al tema del censo de los sistemas fotovoltaicos en el país. Allí se mencionan las fuentes de información primaria para establecer dicho censo y se cuantifica los sistemas fotovoltaicos instalados por las empresas que trabajan en este sector, el número de proyectos realizados y la potencia pico instalada en cada uno de ellos.

Para estudiar el mercado de los sistemas fotovoltaicos (SFV) se precisó comenzar por

identificar la oferta existente en el país de los módulos fotovoltaicos y los demás elementos propios de un sistema completo como son las baterías o acumuladores, los reguladores, los equipos a 12 voltios, el mismo servicio postventa, etc. En el capítulo III se exponen las características técnicas de los módulos hasta el momento comercializados en el país, una información general de las empresas fabricantes, y la descripción de las empresas distribuidoras a nivel nacional de módulos y otros componentes de los SFV. Por último, se incluye el directorio de dichas empresas.

Determinada la oferta de los sistemas fotovoltaicos se estudió la demanda de los mismos en el país. Los resultados se exponen en el capítulo IV. Además se describe la metodología utilizada en la determinación de la demanda y las características técnicas de los principales proyectos realizados.

El capítulo V se refiere específicamente a la estimación del suministro de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, en otras palabras, se destaca la magnitud de energía suministrada estos sistemas en el país, cantidad de energía que de alguna manera hubiese tenido que ser aportada mediante formas tradicionales ya sea energía eléctrica de las redes de distribución convencional o energía primaria en términos de Fuel Oil, gasolina o gas natural.

La evaluación técnica «in situ» de los sistemas y la metodología seguida durante la misma se presenta en el capítulo VI. En el país existen decenas de miles de plantas solares fotovoltaicas distribuidas en toda su geografía, por esta razón se tomó una muestra representativa de los módulos instalados en el territorio colombiano basados en la información recopilada a través de diferentes fuentes. La información adquirida de las evaluaciones, realizadas por las comisiones que recorrieron el territorio nacional, fue procesada y analizada detalladamente, actividad que permitió establecer las principales recomendaciones planteadas.

Las conclusiones y recomendaciones de las investigaciones de campo y de las evaluaciones técnicas se presentan en el capítulo VIII de este trabajo.

La publicación de este estudio constituye un aporte del Ministerio de Minas y Energía y del INEA al diagnóstico de esta tecnología en el país, identificando las barreras tecnológicas y de otra índole que removidas permitirán llevar energía eléctrica a zonas remotas del país.

TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

1.1 RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

La cantidad de energía que llega a la tierra desde el sol es variable durante el día y durante todos los días del año. La cantidad de radiación solar que recibe la superficie terrestre depende de la posición relativa entre el sol y la tierra, la composición y espesor de la atmósfera que debe recorrer la radiación y la inclinación de la superficie sobre la cual se recibe la radiación. Esta energía se denomina RADIACIÓN SOLAR TERRESTRE; la Radiación Solar Terrestre tiene también su curva espectral que refleja la disminución que sufre la intensidad de radiación solar por efecto de la composición de la atmósfera.

La Radiación Solar se altera considerablemente (por dispersión y absorción) al pasar a través de la atmósfera y el total incidente sobre la superficie horizontal terrestre rara vez excede de 1 kW/m².

La Radiación Solar puede descomponerse en Directa y Difusa. La primera de ellas se refiere al flujo de rayos solares recibidos desde la dirección del disco solar; la Radiación Difusa es la que llega a la superficie terrestre desde el resto del cielo y es producto de la dispersión que sufre la luz solar a través de la atmósfera terrestre. La proporción de cada una de ellas en la radiación total depende de la nubosidad, humedad, presencia de partículas suspendidas en la atmósfera y otras condiciones ambientales.

La Radiación total promedio anual sobre la superficie de la tierra varía entre 2000 y 2500 kWh/m² en zonas de alta insolación (zonas áridas) y entre 1000 y 1500 kWh/m² en lugares localizados en las latitudes altas.

La medición de la Radiación Solar se realiza, en forma instantánea:

(ENERGÍA/ÁREA-TIEMPO) o integrada (ENERGÍA/ÁREA)

1.1.1 Radiación Directa (H_b)

La radiación directa compromete a toda la radiación solar que llega desde el sol directamente sin ninguna interferencia que desvíe su trayectoria.

$$H_b = I'S \text{ en } (h)$$

I' = Componente vertical de la radiación solar directa

h = Altura del sol sobre el horizonte

El flujo de la radiación directa depende de los siguientes factores:

- Constante solar
- Altura del sol (h)
- Transparencia atmosférica en presencia de gases absorbentes, nubes y niebla

1.1.2 Radiación Difusa (H_d)

La radiación difusa comprende toda la radiación solar que llega desde el sol después que ha sufrido algún efecto que desvió su trayectoria original.

Sobre la superficie de la tierra la radiación difusa depende de:

- Altura del sol sobre el horizonte. A mayor altura, mayor es el flujo de radiación difusa.
- A mayor cantidad de partículas, mayor es la componente difusa.
- Aumenta con la presencia de capas de nubes blancas relativamente delgadas.
- Al aumentar la altura sobre el nivel del mar, el aporte de la radiación difusa es menor debido a que disminuye el espesor de las capas difusoras en la atmósfera.

1.1.3 Radiación Global (H)

Toda la radiación que llega a la tierra, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa, se llama radiación global.

$$H = H_b + H_d$$

1.1.4 Medición de la Radiación Solar

1.1.4.1 Medición directa

La medición directa de la radiación solar se realiza con instrumentos específicamente diseñados y construidos para tal fin genéricamente llamados radiómetros.

Existen diferentes tipos de radiómetros los cuales se clasifican en cuatro clases:

- a. PIRHELÍOMETROS: Instrumento para medir la intensidad de la radiación directa y normal incidente.
- b. PIRANÓMETROS: Instrumento usado para medir la radiación de todo el hemisferio, apropiado para medir las radiaciones global y difusa.
- c. FILTROS: Para conocer la distribución espectral de la radiación, internacionalmente se recomienda el uso de los filtros OGI, RGZ y RGB.
- d. HELIÓGRAFOS: Son instrumentos que registran el número de horas de brillo solar en un lugar determinado.
- e. ACTINÓGRAFOS: Tienen un sensor termomecánico, es muy simple y tiene capacidad de medir la intensidad de la radiación solar y registrar la información.

1.1.4.2 Medición indirecta

Los datos sobre radiación solar no siempre son abundantes. En algunas estaciones se dispone solamente de información sobre el número de horas de sol en unos pocos casos se dispone de promedios mensuales de la dosis diaria de radiación sobre superficies horizontales.

Para los lugares en los que no se cuenta con ninguna información es usual recurrir a estimaciones partiendo de datos correspondientes a localidades similares.

1.2 EL EFECTO FOTOVOLTAICO

1.2.1 Desarrollo histórico

El Efecto Fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés A. E. BECOUEREL en sus estudios con celdas electrolíticas. Varios años

después, en 1873, W. SMITH descubrió la fotoconductividad en el selenio. Tres años más tarde, en 1876, el efecto fotovoltaico fue observado por G. W. Adams y R. E. Day en una estructura semiconductora de selenio. La primera celda fotovoltaica de selenio fue descrita en 1883 por C. D. FRITTS. En 1884 HALNACH observó la fotosensibilidad de estructuras de cobre/óxido de cobre (CU/CU₂O).

Entre la primera y segunda Guerra Mundial los esfuerzos por entender y desarrollar dispositivos fotovoltaicos se incrementaron.

En 1930 E. SCHOTTKY formuló las primeras teorías para explicar la ocurrencia del efecto fotovoltaico.

En 1932 AUDUBERT y STORA observaron por primera vez el efecto fotovoltaico en el sulfuro de cadmio (CdS).

En 1941 en los BELL TELEPHONE LABS, se descubrió el efecto fotovoltaico en el silicio monocristalino. Sólo hasta 1949 BILLING y PLESNER realizaron las primeras mediciones sobre eficiencia de conversión de tales dispositivos.

En 1954 PEARSON, FULLER y CHAPIN del BELL TELEPHONE LABS, obtuvieron el primer dispositivo fotovoltaico práctico de silicio monocristalino. En ese mismo año WELKER descubrió el efecto fotovoltaico en el arsenuro de galio (GaAs) y REYNOLDS y otros desarrollaron dispositivos con sulfuro de cadmio (CdS).

En 1956 se dieron las primeras aplicaciones de las celdas fotovoltaicas en luces intermitentes para la navegación y en estaciones remotas de comunicaciones. En 1958 la Unión Soviética y los Estados Unidos lanzaron sus primeros satélites equipados con arreglos de celdas fotovoltaicas de silicio. Un año después se produjeron las primeras celdas de silicio policristalino.

En 1960 se utilizaron por primera vez las rejillas de recolección de corriente en celdas de silicio y se produjeron las primeras celdas dendríticas de este material. En 1961 se llevaron a cabo los primeros intentos de celdas de sulfuro de cobre-sulfuro de cadmio (Cu₂S- CdS).

En la década del sesenta las actividades de investigación y desarrollo se concentraron en las celdas de silicio, las de telurio de cadmio y las de arsenuro de cadmio. Ya a finales de esta década y la primera mitad de los setenta las aplicaciones espaciales dominaron el uso de las celdas fotovoltaicas.

En 1968 P. Glaser sugirió la idea de una planta solar espacial que consistiría en un arreglo de celdas fotovoltaicas de silicio, con una capacidad de salida de unos 10000 MW, puesta en órbita geoestacionaria a unos 37000 km de altura.

En 1972 LINDMAYER produjo su «Celda Violeta» empleando técnicas especiales de recubrimiento.

Durante la década de los setenta aumentó también el interés por otros materiales semiconductores, particularmente renació el interés por el arsenuro de galio, obteniéndose en laboratorios a mediados de ese decenio celdas monocristalinas y se iniciaron a la par estudios sobre celdas de fósforo de indio, fosfuro de galio y arsenuro de aluminio-galio.

Entre 1970 y 1975 la NASA patrocinó el desarrollo de fotoceldas con nuevos materiales, buscando celdas con una alta relación potencia/unidad de peso, uno de los factores de mayor importancia en aplicaciones aeroespaciales.

Actualmente la mayor parte de las celdas solares fotovoltaicas comerciales están basadas en la tecnología del silicio monocristalino y producen 0,5 V para prácticamente cualquier nivel de iluminación.

Entre los países industrializados Estados Unidos es en términos generales el que posee un mayor desarrollo tecnológico en sistemas fotovoltaicos, le siguen Japón, Francia, Alemania, Inglaterra e Italia.

1.2.2 La física de los semiconductores

Se denominan semiconductores aquellos materiales sólidos con estructura cristalina o amorfa, que presentan un enlace de valencia homeopolar y que comienzan a conducir la corriente eléctrica a medida que incrementa la temperatura a partir de una temperatura muy superior a la del punto cero absoluto.

Este enlace de valencia conformado por pares de electrones facilitan la liberación de electrones de enlace a causa de la influencia de energía térmica o de radiación. Por este motivo los semiconductores se comportan como aisladores perfectos en cercanías del punto cero; sin embargo, su conductividad eléctrica incrementa de forma exponencial a medida que aumenta la temperatura.

Ejemplos típicos para semiconductores son el germanio, el silicio y los elementos del grupo IV del sistema periódico de los elementos químicos.

A temperatura ambiental (20°C) en el caso del germanio cada 10^{10} electrones, se libera un electrón de valencia para aportar a la conducción eléctrica. La conductividad y algunas otras características (como por ejemplo la fotosensibilidad) dependen mucho de la pureza del material. Impurezas en las concentraciones a partir de 10^{-10} (o sea una partícula ajena entre 10^{10} partículas del semiconductor) pueden cambiar drásticamente las características. Por medio de la dotación del material puro del semiconductor con electrones ajenos se procura aprovechar justamente esta característica para forzar su conductividad eléctrica.

1.2.3 El dopado

Es posible aumentar artificialmente y de forma controlada la conductividad eléctrica de los semiconductores, mediante el incremento de la cantidad de electrones móviles y cargas móviles positivas o «huecos». El proceso de implementación de electrones ajenos en la red cristalina del semiconductor que a este efecto conlleva se denomina «dopado». Si la cantidad de electrones de valencia del material ajeno es mayor que la cantidad de electrones de valencia del átomo cristalino, el semiconductor se denomina «donador», en caso contrario se denomina «aceptor».

1.2.4 Los donadores y el semiconductor - N

Si se introduce como impureza un elemento de valencia 5, como el fósforo, en el silicio fundido y se le deja enfriar lentamente, se formará un cristal uniforme. Cuatro de los cinco electrones del átomo de fósforo se utilizan en la unión cristalina, de la misma forma que sucede con los átomos de silicio, pero el quinto electrón queda libre para moverse y

actuar transportando energía eléctrica. Los electrones libres son portadores mayoritarios en el semiconductor - n.

1.2.5 Los aceptores y el semiconductor - p

De la misma forma cuando se introduce en la red cristalina un elemento de valencia 3, como el boro, éste toma un electrón extra, y el electrón deja un «hueco» positivo en los átomos de silicio que puede moverse libremente. Los huecos positivos son portadores mayoritarios en el semiconductor -p.

1.2.6 El diodo semiconductor

Al unir un semiconductor -p con un semiconductor -n se obtiene una junta p-n. En el semiconductor p-n una capa -n negativa con cargas positivas fijas y electrones libres está en contacto con una capa -p positiva en la que los electrones libres están fijos, pero los huecos están libres. En el plano de contacto los electrones de la capa p encuentran a los huecos positivos de la capa n y se combinan entre sí. Las cargas se neutralizan en la superficie de contacto manteniéndose junto a ella iones de fósforo con carga positiva en la capa n e iones de boro con carga negativa en la capa -n. Mientras que las dos capas eran originalmente eléctricamente neutras, ahora se ha formado una carga positiva en el lado -p de la barrera que impide la difusión de más huecos y una carga negativa en el lado -n que impide la difusión de más electrones.

1.2.7 El efecto fotovoltaico en la juntura p-n

Cuando el semiconductor p-n absorbe luz de suficiente energía (en el caso del silicio luz visible e infrarroja corta), cada unidad luminosa (fotón) produce un electrón negativo y un hueco positivo. En un cristal ordinario se recombinarían inmediatamente, con el resultado de que la luz se transformaría en calor. Pero al existir una barrera de potencial en la unión p-n, los electrones producidos en la capa -n se mueven hacia el electrodo y los huecos positivos se mueven hacia el otro electrodo. Cuando los electrones y los agujeros se concentran en los electrodos se produce una potencia eléctrica, y si se unen los electrodos con un conductor, una corriente eléctrica circulará por éste.

1.3 EL EFECTO FOTOVOLTAICO EN LA CÉLULA SOLAR

La conversión directa de luz en energía eléctrica a través de la unión p-n se denomina efecto fotovoltaico. La corriente eléctrica se genera a causa de la energía de la luz que libera electrones en la capa de separación entre la capa -n y la capa -p de la estructura cristalina del semiconductor. Aún en estado de completa oscuridad se lleva a cabo el fenómeno de difusión en el que a raíz de la dotación opuesta de ambas capas, los electrones se desplazan hacia la capa -p (los huecos se desplazan en dirección opuesta). La fuerza atractiva de Coulomb frena a los electrones difundidos y a los huecos a una distancia inferior a los 10^{-3} mm a ambos lados de la capa de separación y crea un campo eléctrico de carga espacial, orientada del semiconductor -n al -p. Este campo eléctrico se caracteriza por una tensión de difusión la cual depende del tipo de cristal utilizado. En el caso del silicio con dotación p-n la tensión de difusión asciende a 0,6 V. El voltaje depende directamente de la energía de ligado de los electrones en el material base.

Cuando la luz cae sobre la capa de separación, se liberan electrones adicionales de la banda de valencia del cristal, se separan en un campo de carga espacial y luego se ponen en movimiento con una orientación que va de la capa -n a la capa -p. La corriente así creada se denomina fotocorriente de cortocircuito I_{fc} , la cual es proporcional a la potencia de la luz ó (fuerza luminosa) y al área iluminada de la capa de separación. La fotocorriente de cortocircuito en un semiconductor n-p de silicio alcanza un valor de aprox. $0,025 \text{ A/cm}^2$ con una potencia luminosa de 1 kW/m^2 . La fototensión a circuito abierto U_0 está delimitada por la tensión de difusión: incrementa a medida que incrementa la fuerza luminosa hasta alcanzar el punto de saturación de la tensión de difusión o sea 0,6 V a 25°C para un semiconductor p-n de silicio.

1.3.1 Parámetros de funcionamiento de la célula iluminada

Al conectar una resistencia (o varios consumidores) al circuito alimentado por una célula iluminada, se establece una tensión de operación U_0 que genera una corriente I_0 que depende directamente de la

fuerza de luminosidad. La **figura 1.1** muestra una curva característica del comportamiento del amperaje y voltaje de una célula solar.

1.3.1.1 Potencia máxima

La potencia máxima que genera una célula solar es:

$$P_b = I_b \cdot U_b \quad (\text{ec. 1.1})$$

Y está representada por el área del rectángulo con las coordenadas (I_b, U_b) en la figura 1.1. La potencia máxima $P_{b\text{max}}$ (para un valor determinado de fuerza luminosa) se obtiene para aquel punto de la curva característica de corriente, para la cual el área del rectángulo sea mayor.

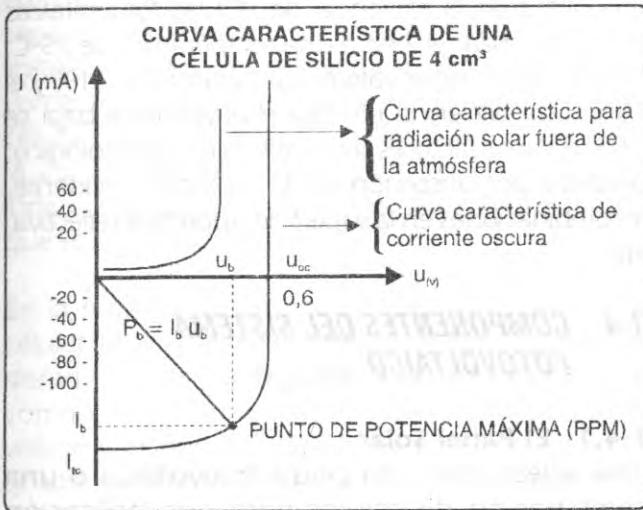


Figura 1.1

El punto de potencia máxima (PPM) se encuentra en medio del codo característico de la curva. Cuanto más pronunciado sea este codo característico, mayor será la potencia $P_{b\text{max}}$. En la **figura 1.2** se observa que los valores de la tensión u_b correspondientes al punto de mayor eficiencia varían con la potencia de radiación. Esto se debe a que la resistencia interna R_i de la capa de difusión de la célula solar disminuye a medida que incrementa la potencia de radiación.

La temperatura de la célula fotovoltaica influye en el comportamiento característico del amperaje y voltaje, y por ende también en la potencia. En la **figura 1.3** se observa que la potencia disminuye a medida que se incrementa la temperatura de la célula bajo un nivel constante de radiación solar ($\sigma = 1000 \text{ W/m}^2$).

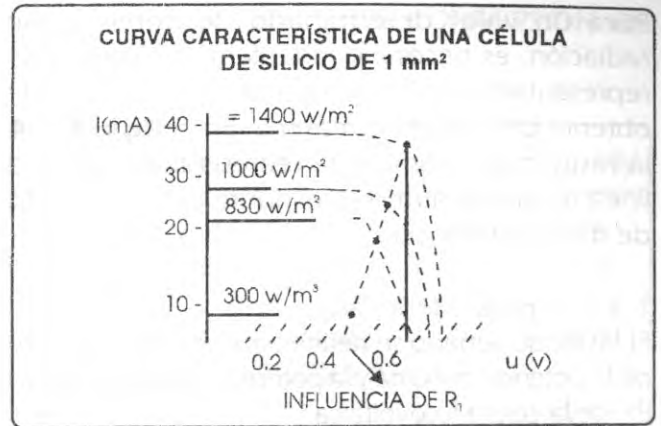


Figura 1.2

Se presenta la curva característica de corriente para diferentes potencias de radiación en una célula de silicio de 1mm²

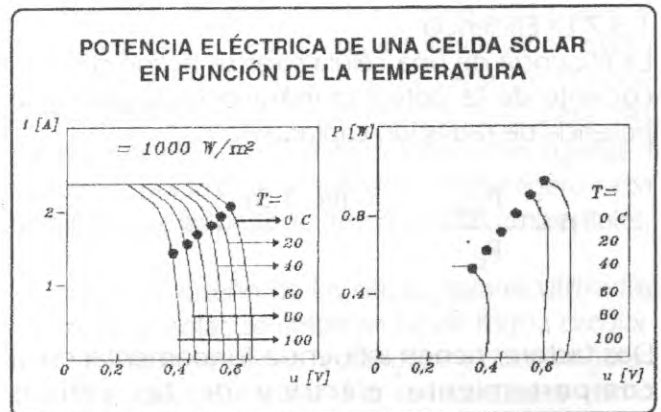


Figura 1.3

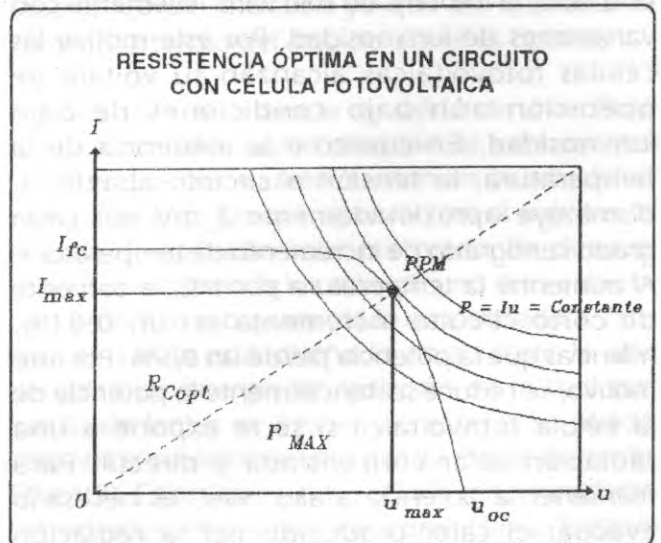


Figura 1.4

Para un valor determinado de potencia de radiación, es necesario adaptar la resistencia R_c , representada por los consumidores, con el fin de obtener una potencia máxima. En la **figura 1.4** la resistencia óptima está representada por una línea recta que atraviesa el punto cero y el punto de mayor eficiencia.

1.3.1.2 Factor de llenado

El factor de llenado se define aquí como el cociente de la potencia máxima y la potencia a circuito abierto P_{co} de la célula fotovoltaica.

$$F = \frac{P_{max}}{P_{co}} = \frac{I_{max} \cdot U_{max}}{I_{cf} \cdot U_o} \quad (\text{ec. 1.2})$$

1.3.2 La Eficiencia

La eficiencia de una célula solar se define como el cociente de la potencia máxima entregada y la potencia de radiación captada P_G .

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_G} \quad (\text{ec. 1.3})$$

Dos factores tienen influencia fundamental en el comportamiento eléctrico de las células fotovoltaicas: la potencia de radiación y la temperatura. La corriente eléctrica (y por ende la potencia entregada) aumenta proporcionalmente a medida que incrementa la fuerza luminosa. Por otro lado, la fototensión sólo varía levemente con variaciones de luminosidad. Por este motivo las células fotovoltaicas alcanzan su voltaje de operación aún bajo condiciones de baja luminosidad. En cuanto a la influencia de la temperatura, la tensión a circuito abierto u_o disminuye aproximadamente 2 mV por cada grado centígrado de incremento de temperatura. Al aumentar la temperatura por 1°C, la corriente de corto circuito incrementa en un 0,01%, mientras que la potencia pierde un 0,5%. Por este motivo, se reduce sustancialmente la potencia de la célula fotovoltaica si se le expone a una radiación solar concentrada y directa. Para mantener la potencia a alto nivel, es necesario evacuar el calor producido por la radiación mediante un eficiente sistema de enfriamiento.

1.3.2.1 Influencia de la distribución espectral sobre la eficiencia

La potencia eléctrica de una célula fotovoltaica depende de la energía suministrada, es decir de la zona espectral de la radiación. La célula solar solamente exhibe sensibilidad a la radiación solar, que en caso de la célula de silicio cubre el rango de longitud de onda entre 0,44 μm y 1,1 μm .

Ya que la atmósfera de la tierra provoca un desplazamiento de la región del ultravioleta hacia la región visible (azul), la potencia de una célula de silicio es un 20% mayor en la atmósfera terrestre que en el espacio.

Teóricamente la eficiencia de células fotovoltaicas puede alcanzar el 23% a una temperatura de 25°C. En la práctica, estos valores oscilan entre el 11% y el 15%. Esta eficiencia efectiva relativamente baja se debe a varios factores de índole físico y tecnológico: pérdidas por absorción en la radiación incidente, recombinaciones en la superficie, superficie reflectiva, etc.

1.4 COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

1.4.1 El Panel Solar

Para seleccionar una célula fotovoltaica o una combinación de células para una aplicación particular, es necesario comparar las especificaciones de la célula seleccionada con los requerimientos de la aplicación.

El primer aspecto que debe considerarse al montar una célula para una aplicación particular es su configuración geométrica. Las células se dividen según su forma en circulares, hexagonales y rectangular. Lógicamente influye aquí también el tamaño físico de la célula.

De las especificaciones eléctricas, la corriente de salida y la eficiencia son de gran importancia. Usualmente no es necesario especificar el voltaje de salida de la célula ya que la corriente de salida se especifica. Para un voltaje de referencia (por ejemplo: 0,45 v).

Otras especificaciones de interés son las referentes a la influencia ambiental. Estas incluyen el rango de

temperatura en el que operan las células y la resistencia a varios factores ambientales que pueden tener cierta influencia en el comportamiento, como lo es, por ejemplo, la humedad relativa.

1.4.1.1 Conexión de las células

El voltaje de salida de una célula es de aproximadamente 0,45 V bajo condiciones de total irradiación solar. La cantidad de corriente producida por una célula depende del área de la misma. En la mayoría de las aplicaciones es necesario conectar varias células para obtener un panel solar (o módulo) que suministra el voltaje y la corriente necesarios.

Las células fotovoltaicas se pueden conectar en serie o en paralelo. Cuando varias células se conectan en serie, el voltaje total de la serie será la suma de los voltajes individuales de cada una de las células. La corriente de salida será igual a la corriente de una célula. En el caso de conectar las células en paralelo, la corriente total será la suma de las corrientes individuales de cada célula y el voltaje será el mismo que el de una simple célula.

En la mayoría de las aplicaciones se conectan las células tanto en serie como en paralelo como se demuestra en la **figura 1.5**. El número de componentes conectados en serie determina el voltaje y el número de células paralelas en cada grupo determina la corriente que se le puede suministrar a una carga.

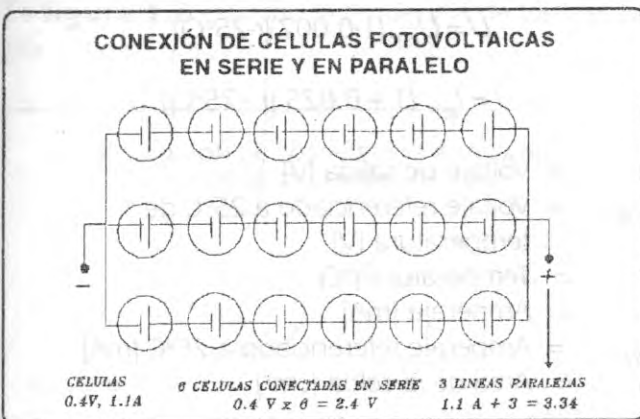


Figura 1.5

1.4.1.2 Eficiencia

En la **tabla 1.1** figuran las eficiencias obtenidas en laboratorios de investigación n_c y las eficiencias estándares para células solares comerciales n_M de diferentes materiales.

TABLA 1.1 EFICIENCIAS DE CONVERSIÓN DE DIFERENTES MATERIALES

MATERIALES DE LA CÉLULA	n_c [%]	n_M [%]
SILICIO MONOCRISTALINO	24	16
POLICRISTALINO	20	14
AMORFO	14	6
DISELANO - COBRE - INDIO	14	> 10
CÉLULAS CONCENTRADORAS		
SILICIO	27	15 - 19
ARSENIURO DE GALIO	29	-
MULTI-FUNCIÓN	35	-

1.4.1.3 Construcción

Para una eficaz protección de las influencias ambientales, el módulo se recubre con material plástico y vidrio. Las células fotovoltaicas están usualmente cubiertas con una capa de silicona altamente transparente. Las líneas para las conexiones eléctricas de las células están sujetas a corrosión, por lo cual se cubren con una ligera capa de teflón que las protege de influencias ambientales.

En cuanto al diseño de las células solares utilizadas en un panel solar, se emplean las de forma circular, semicircular, hexagonal, rectangular y cuadrangular. El utilizar células circulares o semicirculares como elementos de un panel tiene la desventaja de que estas formas dejan mucho espacio improductivo entre ellos. Por este motivo, hoy en día las células de tipo cuadrangular o rectangular las han desplazado del mercado ya que en este caso el aprovechamiento del área del panel es óptimo.

Por otro lado, la potencia de salida de una célula solar está limitada por la cantidad de luz solar que se intercepta por su área. Existen en la actualidad nuevas tecnologías que aprovechan al máximo la energía de radiación solar por medio de sistemas ópticos que captan la luz solar de una área extensa para enfocarlo sobre una célula concentradora. Este tipo de célula está diseñado para resistir la alta densidad de energía de radiación de la cual por medio de lentes de fresnel y/o espejos se puede concentrar su componente directa en un factor de 50 a 100. Estos sistemas con células concentradoras tienen altas eficiencias de conversión. Existen aplicaciones que fuera de las células concentradoras

disponen de un sistema para el seguimiento de la trayectoria solar con lo cual obtiene un máximo aprovechamiento energético.

Los esfuerzos de desarrollo de los institutos de investigación y de la industria en el sector de las células solares han encontrado en las denominadas tecnologías de capa fina un acercamiento notable a su principal meta que es el aumento del grado de rendimiento. tal como ya indica su propio nombre, con este procedimiento solamente se deposita una película muy delgada de costoso material semiconductor sobre un sustrato apropiado de precio económico (por ejemplo, vidrio) y con ello se reduce considerablemente el consumo de ese material. La célula de capa fina completa tiene sólo 3 micras (3µm) de espesor, o sea aproximadamente 1/10 del espesor de un cabello humano.

1.4.1.4 Materiales

Las células solares de silicio son las que más se utilizan en el mercado de las fotovoltaicas. Se dividen según su estructura cristalina en células monocristalinas (estructura completamente homogénea de átomos de silicio), células policristalinas (estructura parcialmente homogénea de átomos de silicio) y las células amorfas (estructura con agrupación desordenada de átomos de silicio). La tecnología de silicio amorfo (si-a) es la aplicación de la tecnología de capa fina, en la cual para la fabricación del módulo se metalizan por evaporación varias capas sobre el material de soporte.

La eliminación del efecto de degradación, así como la opción de poder transformar una gama mayor de ondas largas y con ello el contenido de energía de la luz solar incidente, mediante pares de materiales apropiados, ha marcado el desarrollo de materiales alternativos. Como altamente prometedor se ha manifestado el disilano - cobre - indio (CIS) que resulta ser muy estable en sus constantes y que es también, al mismo tiempo el mejor semiconductor absorbente de luz.

Las células fotovoltaicas de arseniuro de galio demuestra una característica física inusual con respecto al incremento de la densidad de radiación: reaccionan de una manera no lineal. Al aumentar la potencia de radiación, la potencia eléctrica incrementa de una manera más acentuada que la

misma potencia de radiación. Esta característica de las células de GaAs hace que éstas sean adecuadas para condiciones de concentración de radiación solar, o sea la aplicación de la tecnología de células concentradoras.

1.4.1.5 Influencia de la temperatura

La célula fotovoltaica de silicio está construida para operar en un rango de temperaturas entre los -65°C y los +125°C. Las células pueden soportar temperatura del orden de +250°C por un período de tiempo de aproximadamente de 30 minutos, o temperaturas aún superiores durante períodos de tiempo más cortos. Su comportamiento es extremadamente bueno en bajas temperaturas. La temperatura de la célula tiene influencia sobre la potencia para una determinada cantidad de iluminación. A medida que incrementa la temperatura de las células, el voltaje decae 2 mV por cada grado centígrado. Esta caída de voltaje se compensa parcialmente ya que al mismo tiempo el amperaje se incrementa en 0,5 mA por cada grado centígrado. La compensación no es completa, por este motivo el efecto se detecta en que la potencia disponible sufrirá una caída del 0,3% por el incremento de 1°C en la temperatura. En la mayoría de los casos los fabricantes de células fotovoltaicas o paneles solares basan sus datos técnicos en una temperatura referencia de 25°C. El comportamiento del voltaje y del amperaje de las células también se puede expresar en fórmulas.

$$U = U_{REF} (1 - 0.002 (T - 25^\circ C))$$

$$I = I_{REF} (1 + 0.025 (T - 25^\circ C))$$

U	= Voltaje de salida [V]
U_{REF}	= Voltaje referenciado a 25°C de temperatura [V]
T	= Temperatura (°C)
I	= Amperaje [mA]
I_{REF}	= Amperaje referenciado a 25°C [mA]
A	= Area de la celda (cm ²)

1.4.1.6 Vida útil

El proceso de transformación de energía en las células fotovoltaicas de silicio no implica ningún desgaste mecánico, por este motivo no existe limitación de la vida útil de la misma. El desgaste de los paneles que tiene como consecuencia la

disminución de la vida útil, se debe en primera instancia al desgaste del «empaquetado», es decir el marco de metal o las conexiones eléctricas. Se estima que la vida útil de paneles solares de la última generación que está ligada directamente a la degradación (disminución de la potencia con el tiempo) alcanza los 20 años.

1.4.1.7 Mantenimiento

La única medida de mantenimiento que existe para paneles solares consiste en la limpieza de la superficie para librarla de acumulaciones de polvo y otros depósitos. La limpieza de los paneles debe adecuarse a las circunstancias ambientales del sitio. En regiones con precipitaciones periódicas o en áreas en las cuales el aire tiene alto grado de pureza, el mantenimiento de los paneles tiene poca importancia.

1.4.1.8 Costos

El precio de los módulos solares no sirve como criterio para la evaluación de costos para la generación fotovoltaica, ya que este precio depende de la potencia instalada del sistema. Se utiliza para este fin el precio de los vatios pico (Wp), o sea el costo por unidad de potencia máxima de un panel solar. El costo de producción de los módulos depende de la escala de producción.

A medida que se incrementa la demanda de paneles, también se agrandan las fábricas productoras (existen actualmente empresas que producen 5 - 10 MWp por año), lo que conlleva a reducciones en los costos. La **figura 1.6** muestra la tendencia de los precios por vatio pico a nivel internacional.

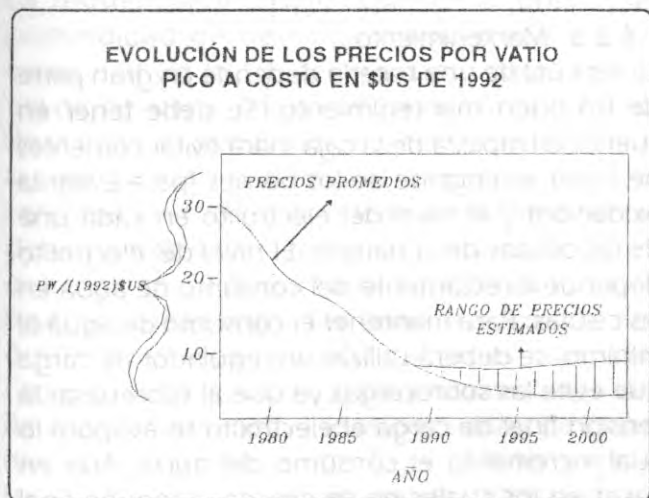


Figura 1.6

En la **tabla 1.2** aparecen los costos estimativos de varias tecnologías fotovoltaicas a diferentes tasas de producción. Cabe anotar que los costos de producción que aquí aparecen no incluyen los costos por distribución y los márgenes de ganancia por parte de los comerciantes, los cuales se deberían adicionar para obtener los precios de compra.

TABLA 1.2 COSTOS ESTIMADOS DE DIFERENTES MATERIALES A DIFERENTES RATAS DE PRODUCCIÓN

MATERIAL DE LA CÉLULA	COSTOS DE LOS MÓDULOS (US\$/WP a 1992)		
	1 MW p.a	10 MW p.a	100 MW p.a
SILICIO MONOCRISTALINO	4,5	2,3	1,5
POLICRISTALINO	4,5	1,8	1,2
AMORFO	3,0	1,5	0,6
DISILANO-COBRE-INDIO (CSI)	3,0	1,5	0,6
SILICIO ARSENIURO DE GALIO	6,0	2,3	1,2
	4,5	1,8	1,1

1.4.2 La batería

Ya que la generación fotovoltaica se lleva a cabo durante las horas del día y la demanda de energía eléctrica por lo general es mayor en horas de la noche, es necesario acumular la energía generada por el sistema fotovoltaico. Esta función la adopta la batería. A raíz del ciclo diario de carga y descarga, el ciclaje de una batería representa uno de los criterios más importantes para la selección.

Entre todas las variaciones se destaca la batería estacionaria como la más adecuada para el caso en sistemas fotovoltaicos. Esto se debe a que puede alcanzar una vida útil superior a los 10 años, siempre y cuando su operación y mantenimiento se lleven a cabo de una forma correcta y adecuada. Este tipo de batería suministra corriente constante durante períodos prolongados de tiempo. También se destaca por su alta tasa de descarga, mayor duración y alta confiabilidad. Sin embargo, se emplea este tipo de baterías solamente en sistemas de mayor tamaño o en sistemas con una tecnología avanzada (p.e. telecomunicaciones). Su precio oscila entre los \$US 75 (50 Ah) y los \$US 215 (160 Ah) a precios de 1994 en Colombia. A pesar de su costo elevado se justifica su comparación con otros tipos de baterías si se contempla su extensa vida útil. La utilización inadecuada de una batería tan costosa por parte de

usuarios de sistemas solares familiares localizados en áreas rurales tendría consecuencias nefastas para el usuario de pocos recursos económicos. Por este motivo no es aconsejable la utilización de estas baterías por parte de usuarios individuales de bajos recursos en las áreas rurales.

Las baterías automotrices de plomo/ácido y las níquel/cadmio son los acumuladores de mayor uso para sistemas fotovoltaicos en países subdesarrollados. Su reducido costo y su alta disponibilidad se debe en parte al hecho que en la mayoría de los casos las baterías automotrices son fabricadas localmente.

Esta batería está diseñada para proporcionar altas corrientes durante un corto lapso de tiempo necesario para el arranque de automotores. Por este motivo no está diseñada para la operación cíclica con lentas cargas y descargas.

Con la introducción al mercado de baterías de arranque con descarga prolongada se creó una alternativa promisoría. Estas baterías se caracterizan por tener placas más gruesas, aleación de plomo modificada y un mayor volumen de captación de ácido. Una ventaja decisiva de este tipo de baterías es que su tecnología de fabricación y su nivel de precios es similar al de la batería automotriz.

En el mercado internacional también se consiguen las denominadas «baterías solares» que se utilizan exclusivamente en aplicación fotovoltaica. Sus principales características técnicas son la resistencia a las sobrecargas y ciclaje, limitación de la autodescarga debido a la composición de las aleaciones empleadas, bajo consumo de agua, gran reserva de electrolito, densidad moderada del electrolito y gran longevidad. A causa de su elevado costo aún no se han comercializado mucho en países subdesarrollados.

1.4.2.1 Capacidad

La capacidad de almacenamiento de la batería se mide en amperios-hora (Ah). La capacidad depende de la corriente de consumo de la carga, el tiempo de respaldo o autonomía limitado por la tensión final de descarga, de la temperatura, de la cantidad de electrolito en las células y de la densidad del electrolito.

El fabricante determina la capacidad nominal C_N que es el producto entre la corriente nominal de descarga I_N y el tiempo de autonomía T_N .

El coeficiente de recarga caracteriza el tiempo de autonomía (en horas) con el cual se ha determinado la capacidad nominal.

Coefficiente de recarga de baterías de plomo

- $C_N = C_{10}$ para baterías de propulsión a $T_N = 30^\circ\text{C}$.
- C_{20} para baterías de arranque a $T_N = 27^\circ\text{C}$.
- C_{20} para acumuladores de plomo cerrados y libres de mantenimiento a $T_N = 20^\circ\text{C}$.

Coefficiente de recarga de baterías alcalinas

- $C_N = C_5$ para baterías de níquel/cadmio a $T_N = 20^\circ\text{C}$
- C_5 para baterías de níquel/cadmio a $T_N = 20^\circ\text{C}$

T_N es la temperatura nominal a la cual se ha determinado la capacidad nominal.

1.4.2.2 Tensión

La tensión nominal U_N de la batería es el producto de la cantidad de células conectadas en serie y la tensión nominal de las células. La tensión de la batería U_B es la tensión que se mide entre los dos bornes durante un determinado estado de funcionamiento.

También se diferencian la tensión de marcha en vao U_o , tensión de carga U_L , tensión de carga media U_{LM} (valor del promedio aritmético de la tensión durante el período total de carga) y la tensión final de carga U_{LE} (valor constante de la tensión al final de la carga con una corriente constante).

1.4.2.3 Mantenimiento

La vida útil de una batería depende en gran parte de un buen mantenimiento. Se debe tener en cuenta la limpieza de la caja (para evitar corrientes de fuga), el engrase de los bornes (para evitar la oxidación) y el nivel del electrolito en cada una de las células de la batería. El nivel del electrolito depende directamente del consumo de agua en las células. Para mantener el consumo de agua al mínimo, se deberá utilizar un regulador de carga que evite las sobrecargas ya que al sobrepasar la tensión final de carga el electrolito se evapora lo cual incrementa el consumo del agua. Aun en casos en los cuales no se exceda la tensión final de carga, la reposición de agua destilada en el

electrólito será necesaria ya que siempre habrá pérdidas por la evaporación normal causada por altas temperaturas ambientales.

Los fabricantes de las baterías dan recomendaciones para un adecuado mantenimiento, de las cuales las más importantes se describen a continuación.

- No se deben colocar las baterías directamente sobre el piso sino sobre estantes de madera o sobre algún otro tipo de soporte que las aisle directamente del piso.
- Deben instalarse en lugares secos, ventilados, con mucha luz poco expuestos a variaciones bruscas de la temperatura (-5 y + 25°C).
- Periódicamente (cada mes) debe verificarse el nivel del electrolito y agregar agua destilada si es necesario.

Con respecto al nivel de electrolitos en el recipiente, el desconocimiento de la función del agua destilada que se agrega al electrolito puede tener consecuencias negativas para el buen funcionamiento de la batería. Si en vez de agua (destilada) para baterías se adicionan líquidos con contenido ácido con el fin de «energizar» nuevamente una batería vieja o descargada, el resultado será contraproducente. La adición de ácidos incrementa la densidad de acidez del electrolito, ataca la rejillas de los electrodos y reduce drásticamente la vida útil de la batería.

1.4.2.4 Vida útil

La resistencia al ciclaje representa junto a la profundidad de descarga media diaria y a la capacidad un factor determinante para la vida útil de la batería. Por consecuencia la capacidad de la batería también es un factor esencial para la vida útil. Una batería que se descarga a baja corriente en 100 horas puede suministrar hasta doble cantidad de carga que una batería que se descarga en 10 horas hasta alcanzar la tensión final de descarga. De manera similar se diferencian las especificaciones de las capacidades C_{10} , C_{20} o C_{100} para el mismo tipo de batería. Por este motivo se puede utilizar de igual manera una batería con $C_{10} = 50$ Ah o una batería de $C_{100} = 100$ Ah en un sistema solar familiar a nivel rural. Cabe anotar que los

fabricantes especifican las baterías de arranque (baterías automáticas) en C_{20} , las estacionarias en C_{10} y las baterías solares en C_{100} .

Una batería de arranque que opera sin regulador (o sin controlador de descarga profunda) y que fue sometida con frecuencia a descarga profunda tiene una vida útil de aproximadamente un año. Si la misma batería se carga diariamente con el regulador adecuado y el nivel de descarga no sobrepasa los 20%, la vida útil será máximo tres años. Una batería solar puede cumplir sus funciones durante nueve años si se le opera a condiciones similares.

1.4.3 Regulador de Carga

Cada planta solar requiere un regulador electrónico de carga para proteger tanto los paneles como baterías y para ofrecerle al usuario u operador un fácil y seguro manejo.

Las pequeñas plantas solares individuales se instalan con reguladores electrónicos desarrollados a nivel nacional que tienen las siguientes características:

- Protección de paneles y baterías contra conexión invertida.
- Protección de baterías contra sobrecargas y descargas profunda.
- Indicación visible de carga normal, batería descargada, del consumo por cortocircuito y fallas en general.

1.5 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.5.1 Comunicación

En la actualidad, la más común y quizá la aplicación más creciente de la tecnología FV es la provisión de energía eléctrica para los sistemas de comunicación. La energía fotovoltaica ha sido aceptada en todo el mundo por la industria de las telecomunicaciones como la «energía de preferencia» a causa de su alta calidad, su confiabilidad y sencillez. Los usos varían desde las pequeñas radio individuales hasta los grandes y críticos sistemas de comunicación, como las repetidoras de microondas, de televisión, de radio, y los sistemas telefónicos.

Los sistemas de comunicaciones de energía FV funcionan prácticamente en todos los países del

mundo. Muchos están situados en zonas alejadas con accesibilidad limitada y condiciones climáticas extremas, incluso fuertes vientos, nieves y hielos.

En Tailandia, las estaciones repetidoras de energía FV proveen servicio telefónico a todo el país. El Jungle Aviation and Radio Service USA ha enviado más de 1000 sistemas FV a todo el mundo en desarrollo. En Panamá, una estación radiodifusora recibe energía de un sistema de 180 vatios. El costo de los módulos, el transmisor, el equipo de estudio, el ventilador, y las luces fue de menos que US\$3.000. En la India, más de 250 sistemas comunitarios de televisión han sido instalados y combinado con luz eléctrica para proveer una amplia gama de actividades educacionales. En Gambia, transreceptores VHF de energía FV permiten comunicaciones urgentes entre centros de salud vecinos.

Los sectores público y privado de los Estados Unidos utilizan varios miles de instalaciones de comunicaciones FV. Desde 1979, la Administración de Tierras de los EE.UU. utiliza doce repetidoras de 5 vatios y estaciones básicas en Alaska como parte de un importante relevamiento anual de tierras. La Administración Federal de Aviación de los EE.UU. mantiene un sistema de comunicaciones remotas de radio de aire-tierra en las montañas de California septentrional, utilizando la energía eléctrica suministrada por un sistema de 3,5 kilovatios. Un generador diesel provee energía de respaldo durante los períodos prolongados de mal tiempo. El sistema provee energía para un transmisor-receptor de radio VHF y UHF. Su funcionamiento ha sido excelente, sin que se produjeran fallas desde su instalación en 1985.

1.5.2 Iluminación

Los sistemas FV proveen energía eléctrica a miles de sistemas de iluminación en todo el mundo. Estos éxitos han engendrado una nueva generación de sistemas específicos que incluye el suministro de energía FV, baterías, lámparas y controles dimensionados para satisfacer los requisitos de cargas variables. La energía fotovoltaica, combinada con los nuevos artefactos de iluminación de poco consumo de energía que ya se producen comercialmente, resulta sumamente eficiente y efectiva desde el punto de vista del costo.

Los sistemas de iluminación FV se utilizan en todas las aplicaciones tradicionales. El resultado son mejores condiciones de vida y de trabajo, mayor productividad y un mejoramiento en la seguridad. Cada vez más, sin embargo, las luces accionadas con energía FV satisfacen muchas necesidades especiales tales como luces de tránsito, parada de autobuses, carreteras y vías fluviales, aeropuertos y helipuertos.

1.5.3 Bombeo de Agua

El suministro de suficiente agua limpia y segura constituye una importante preocupación en casi todos los países del mundo. Casi 2000 millones de personas en zonas rurales del mundo en desarrollo carecen de acceso a fuentes seguras de agua potable. En gran parte del resto del mundo, el acceso al agua potable requiere costosos métodos de entrega. Las Naciones Unidas estiman que costaría más de US\$90000 millones satisfacer las necesidades de agua potable del mundo.

Existen en todo el mundo más de 20000 sistemas accionados con energía solar que utilizan para bombear agua para el consumo humano y usos agropecuarios, incluso agua para el ganado y riego para las cosechas. Las bombas solares son particularmente útiles para aplicaciones intermedias (aldeas pequeñas de 100 a 1000 habitantes) y para necesidades agrícolas moderadas (que requiere de unos pocos vatios a unos pocos kilovatios de energía). Los sistemas de bombeo de agua accionados con energía FV disponibles comercialmente pueden suministrar agua de fuentes superficiales con profundidades de hasta 1 metro, o de pozos de hasta 120 metros. Las tasas típicas de flujo varían de 5 metros cúbicos a más de 250 metros cúbicos por día.

Debido a que el consumo de agua crece a medida que aumenta la luz del sol, la tecnología fotovoltaica constituye muchas veces una fuente ideal de generación de energía. Pero en otras condiciones, la FV puede combinarse con otras tecnologías para satisfacer demandas en gran escala, independientemente de las condiciones, o reducir el costo del sistema total.

Existen numerosas experiencias de bombeo de agua con energía FV. En Bolivia, el Departamento

de Energía de los EE.UU. instaló tres sistemas de bombeo que han funcionado sin problemas desde su instalación en 1986. Se utiliza una combinación de motobomba centrífuga sumergible con sistemas FV de 160 a 320 vatios. Los usuarios aceptaron el sistema inmediatamente, lo que resultó en una tasa de utilización más alta que la anticipada y generó un considerable interés por otros sistemas similares. El mayor número de bombas de agua accionadas con energía FV se encuentra en la India, donde se han instalado más de 500 sistemas para suplir las necesidades de agua de las aldeas rurales.

1.5.4 Desinfección de Agua

En muchas partes del mundo, el agua potable se toma de fuentes contaminadas. De hecho, más de la mitad de las enfermedades del mundo en desarrollo pueden atribuirse a infecciones relacionadas con el agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 15 millones de niños mueren cada año a raíz de enfermedades transmitidas a través de agua contaminada. Los animales y las cosechas también pueden verse gravemente dañados o destruidos por utilizar agua contaminada.

Los sistemas fotovoltaicos se han utilizado para proveer de energía eléctrica a sistemas convencionales de purificación, tales como la dosificación química, la esterilización ultravioleta y la filtración lenta por arena. Durante los últimos 10 años se ha desarrollado una nueva técnica que funciona bien con la energía suministrada por un sistema FV. El agua se purifica con una mezcla de gases oxidantes desinfectantes generados por la electrólisis del agua salada. Dicha técnica se llama MOGGOD (Mixed Oxidant Gas Generation On Demand). Varios fabricantes producen actualmente generadores compactos de oxidantes mixtos que pueden accionarse con energía FV. Los sistemas han demostrado ser más eficaces que la desinfección con métodos convencionales de cloro, y son más sencillos de operar y mantener.

1.5.5 Instalaciones Remotas: Clínicas, Escuelas y Viviendas

La incidencia de enfermedades infecciosas evitables, combinada con la falta de un adecuado cuidado de la salud, ha contribuido

a incrementar la tasa de mortalidad de infantes y de niños en los países en desarrollo a aproximadamente 5 millones de muertes por año.

Los programas de vacunación han logrado reducir la incidencia de enfermedades infecciosas tanto para los seres humanos como la ganadería. Estos programas, sin embargo, dependen de la existencia de sistemas seguros de refrigeración para mantener la calidad de las vacunas.

Durante los últimos 5 años, se han instalado en zonas rurales más de 2000 refrigeradores convencionales (de compresión a vapor) que utilizan electricidad generada por módulos FV. Estas unidades no sólo son familiares para los técnicos en refrigeración de todo el mundo si no que a diferencia de los refrigeradores de absorción pueden ser controladas termostáticamente lo que resulta fundamental para la seguridad de las vacunas. En muchos casos son preferibles refrigeradores-congeladores accionados con energía FV, especialmente donde no hay acceso seguro a una red confiable de electricidad y donde el suministro de otros combustibles es inseguro y de baja calidad.

Varias organizaciones han realizado pruebas de campo y han evaluado los refrigeradores-congeladores FV, incluso la OMS y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Más de 50 sistemas se han ensayado en el terreno en más de 30 países. Los resultados recientes indican que las unidades accionadas con energías FV operan eficazmente el 95% del tiempo.

Una clínica rural de salud no sólo necesita electricidad para la refrigeración de vacunas. Los sistemas FV pueden proveer energía para esterilizadores de instrumentos quirúrgicos, iluminación, equipos para comunicaciones y equipos de adiestramiento.

Existen muchos ejemplos de clínicas de salud que cuentan con energía FV. En Zaire se han instalado 850 sistemas FV de iluminación en clínicas de salud. El proyecto ha proporcionado al personal médico un mayor incentivo para trabajar o continuar trabajando en zonas rurales, lo que a su vez ha contribuido a mejorar los servicios de atención de la salud.

Varios importantes hospitales de Zaire dependen totalmente de los sistemas FV para el suministro de electricidad. El hospital Bulape atiende a 50000 pacientes externos y 11 médicos cada año. Un sistema FV provee la energía eléctrica necesaria para sus tres salas de operaciones, equipos de rayos X y otros equipos médicos, laboratorios, habitaciones para los pacientes y sistema de aire acondicionado.

Los médicos informan que, desde su instalación en 1981, la energía ha sido más segura en el hospital Bulape que en los hospitales de la ciudad capital de Kinshasa.

Trescientas millas al sur se encuentra una de las ciudades más grandes en el mundo que no cuentan con servicio eléctrico central. Casi 3 millones de personas viven en Kananga, que cuenta con dos hospitales. El Hospital de Buen Pastor, un complejo de 40 edificios situado en los alrededores de la ciudad, se abastece de energía principalmente a través de un sistema hidroeléctrico. El complejo hospitalario está construyendo una instalación para capacitar enfermeras y residentes en maternidad, nutrición, preparación de alimentos y otras materias relacionadas con la salud. Pero la planta de energía hidroeléctrica no puede satisfacer la mayor demanda. Están agregándose sistemas FV para proveer de electricidad a los nuevos edificios y proporcionar un respaldo al sistema vigente.

ELECTRIFICACIÓN RURAL

Los programas de electrificación rural en muchos países han tenido distinto grado de éxito, pero otros países no cuentan con programas de este tipo. Cerca del 75% de la población del mundo carece aun de acceso a la electricidad.

Una opción para reducir estas abrumadoras estadísticas es extender las líneas de distribución eléctrica empleando la capacidad de generación existente. En los Estados Unidos, el costo típico de una línea de transmisión y distribución de 15 kilovoltios en terreno plano con capacidad de 10 a 20 megavatios es de US\$30000 a US\$50000 por milla. Para que esta opción resulte efectiva desde el punto de vista del costo, la carga tiene que estar razonablemente cerca de la red existente, porque para mantener líneas de transmisión sobre terreno

difícil pueden presentarse muchos obstáculos. La carga también tiene que ser lo suficientemente grande como para recuperar el elevado costo de la extensión.

Otra alternativa es instalar una pequeña central regional. Las plantas de energía que se abastecen de combustibles fósiles requieren una infraestructura ya existente para asegurar el abastecimiento seguro de combustible y repuestos y contar con técnicos e ingenieros capacitados para el mantenimiento. Las ventajas de los sistemas FV (modularidad, facilidad de operación, confiabilidad, y falta de requisitos de combustible) las hacen muy convenientes para proyectos de electrificación rural. Los ejemplos siguientes demuestran algunas de las muchas maneras en que los sistemas fotovoltaicos pueden utilizarse para la electrificación rural.

En la Polinesia Francesa, de 30000 a 40000 personas viven en las islas exteriores, separadas por centenares de millas de terreno abrupto. La generación centralizada es imposible, y la entrega del combustible y el servicio imposibilitan la generación Diesel. Desde 1981, el Instituto de Energía Renovables del Pacífico Sur ha electrificado casi 2500 casas en 23 islas, utilizando sistemas FV individuales.

Los sistemas utilizan 400 vatios de módulos FV y 425 amperios-hora de almacenaje de batería para proveer energía eléctrica para equipos CD para iluminación, refrigeración y comunicaciones.

1.5.6 Preparación y Prevención de Desastres Naturales

La energía FV puede ayudar a advertir o impedir desastres naturales. Algunos productos descritos anteriormente, tales como las luces de advertencia, han permitido evitar accidentes en las casas, el trabajo, y en todos los sectores de transporte. Los sistemas FV también se utilizan frecuentemente para la protección catódica para impedir la fatiga o la corrosión de los metales empleados en oleoductos y gasoductos, plataformas marinas, puentes, tanques de almacenaje, tuberías de revestimiento de pozos de agua y otras estructuras situadas al aire libre o subterráneas. Otros sistemas FV proporcionan energía eléctrica para dispositivos de vigilancia y sistemas de registro del clima, que pronostican desastres naturales o provocados por el hombre.

Pero cuando ocurre un desastre por lo general las fuentes de energía quedan interrumpidas o destruidas por un tiempo y resulta fundamental la capacidad de suministrar rápidamente energía para bombas de agua, comunicaciones, hospitales y otros esfuerzos de alivio de emergencia. Los sistemas FV se adaptan particularmente a estas operaciones porque son seguros y no dependen de un suministro regular de combustible.

Existen muchos ejemplos de la forma en que los sistemas fotovoltaicos se utilizan para responder a situaciones críticas. Los sistemas de comunicaciones por radio facilitan la distribución de alimentos en Etiopía. Un equipo de biólogos de los EE.UU. utiliza un refrigerador portátil de vacunas para estudiar vectores de enfermedades en lugares remotos de Kenya. Un equipo de investigación epidemiológica de los Estados Unidos emplea paneles FV para recargar baterías livianas que proveen energía eléctrica para una multitud de dispositivos, que incluyen microscopios, bombas de agua pequeñas, sistemas de purificación de agua, radios de onda corta, luces y ventiladores.

1.5.7 Mercado Creciente de los SFV

Las aplicaciones analizadas hasta el momento representan los usos más comunes de la tecnología FV. El número de instalaciones y el alcance de la energía suministrada son cada vez más efectivos desde el punto de vista del costo. Las ventas para la industria, sin embargo, están extendiéndose rápidamente a otras áreas.

EQUIPOS PARA LA FABRICACIÓN DE MÓDULOS FV

Las empresas estadounidenses han estado produciendo más equipos para la fabricación de celdas y módulos FV que cualquier otro país. El creciente uso mundial de la tecnología fotovoltaica indica que estas ventas continuarán aumentando.

APLICACIONES PARA LAS EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS

Las empresas de servicios públicos están empezando a ver las ventajas de los sistemas fotovoltaicos para suplir algunos de sus requisitos de energía en zonas alejadas. Sólo una empresa de electricidad ha instalado más de 400 sistemas FV independientes para proveer energía eléctrica a una amplia gama

de equipos, como medidores del nivel de agua, medidores de gas, dispositivos para lluvia artificial, sirenas de alarma y faros para aeronaves.

Otras empresas están experimentando con sistemas fotovoltaicos para reducir la demanda de estaciones centrales durante los períodos pico o proveer energía adicional a la red de electricidad durante períodos de alto uso.

TRANSPORTES

Aunque los vehículos accionados con energía FV no son todavía muy utilizados, los fabricantes de automóviles están explorando usos de la tecnología para reducir la demanda de energía o aumentar la eficiencia en automóviles convencionales, camiones y camionetas.

Las unidades FV para cargar las baterías se encuentran en el mercado desde hace años. Sin embargo, con el número de instrumentos computadorizados que incluyen actualmente los automóviles, están encarándose esfuerzos para incluir celdas FV en las unidades, (como en los techos y tableros de instrumentos), para mantener la carga de las baterías y extender la vida de éstas. También está investigándose la utilización de la tecnología FV para reducir el tamaño de los acondicionadores de aire de los automóviles, que generan gran parte del clorofluorocarbono (CFC) arrojando a la atmósfera todos los años. Los sistemas de ventilación con energía FV que ventilan el aire mientras el vehículo está parado reducen los grandes requisitos de energía necesarios para refrescar un vehículo durante los primeros minutos de operación. Ello permite el uso de aparatos más pequeños de aire acondicionado.

PRODUCTOS COMERCIALES Y DE CONSUMO

Una encuesta de productos FV que ya se encuentra en el mercado incluye radios, relojes, calculadoras y luces, indica un brillante porvenir para otros productos similares, como pequeñas herramientas de mano, artefactos domésticos, computadoras y una amplia gama de dispositivos para deportes y recreación. Los mercados futuros incluyen conjuntos de sistemas FV o generadores híbridos (viento o diesel) diseñados para satisfacer diversos requisitos de energía.

1.6. OPCIONES FOTOVOLTAICAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN

1.6.1 Sistemas Solares Familiares (SSF)

Para asentamientos dispersos, donde la instalación de la red se hace demasiado cara, los SSF son una opción atractiva.

La principal ventaja comparativa de estos sistemas FV sobre los sistemas convencionales es su adaptabilidad para pequeños consumidores. Estos sistemas individuales son modulares y pueden ser dimensionados convenientemente según la demanda del usuario, haciendo que el costo de la energía sea proporcional a la capacidad instalada.

El sistema estandar está compuesto normalmente por:

- Un módulo FV de 50 Wp
- Una batería de plomo-ácido
- Un regulador de carga
- Dos lámparas fluorescentes con balastos
- Materiales de instalación

1.6.2 Red comunitaria con energía FV

Este concepto es el que más se parece a la red convencional con base en Diesel y desde el punto de vista de su utilidad, soluciona problemas básicos tales como:

- Costos elevados de mantenimiento para generadores Diesel
- Suministro caro y poco confiable de combustible durante las épocas de lluvia y durante mareas en el caso de estaciones de energía isleñas.
- Elevadas pérdidas no técnicas de combustible

Los resultados de proyectos en las Filipinas y en Senegal demuestran que este concepto es técnicamente factible; sin embargo, los costos específicos de la energía, entre 1,3 y 2,5 US\$/kWh, impiden actualmente una mayor difusión. Sólo si los costos de los módulos FV disminuyesen significativamente, esta opción podría ser ventajosa para lugares donde la red de distribución ya existe, o para ahorrar combustible en estaciones de Diesel.

1.6.3 Estación central de recarga de baterías

El elemento básico del cargador solar es el módulo, de modo que un cargador solar comunitario lo conforman varios módulos dependiendo de la carga que hay necesidad de atender. El módulo consta generalmente de dos paneles conectados en paralelo y de un regulador.

El regulador tiene varias funciones, entre ellas, está la de monitorear la carga de las baterías con el objeto de evitar daños por sobrecarga. Detecta además baterías dañadas o con niveles de descarga demasiado profundos. La estación central de carga de baterías le brinda a los usuarios la comodidad de poder recargar las baterías o acumuladores dentro de la misma comunidad, de modo que ya no tengan que desplazarse a otros lugares, normalmente muy lejanos, a cargar las baterías en cargadores tradicionales de carga rápida. Por otro lado, el costo por concepto de recarga de baterías se reduce apreciablemente puesto que por razones obvias no hay necesidad de consumir combustible.

1.6.4 Sistemas híbridos

Dependiendo de la utilización de las condiciones climatológicas, así como de la estructura regional, se ofrecen como conceptos híbridos diferentes posibilidades de combinaciones:

1.6.4.1 Generador Diesel-Solar

Hoy se emplean comercialmente sistemas de generadores diesel-solares para alimentación de corriente descentralizada en la gama baja de potencias. Ejemplos de utilización son, entre otros, la alimentación segura de instalaciones de telecomunicación. Aquí los ahorros en los campos de servicio y mantenimiento, sobre todo en instalaciones en regiones de difícil acceso, son de gran significado económico.

1.6.4.2 Instalación de energía Eólico-Solar

Estas dos fuentes de energía, eólico y solar, se ofrecen con frecuencia de forma anticíclica, lo que conduce a una nivelación de la oferta energética a lo largo del día. Debido al problema de la acumulación de energía en grandes instalaciones, es el caso más normal que este concepto híbrido se gestione en combinación con la red.

1.6.4.3 Generador Diesel-Eólico-Solar

La combinación de instalaciones de energía eólico-solar con generadores diesel, lleva a conceptos híbridos que se proyectan para el abastecimiento seguro a redes insulares. Esta combinación permite un servicio insular fiable y además atractivo económicamente, que admite incluso consumidores grandes (cámaras frigoríficas, instalaciones de aire acondicionado, etc) en la red insular.

1.6.4.4 Instalaciones de Biogas-Eólico-Solares

Las instalaciones de biogas eólico-solares están ganando un notable significado como conceptos híbridos. El aumento de los gases de putrefacción en el campo de la ganadería, así como de los gases de descomposición del campo cívico/industrial, ofrece un potencial de energía creciente que puede ser utilizado en centrales térmicas para cubrir la demanda de energía descentralizadamente en bloque de vivienda. La combinación con la energía solar y eólica, lleva a un concepto de abastecimiento autosuficiente sopesado en conjunto.

1.7 DESARROLLO DEL SECTOR FOTOVOLTAICO EN ALGUNOS PAISES

En Bolivia, para el año 1992, la información disponible sobre la intensidad solar es escasa pero no inexistente. Durante los últimos años se han realizado mediciones de la intensidad solar y se ha logrado recolectar datos de 23 estaciones meteorológicas distribuidas en diferentes zonas ecológicas de Bolivia. Los datos disponibles son insuficientes para evaluar el potencial solar del país.

En Bolivia las experiencias con sistemas fotovoltaicos se han adquirido y desarrollado en forma independiente de cualquier programa específico para esta actividad. Esta realidad ha implicado la existencia de una estructura privada que soporta a los usuarios que requieren de estos servicios.

Las zonas de aplicación de los SFV en este país se encuentran exclusivamente en el área rural, y ésta se entiende como todas aquellas regiones geográficamente alejadas de los grandes centros urbanos donde la demanda energética para uso productivo en su mayor parte es cubierta por las fuentes tradicionales como son: tracción humana y

animal, biomasa y con mucha menor intensidad ciertas fuentes comerciales como la electricidad y derivados del petróleo.

El uso de los SFV como generadores de energía eléctrica en Bolivia se dirige a los servicios de iluminación, medios de comunicaciones domésticos, sistemas de toma de datos y bombeo de agua.

Los costos de los componentes de los SFV en este país son los siguientes:

DESCRIPCIÓN	COSTOS \$ US
MÓDULOS F.V. (C/Wp)	8,5 a 11
BATERÍAS (100 AH)	85 a 100
BALASTOS ELECTRÓNICOS (20 W)	10 a 35
LÁMPARAS DE 20 W COMPLETAS	17 a 50
REGULADORES (IMPORTADOS)	130 a 180

Los costos de los sistemas completos para el año 1992 son los siguientes:

- Sistemas domésticos con una potencia de 50 Wp = \$US 780
- Sistema con potencia de 100 Wp (sistema educativo) = \$US 1300
- Centro para carga de baterías de 200 Wp = \$US 4100
- Sistema doméstico de bombeo de agua de 300 Wp = \$US 4150

Los componentes electrónicos, tales como lámparas fluorescentes y reguladores de carga, eran necesariamente importados en una primera fase. En la actualidad existen talleres electrónicos que fabrican balastos bastante económicos pero con deficiencias técnicas.

En general la tecnología de los SFV en Bolivia, en estos momentos es manejada en forma correcta por muy pocas personas.

La Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) GmbH ejecuta en este momento un programa de bombas fotovoltaicas en conjunto con oficinas nacionales de agua en los países Argentina, Brasil, Indonesia, Jordania, Filipinas, Tunez y Zimbabwe.

En este programa se instalan aproximadamente 100 sistemas de bombas fotovoltaicas en lugares seleccionados de los países del proyecto.

Este programa de la GTZ fue diseñado como programa de demostración y prueba de campo, que se dirige a las oficinas del agua de los países del proyecto y a las compañías que las comercializan. Su objetivo principal es demostrar la madurez tecnológica de los sistemas de bombas fotovoltaicas e investigar las condiciones generales para un uso rentable, además de la aceptación por parte de los usuarios y vendedores.

En el caso de un desarrollo positivo del proyecto, es decir si los vendedores y usuarios aceptan esta tecnología y ésta es más económica que las alternativas convencionales, se fortalecerán medidas para preparar el mercado.

En Ruanda las necesidades de iluminación no están satisfechas, es así que el 60% de la población utiliza petróleo mientras que el 30% todavía usa leña para iluminar sus hogares. Como en varios países africanos, las Misiones fueron las primeras en utilizar sistemas fotovoltaicos para telecomunicación y centros de salud.

Los sistemas domésticos fotovoltaicos que se utilizan en Ruanda son conformados por módulos de 20 Wp encapsulados por una ONG local o por dos módulos Si-amorfos. Los componentes de los sistemas comúnmente comercializados son:

- Módulos de 20 W
- Regulador de 5 A, montados en Ruanda
- Batería importada de 35 a 45 Ah
- Lámparas de 18 W
- Enchufes para la radio (4,5 ó 6 V) de producción local
- Instalación de cables

Los sistemas fotovoltaicos de 20 Wp cuestan alrededor de \$US 600 incluyendo los impuestos, transporte, instalación, la garantía de un año con tres visitas de mantenimiento, costos de administración y beneficios de la empresa proveedora.

También se consiguen en el mercado de Ruanda sistemas de mayor potencia con módulos importados (SIEMENS y PHOTOWATT), y lámparas fotovoltaicas portátiles que se producen localmente.

En este momento en las Filipinas, para lograr una mayor difusión de los SFV, se están estableciendo proyectos pilotos con sistemas tarifarios, pero con modelos de financiamiento distintos. Hasta finales de 1995 las 500 unidades que están instaladas hasta ahora, se ampliarán a 3000 para contar con un fundamento que permita identificar un modelo óptimo a utilizar.

Otro de los programas de electrificación rural fotovoltaica en este país ofrece cargadores comunales de baterías, que incluye la electrificación básica de los más pobres, que pueden cargar baterías según sus ingresos disponibles.

Para desarrollar este programa se ha previsto una serie de proyectos pilotos en tres regiones seleccionadas, en las cuales no va a llegar la red convencional a mediano plazo. Estas regiones tienen un potencial de por lo menos 500 sistemas fotovoltaicos.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las experiencias de estos proyectos pilotos será posible desarrollar un programa nacional para electrificación básica con sistemas fotovoltaicos, que se utilizará como fuente equivalente y convencional para la electrificación rural en las Filipinas.

CENSO DE MÓDULOS Y SISTEMAS FOTVOLTAICOS INSTALADOS EN COLOMBIA

Las fuentes de suministro de información para la realización del censo de los sistemas fotovoltaicos instalados en Colombia fueron los registros de importación del Instituto Colombiano de Comercio Exterior INCOMEX, los registros y hojas de vida de algunas empresas distribuidoras de estos sistemas a nivel nacional e información proveniente de algunas empresas internacionales que fabrican y exportan módulos fotovoltaicos hacia Colombia.

La posición o código con que el INCOMEX tiene identificadas las celdas, módulos y dispositivos fotovoltaicos es el 8541400000; no obstante algunas empresas los importan bajo otro código. Los registros consultados por oficina INCOMEX fueron por partida arancelaria y por aduana. Este Instituto cuenta sólo con registros de importación a partir del año 1985 y con declaraciones de importación provenientes de la DIAN a partir del año 1993. La **tabla 2.1** resume la cantidad de módulos fotovoltaicos importados

hacia Colombia a partir del año 1985 según fuente INCOMEX.

El censo de los módulos fotovoltaicos entre el año 1980 y 1984 se estableció con base en cifras provenientes de las ventas y proyectos en que participó la empresa ENERSSIN LTDA y algunos proyectos realizados por la Empresa Nacional de Telecomunicaciones. El censo en este período es parcial debido a que se desconocen registros de la empresa desaparecida ENERTECH y de las empresas EDUARDOÑO y DURESCO S.A.. La información disponible de estas dos últimas empresas, al igual que la de ENERGÍA INTEGRAL ANDINA, es muy pobre debido a que sus directivos decidieron no suministrar información relacionada con las actividades y logros de dichas empresas en el campo de la energía solar fotovoltaica.

La **figura 2.1** muestra la cantidad de módulos fotovoltaicos instalados en Colombia a través de los años de historia nacional de la energía solar fotovoltaica.

TABLA 2.1
CANTIDAD DE MÓDULOS FOTVOLTAICOS IMPORTADOS HACIA COLOMBIA SEGÚN FUENTE INCOMEX

EMPRESA	CANTIDADES ANUALES										
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	TOTAL
ENERSSIN (ENERGÍAS INTEGRADAS Y CIA LTDA)	409	1400	1690	1800	2100	1850	220	750	567	6224	17010
EDUARDOÑO	700	-	203	120	300	700	300	400	200	-	2923
DURESCO S.A.	100	-	-	-	-	60	418	356	320	84	1338
ENERTECH S.A.	500	-	-	-	2780	-	-	-	-	-	3280
AEG TELEFUNKEN COLOMBIA	125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125
COLFOTON S.A.	-	-	-	-	1000	340	-	372	-	-	1712
SOLAR CENTER	-	-	-	-	-	-	250	90	498	567	1405
MULTIELECTRÓNICA	-	-	-	-	-	-	350	454	205	414	1423
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA	-	-	-	-	-	-	362	30	30	720	1142
EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES	-	-	-	-	-	-	1236	-	-	-	1236
CARBONES DE COLOMBIA	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
SERVICIO DE ADMINISTRACIÓN (DONACIÓN DE GTZ - ALEMANIA)	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	15
COMAGRO LTDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	70
ALCATEL STANDARD ELÉCTRICA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	200
TOTAL	1834	1400	1893	1920	6180	2950	3136	2452	1837	8279	31881

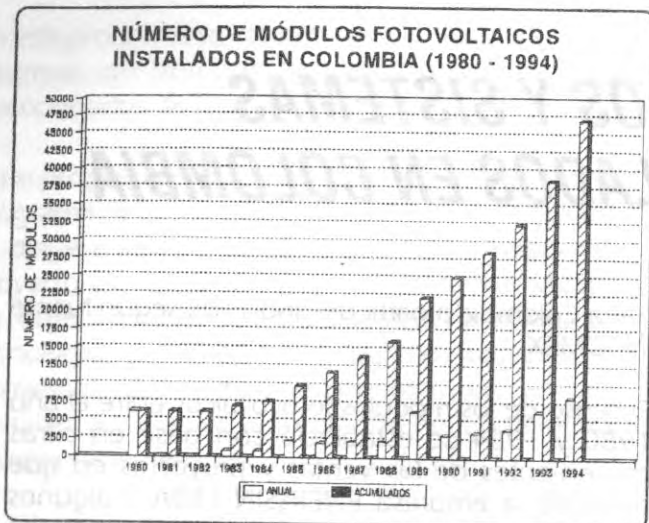


Figura 2.1

Algunas cantidades de módulos instalados entre los años 1980 a 1984, años en que no existen registros de importación de las empresas, se establecieron con base en volúmenes de ventas suministrados por la empresa ENERSSIN y en las potencias pico instaladas en sus proyectos.

La cuantificación del número de módulos instalados a partir de las potencias pico se realizó con base en la potencia pico promedio de los módulos que distribuye cada una de las empresas, de allí que se encuentren cuantificados los módulos de potencias entre 23 y 75 vatios pico.

La **figura 2.2** muestra la potencia instalada con módulos fotovoltaicos en Colombia.

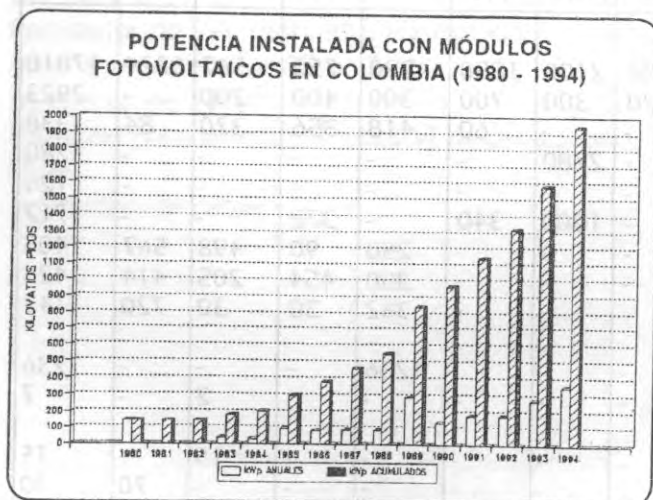


Figura 2.2

Como se observa en las figuras, la demanda nacional de sistemas fotovoltaicos se ha incrementado en los últimos años a pesar de lo costosa que es esta tecnología para algunos sectores de consumo. También se observa en la figura que en los años 1981 y 1982 no se registran módulos instalados, esta circunstancia obedece más bien a que no se consiguió una información confiable sobre instalaciones en estos años.

La **tabla 2.2** muestra la cantidad de módulos y kilovatios pico instalados por empresas y por proyectos a nivel nacional. Como proyectos de electrificación rural se han clasificado los cargadores de baterías comunitarios y aquellos sistemas instalados por instituciones o empresas a través de programas en beneficio de comunidades o sectores. Las cantidades aquí expuestas se detallan en el capítulo 5 de este estudio.

Como se puede observar existen empresas, como por ejemplo PROMIGAS S.A., que instala sistemas para uso propio a través de su personal capacitado en esta tecnología y adquieren los sistemas a través de empresas importadoras de cualquier tipo de producto.

En la tabla se presenta para la empresa ENERTECH sólo la cantidad importada en los años 1985 y 1989 ya que es una de las pocas informaciones disponibles de esta empresa, no obstante haber distribuido sistemas fotovoltaicos a través de una red de distribuidores del INCORA y de los Agropuntos de la CAJA AGRARIA.

Las empresas ENERTECH DE LA COSTA - hoy SOLAR CENTER - y COMAGRO LTDA fueron distribuidoras de ENERTECH, sin embargo, los módulos fotovoltaicos vendidos por estas empresas fueron cuantificados en los volúmenes de distribución de los mismos.

Como se observa en la **tabla 2.2**, los principales consumidores de sistemas fotovoltaicos en Colombia son el sector residencial rural y el de las Telecomunicaciones. En el capítulo 4 se amplía la información relacionada con los diferentes sistemas.

TABLA 2.2
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN COLOMBIA POR EMPRESAS Y PROYECTOS (*)

PROYECTOS EMPRESAS	TELECOMUNICACIONES			PROTECCIÓN CATÓDICA			SEÑALIZACIÓN Y RADIOAYUDAS			ELECTRIFICACIÓN RURAL				TOTAL		
	No. MÓD.	kWp INST.	No. PROYEC.	No. MÓD.	kWp INST.	No. PROYEC.	No. MÓD.	kWp INST.	No. PROYEC.	PROYECTOS		SISTEMAS INDIVIDUALES		No. MÓD.	kWp INST.	TOTAL PROYEC.
										No. MÓD.	No. PROYEC.	No. MÓD.	kWp INST.			
SINGER SEWING MACHINE CO.	6157	141,6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6157	141,6	2
ENERSSIN	8250	330,0	25	85	3,4	2	100	4,0	2	1028	41,1	20	8549	24236(1)	969,4	49
SOLAR CENTER	127	6,3	4	-	-	-	-	-	-	345	17,3	48	1629	2101	105,1	52
EDUARDOÑO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2923	2923	146,2	-
DURESPO S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1338	1338	90,5	-
ENERGÍA INTEGRAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ANDINA	1142	57,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1142	57,1	-
MULTIELECTRÓNICA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.A.	2316	145,9	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2316	145,9	20
COLFOTON	1712	85,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1712	85,6	-
ENERTECH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3280	164,0	-	-
AEG TELEFUNKEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COLOMBIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125	6,3	-	-
EMPRESA NACIONAL DE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TELECOMUNICACIONES	1236	61,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1236	61,8	-
PROMIGAS S.A.	98	4,7	6	-	-	-	-	-	-	-	-	6	25	0,23	4,9	6
COMAGRO LTDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	3,5	-	-
ALCATEL STANDARD E.	200	10,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	10,6	-
SEMAB	-	-	-	-	-	-	23	0,6	1	-	-	-	-	23	0,6	1
CARBONES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DE COLOMBIA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,1	-	-
OTROS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(GTZ Y GRANJA P)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1515	60,8	60,8	-
TOTAL	21238	843,6	57	85	3,4	2	123	4,6	3	1373	58,4	68	19456	895,1	2054	130

(*) : Hasta diciembre de 1994

(1): Incluye 6224 módulos que no se les identificó su utilización

La **figura 2.3** muestra, por marcas de los fabricantes, la cantidad de módulos instalados en Colombia hasta el mes de diciembre de 1994. Se observa que existen 1500 módulos que han sido encapsulados en el país por Granja Providencia y 1440 a los cuales no fue posible identificar su marca.

La **figura 2.4** muestra en porcentaje el grado de penetración de las diferentes marcas de módulos fotovoltaicos en el mercado nacional.

Los módulos marca AEG TELEFUNKEN, SOLAREX y KYOCERA que se muestran en conjunto fueron importados por la empresa ENERTECH.

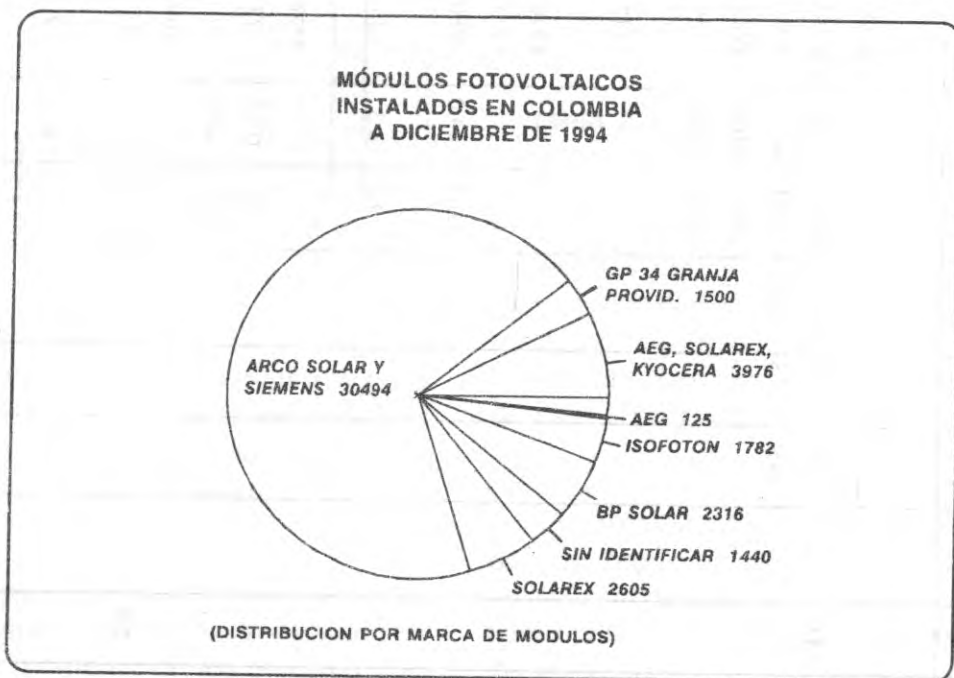


Figura 2.3

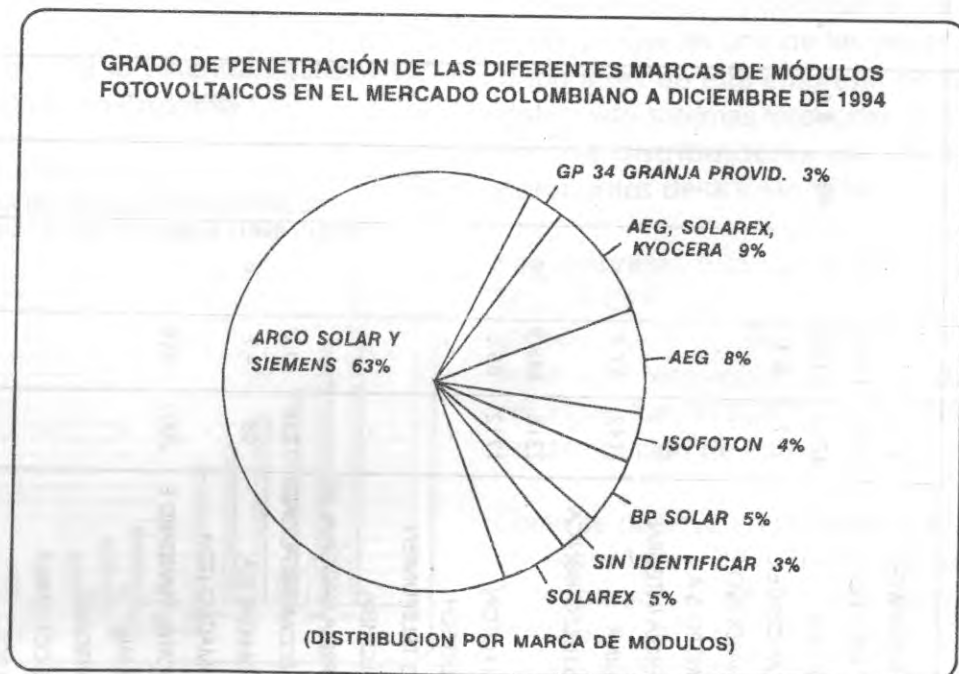


Figura 2.4

OFERTA DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA

3.1 RESEÑA HISTÓRICA

La difusión de los módulos fotovoltaicos en Colombia se inició a finales de los años 70 alimentando sistemas de telecomunicaciones.

Las empresas que pueden catalogarse como pioneras en este campo a nivel nacional fueron ENERTEC, posteriormente ENERTECH (Energía Solar y Tecnología de Aguas) y SINGER SEWING MACHINE CO., empresa que a finales de 1983 decide abandonar este campo por razones de reorganización interna, creándose en ese momento ENERSSIN con el objetivo de retomar el proyecto de SINGER y darle continuidad.

En el año 1981 SINGER SEWING MACHINE CO. inicia sus labores en este campo con un estudio de factibilidad para entrar en el negocio de la energía solar fotovoltaica.

Para esta época TELECOM ya utiliza módulos solares fotovoltaicos para sus programas de Telefonía Rural.

SINGER seleccionó a la empresa ARCO SOLAR INC. como la proveedora de módulos para sus proyectos, empresa ésta que en el año 1990 fue comprada por SIEMENS GMBH, tomando desde ese momento la denominación de SIEMENS SOLAR IND.

La empresa ENERTECH inicia labores distribuyendo módulos marca AEG Telefunken, posteriormente distribuye módulos Kyocera y por último módulos marca Solarex. Esta empresa termina labores en este campo aproximadamente en el año 1988.

En la primera mitad de la década de los 80 existe la empresa AEG Telefunken Colombia que

distribuye módulos traídos de la República Federal de Alemania.

Las empresas EDUARDOÑO (EDUARDO LONDOÑO E HIJOS SUCS. LTDA) y DURESPO S.A. incluyen los módulos fotovoltaicos dentro de sus líneas de distribución. EDUARDOÑO distribuye módulos marca Kyocera importados desde el Japón cuyo proveedor es KYOCERA CORPORATION. DURESPO S.A. distribuye módulos Kyocera importados desde los Estados Unidos cuyo proveedor es PHOTOCOMM INC.

En el año 1986 se crea la empresa ENERTECH de la Costa, la que posteriormente se llamaría SOLAR CENTER, empresa que en la actualidad continúa laborando en este campo con el dimensionamiento de plantas solares, suministro de sistemas, componentes y accesorios, instalación, mantenimiento y servicio de reparación, capacitación y asesoría en general.

En el año 1988 nace la empresa COLFOTON S.A. aprovechando el plan de Telefonía Rural, siendo distribuidores exclusivos de los módulos españoles ISOFOTON S.A. Esta empresa terminó labores en este campo en el año 1993.

En el año 1990 inician labores en este campo las empresas MULTIELECTRÓNICA S.A. con la utilización exclusiva de los módulos españoles B.P. SOLAR y ENERGÍA INTEGRAL ANDINA E.M.A. S.A. realizando proyectos con módulos fotovoltaicos marca SOLAREX.

En la actualidad continúan trabajando en el aprovechamiento del recurso solar las empresas ENERSSIN (Energías Integradas Cía. Ltda), SOLAR CENTER, MULTIELECTRÓNICA S.A., DURESPO

S.A., EDUARDOÑO y ENERGÍA INTEGRAL ANDINA. Existen otras empresas que son distribuidoras de algunas de las anteriores.

3.2 OFERTA INTERNACIONAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

Se ha identificado que en el momento Colombia es mercado de módulos fotovoltaicos de las siguientes marcas:

SOLAREX, SIEMENS SOLAR IND., KYOCERA, B.P. SOLAR, ISOFOTON, AEG TELEFUNKEN, FOTOWATT y TIDELAND, marcas que corresponden a los nombres de las empresas fabricantes respectivas.

Las empresas internacionales fabricantes cuentan con cierta trayectoria en el campo de la energía solar fotovoltaica, entre las que se mencionan:

3.2.1 SOLAREX CORPORATION

Es una empresa con sede en los Estados Unidos, subsidiaria a 100% de AMOCO (The American Oil Company), con 21 años de existencia, catalogándose en el momento como una de las empresas fabricantes de celdas, módulos y sistemas fotovoltaicos más importantes de los Estados Unidos de Norteamérica. Desde 1993 dispone de una oficina de soporte técnico comercial en Caracas - Venezuela- desde donde se brinda asistencia técnica a toda Suramérica.

Ha realizado proyectos de energización con miles de sistemas de comunicación, estaciones de bombeo de agua, sistemas de iluminación exterior, ayudas para la navegación y ha suministrado energía a aldeas en todo el mundo.

SOLAREX actualmente es fabricante de celdas, módulos y sistemas fotovoltaicos de silicio amorfo y policristalino. Las características técnicas de los módulos SOLAREX se resumen en las **tablas 3.1** y **3.2**.

Al respecto los módulos MSX de alta potencia son módulos grandes para aplicaciones de alta potencia; tienen marco de aluminio anodizado

reforzado y caja de conexiones versátil para conexiones rápidas y herméticas. Poseen vidrio templado bajo en hierro, diseñado para una duración de más de 20 años. Son utilizados para proyectos de telecomunicaciones, bombeo de agua, uso residencial, protección catódica y navegación.

Los módulos MSX de potencia mediana son de tamaño medio para aplicaciones como telemetría, navegación, instrumentación, uso residencial y aplicaciones recreacionales.

Los módulos MSX de potencia baja poseen marco de bajo perfil para montaje múltiple y son utilizados en telemetría, instrumentación, sistemas de seguridad, cercas eléctricas, sistemas portátiles y aplicaciones electrónicas.

Los módulos MSX OEM utilizados para cargar baterías pequeñas presentan laminados resistentes a la intemperie.

Los módulos MSX de serie liviana son de estructura ligera irrompible, construcción sin vidrio con sustrato de aluminio y son utilizados para sistemas de seguridad, camping, yates, vehículos recreacionales, expediciones científicas etc.

Los módulos MSX serie marina presentan un marco con empaquetadura comprimida y reverso cubierto, utilizados para navegación, iluminación y sistemas de comunicación.

Los módulos MSX serie militar son de construcción irrompible sin vidrio, con amperímetro integrado y caja de metal protectora. Son utilizados en sistemas de comunicación, señalización, seguridad, instrumentación, telemetría y cargadores de baterías para vehículos.

Los módulos de serie SA de baja potencia tienen marco moldeado con parte posterior cubierta y son utilizados para cargar baterías de baja potencia.

Los módulos de serie SA OEM son de cubierta de vidrio, de bajo costo para aplicaciones de baja potencia.

TABLA 3.1
MÓDULOS DE POTENCIA SOLAR «SOLAREX»

Alta potencia								
REFERENCIA	VOLTIOS NOM.	AMPERIOS A POTENCIA MÁXIMA	VOLTAJE POTENCIA PICO	POTENCIA NOM (VATIOS)	DIMENSIONES (CENTÍMETROS)			PESO (kg)
					LARGO	ANCHO	PROFUNDIDAD	
MSX-120	12▲	7,00A	17,1V	120,0	112,8	99,1	5,0	14,0
MSX-83	12▲	4,85A	17,1V	83,0	111,3	66,0	5,0	9,5
MSX-77	12▲	4,56A	16,9V	77,0	111,3	66,0	5,0	9,5
MSX-64	12▲	3,66A	17,5V	64,0	111,3	50,2	5,0	7,2
MSX-60	12▲	3,50A	17,1V	60,0	111,3	50,2	5,0	7,2
MSX-50CP	8▲	4,46A	11,2V	50,0	111,3	50,2	5,0	7,2
Potencia Media								
MSX-50	12▲	2,92A	17,1V	50,0	94,2	50,2	5,0	6,3
MSX-40	12▲	2,34A	17,1V	40,0	77,0	50,2	5,0	5,4
MSX-30	12	1,75A	17,1V	30,0	59,7	50,2	5,0	3,9
MSX-18	12	1,10A	16,8V	18,5	42,7	50,2	5,0	3,0
Potencia Baja								
MSX-10	12■	0,58A	17,1V	10,0	42,0	26,9	2,3	1,5
MSX-5	12■	0,27A	16,8V	4,5	26,9	24,9	2,3	0,8
OEM								
MSX-01	6	150mA	8,4V	1,2	12,7	12,7	0,3	0,11
MSX-005	3	150mA	3,7V	0,5	11,4	6,6	0,3	0,05
SERIE LIVIANA								
MSX-30L	12■	1,75A	17,1V	30,0	61,6	49,5	0,9	2,2
MSX-18L	12■	1,10A	16,8V	18,5	44,4	49,5	0,9	1,5
MSX-10L	12■	0,58A	17,1V	10,0	44,4	26,7	0,9	0,8
MSX-5L	12■	0,27A	16,8V	4,5	27,3	26,7	0,9	0,5
MARINA								
MSX-38MM	12	2,33A	16,8V	39,0	71,1	71,1	4,8	10,1
MSX-20MM	12	1,17A	17,2V	20,0	55,9	55,9	4,8	6,5
MILITAR								
MSX-28MOKL	24	0,80A	34,0V	28,0	102,4	31,6	2,0	5,0
MSX-14MDL	12	0,80A	17,0V	14,0	51,0	31,6	2,0	2,5
MSX-10ML	12	0,26A	33,0V	8,5	44,4	26,7	0,9	2,0

▲ : Puede ser conectado para 6 ó 12 voltios

■ : Ahora con 20 años de garantía

TABLA 3.2
MÓDULOS DE BAJA POTENCIA «SOLAREX»

REFERENCIA	VOLTIOS NOM.	AMPERIOS A POTENCIA MÁXIMA	VOLTAJE POTENCIA PICO	POTENCIA NOM (VATIOS)	CUBIERTA DE VIDRIO			PESO (kg)
					DIMENSIONES (CENTÍMETROS)			
					LARGO	ANCHO	PROFUN- DIDAD	
Baja Potencia								
SA-5	12	290mA	17,5V	5,1	34,6	34,6	2,1	1,5
SA-2	6	290mA	7,5V	2,2	34,6	17,2	1,3	0,6
SA-2/12	12	145mA	14,5V	2,2	34,6	17,2	1,3	0,6
SA-1	12	80mA	17,5V	1,4	33,0	12,4	1,1	0,4
OEM								
SA-06145	6	145mA	7,5V	1,1	16,5	15,2	0,2	0,05
SA-0640	6	40mA	7,5V	0,3	15,2	5,5	0,2	0,05
SA-06110	6	110mA	7,5V	0,8	15,2	15,2	0,2	0,14
SA-03300	3	330mA	3,6V	1,1	33,0	7,6	0,2	0,14

Los costos actuales FOB - Maryland - de los módulos SOLAREX son de US\$4,50 por vatio pico para los equipos de la línea MSX, con garantía de 20 años. Sin embargo SOLAREX se encuentra tramitando una licencia y patente exclusiva de la tecnología silicio amorfo de película delgada, que aunque es por ahora menos eficiente en su relación de potencia/superficie que las tecnologías precedentes (10 - 11%), se espera que los costos bajen para finales de esta década a unos US\$2,00 por vatio. La fábrica de película delgada de SOLAREX en Newton - Pensilvania - actualmente produce módulos de hasta 10 vatios esperándose que para el año 1995 se produzcan módulos de 30 a 40 vatios y en el segundo lustro de esta década se espera producir equipos de 60 a 100 vatios.

Los países latinoamericanos representaron el 4,6% del mercado de SOLAREX en el año 1993, alcanzando un 8% en 1994, siendo las regiones de Europa (31%), USA (27%), Japón (20%) y Australia (14%), las mayores consumidoras de módulos SOLAREX.

SOLAREX tiene presencia comercial en Colombia por intermedio de sus representantes autorizados SOLAR CENTER en la ciudad de Barranquilla y ENERGÍA

INTEGRAL ANDINA en Santafé de Bogotá. La primera ha desarrollado una extensa red de distribuidores en toda Colombia y la segunda empresa se ha especializado en proyectos industriales, especialmente en el área de las telecomunicaciones. Además de lo anterior, SOLAREX ha despachado equipos hacia Colombia desde los años 80, sea a través de distribuidores eventuales, caso de la empresa ENERTECH, o mediante empresas internacionales en el área de las telecomunicaciones.

En el lapso de tiempo comprendido entre mayo de 1993 a diciembre del mismo año, SOLAREX despachó a Colombia la cantidad de 25000 vatios fotovoltaicos, representados en diversos módulos de diferentes capacidades. En el lapso comprendido entre enero de 1994 y septiembre de 1994, despachó 85000 vatios fotovoltaicos, como consecuencia, según SOLAREX, de una activa participación comercial de sus distribuidores autorizados y del interés de la empresa en estimular el mercado colombiano.

3.2.2 SIEMENS SOLAR INDUSTRIES

El grupo Siemens Solar es también uno de los principales fabricantes de sistemas fotovoltaicos en el mundo.

Siemens Solar Industries se crea aproximadamente en el año 1990 a raíz de negociaciones entre SIEMENS GMBH y ATLANTIC RITCHFIELD (ARCO), mediante la cual la primera compra a ARCO SOLAR INC. Las instalaciones y oficinas comerciales continúan operando en Camarillo - California y se amplía la producción de silicio mediante la instalación de una nueva fábrica en Vancouver - Canadá. En la actualidad los sistemas solares Siemens suministran energía en toda una variedad de instalaciones en muchas regiones del mundo.

Las aplicaciones más comunes son: Telecomunicaciones, suministro de agua potable, riego de cultivos, purificación de agua, iluminación interior y exterior, energía residencial, casas remotas, vehículos recreacionales, yates, adquisición de datos, comunidades remotas, hospitales rurales y protección catódica.

La **Tabla 3.3** muestra las características de los módulos solares SIEMENS SOLAR IND.

Los módulos M55 y M45 tienen 36 celdas en serie y son diseñados para todas las aplicaciones eléctricas solares, incluso cargadores de baterías en climas calientes y conexión directa a motores DC.

Los M75 y M40 tienen 33 celdas en serie, son diseñados para cargar baterías, pero para climas demasiado calientes es preferible utilizar módulos M55 o M45. Los M75 y M40 pueden utilizarse en conexión directa con motores DC.

Cuando los M55, M45, M75 o M40 son utilizados para cargar baterías se hace necesario la instalación de un regulador.

Los módulos M20, M65 y M35 autorregulados son diseñados para conexión directa a las baterías. El M20 se aplica únicamente a sistemas de 12 voltios, los M65 y M35 pueden ser utilizados en sistemas de mayor voltaje. Todos estos módulos están conformados por 30 celdas conectadas en serie.

SIEMENS SOLAR INDUSTRIES tiene como distribuidor exclusivo en Colombia a la empresa ENERSIN LTDA (Energías Integradas y CIA), siendo ésta hasta el momento la empresa más antigua a nivel nacional y la que ha realizado proyectos de mayor envergadura. En la actualidad esta firma realiza actividades de diseño, montaje, instalación y comercialización de sistemas solares fotovoltaicos.

TABLA 3.3
MÓDULOS ELÉCTRICOS SOLARES SIEMENS SOLAR INDUSTRIES

MÓDULO	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			PESO (lb)
	POTENCIA MAX. (VATIOS)	TENSIÓN NOMINAL (Volt)	CORRIENTE NOMINAL (Amp)	Voc (Vol)	Isc (Amp)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	PROFUNDIDAD (mm)	
M55	53	17,4	3,05	21,7	3,35	1293	330	36	12,6
M45	48	17,3	2,78	21,6	3,20	1293	330	36	12,6
M75	48	15,9	3,02	19,8	3,35	1219	330	36	11,6
M40	40	15,7	2,55	19,5	3,00	1219	330	36	11,6
M65	43	14,6	2,95	18,0	3,32	1083	330	36	10,5
M35	37	14,5	2,56	18,0	3,00	1083	330	36	10,5
M20	20	14,5	1,38	18,0	1,60	569	330	36	5,6

Voc = Tensión de circuito abierto

Isc = Corriente de cortocircuito

3.2.3 PHOTOCOMM, INC

Esta es una compañía especializada en energía fotovoltaica con oficinas principales en Scottsdale, Arizona, que tienen como propósito principal contribuir a resolver problemas energéticos usando la tecnología solar. Son distribuidores exclusivos de los módulos solares Kyocera, que es uno de los productos que más exportan a Colombia, junto con la gama de controles y luces especiales para este tipo de sistemas.

La **tabla 3.4** muestra las características de los módulos Photocomm, Inc.

La avanzada tecnología e instalaciones fabriles automatizadas de Kyocera hacen posible sus módulos solares policristalinos con un rendimiento de transformación del 14%.

Para brindar protección a las células fotovoltaicas, aún en condiciones ambientales severas, se encapsulan en una base de acetato de vinilo

entilénico con fluoruro de polivinilo, entre una cubierta de vidrio templado y un respaldo de papel de aluminio. La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.

Los módulos Kyocera ofrecen una gama de aplicaciones, como los de otras marcas, tales como el suministro de energía eléctrica para estaciones repetidoras de microondas y de radio, electrificación de aldeas en lugares apartados, instalaciones médicas rurales, casas de campo, sistemas de comunicación de emergencia y de vigilancia de datos ambientales y de calidad de agua, faros, boyas y balizas de navegación marítima, bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para ganado, balizamiento para protección aeronáutica, sistemas de protección catódica y desalinización, vehículos de recreo, señalización ferroviaria y sistemas para cargar baterías.

TABLA 3.4
MÓDULOS SOLARES KYOCERA

MÓDULO	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS					CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			PESO (lb)
	POTENCIA MAX. (VATIOS)	TENSIÓN NOMINAL (Volt)	CORRIENTE NOMINAL (Amp)	Voc (Vol)	Isc (Amp)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	PROFUNDIDAD (mm)	
LA441K63	62,7	20,7	3,03	26,0	3,25	1194	445	36	16,1
LA361K51	51,0	16,9	3,02	21,2	3,25	986	445	36	13,0
LA321K45	45,3	15,0	3,02	18,9	3,25	879	445	36	11,7
LT321K34	33,9	15,0	2,26	18,9	2,44	681	445	36	10,0

MÓDULOS DE PELÍCULA DELGADA PHOTOCOMM

MÓDULO PHOTO-COMM	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS					DIMENSIONES			PESO (lb)
	POTENCIA MAX. (VATIOS)	TENSIÓN NOMINAL (Volt)	CORRIENTE NOMINAL (Amp)	Voc (Vol)	Isc (Amp)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	GROSOR (mm)	
DV 5000	47,22	16,7	2,8	23,7	3,50	1283	686	38	21,0
UPM 889	22,00	15,6	1,4	22,0	1,80	1196	343	38	8,3
TFS 11	11,00	14,8	0,74	22,0	0,90	921	311	24	10,3
TFS 4	4,00	14,8	0,27	22,0	0,30	311	311	22	3,5

Voc= Tensión de circuito abierto

Isc= Corriente de cortocircuito

Los precios de los módulos que ofrece Photocomm Inc. a agosto de 1994 se exponen en la **Tabla 3.5**.

PHOTOCOMM INC. cuenta en Colombia con la empresa DURESPO S.A. como su distribuidor exclusivo. Despachó desde el mes de septiembre de 1993 a septiembre de 1994 hacia Colombia lo correspondiente a US\$ 120000 aproximadamente.

TABLA 3.5 PRECIOS DE MÓDULOS KYOCERA EN DÓLARES (AGOSTO DE 1994)

DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE MÓDULOS		
	1-3	4-19	+20
LA441K63 (*)	350	335	309
LA361K51 (*)	290	275	250
LA321K25 (*)	270	258	221
LT321K34 (*)	236	227	209
DV 5000 (**)	242	224	212
UPM 880 (**)	145	138	132
TFS 11 (**)	77	77	72
TFS 4 (**)	46	46	42

(*) :Precios F.O.B., Miami, USA.

(**) :Precios F.O.B., Scottsdale, AZ USA

3.2.4 KYOCERA CORPORATION

Esta empresa japonesa tiene en Colombia a EDUARDOÑO como su distribuidor exclusivo, al cual le suministra principalmente módulos LA321K45 y LA361K51 de 45 y 51 Wp respectivamente. Las características técnicas de estos módulos se encuentran descritas en la **tabla 3.4**.

TABLA 3.6 MÓDULOS SOLARES BP SOLAR

REFE-RENCIA	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS						DIMENSIONES		
	POTENCIA PICO (VATIOS)	TENSIÓN A POT. PICO (Volt)	TENSIÓN NOMINAL (VATIOS)	Voc (Vol)	CORRIENTE A POT. PICO (Amp)	Isc (Amp)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)
BP275	75	17,0	12,0	21,4	4,45	4,75	1188	530	38,5
BP270	70	17,0	12,0	21,2	4,16	4,48	1188	530	38,5
BP255	55	17,0	12,0	21,2	3,23	3,54	987	448	38,5
BP252	52	17,0	12,0	21,2	3,06	3,35	987	448	38,5
BP140	40	17,1	12,0	21,6	2,22	2,44	958	433	38,5

Voc = Tensión de circuito abierto

Isc = Corriente de cortocircuito

3.2.5 B.P. SOLAR ESPAÑA, S.A.

Esta empresa realizó proyectos fotovoltaicos en Colombia entre los años 1988 y 1990, principalmente de telecomunicaciones y especialmente para la British Petroleum. En la actualidad produce módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino.

La **tabla 3.6** muestra las características de los módulos BP SOLAR. El módulo BP 140 posee células fotovoltaicas redondas y los BP 252, 255, 270 y 275 poseen células cuadradas. En general estos módulos existen de 34 y 36 células de 104 mm de lado conectadas en serie. El vidrio es templado con bajo contenido en hierro, alta transmisión lumínica (92%) y 3 mm de espesor.

El encapsulante es de Etilén - Vinilo - Acetato (EVA) y la superficie posterior está compuesta de poliéster y TEDLAR. Los bastidores son de aluminio anodizado con junta de sílica acrílica. Poseen diodos de by-pass incorporados que impiden los daños por sombras parciales en la superficie del módulo.

Producen además, entre otras, unidades de control electrónicas, baterías, farolas y cloradores.

BP SOLAR España S.A., tiene como distribuidor exclusivo en Colombia a la empresa MULTIELECTRONICA S.A. con sede en Santafé de Bogotá, la cual ha continuado con los proyectos fotovoltaicos a partir del año 1990.

3.2.6 AEG TELEFUNKEN

Existen en Colombia módulos fotovoltaicos marca AEG TELEFUNKEN, importados principalmente a mediados de la década del 80 por la empresa AEG TELEFUNKEN Colombia y por la empresa ENERTECH.

Para esa época los módulos AEG estaban conformados por 40 células solares multicristalinas de silicio de forma cuadrada de 10 x 10 centímetros, interconectadas en serie, completamente encapsuladas y enmarcadas formando los módulos serie PQ 10/40/01 y PQ 10/40/02 con potencias de 38,4 vatios con voltaje nominal de 12 voltios.

El material básico de las células solares AEG es de silicio multicristalino con especificación solar (SILSO). Las láminas de forma cuadrada son de tipo dopado n-on-p mediante un proceso de difusión, poseen contactos de aluminio en la cara posterior y anterior y un recubrimiento antirreflexivo TiO_x . La respuesta espectral de las células permite convertir directamente en electricidad un rango lumínico desde el ultravioleta al infrarrojo.

Los sistemas de potencia de energía fotovoltaica AEG tienen aplicaciones en estaciones transmisoras de televisión, estaciones de radio y microondas, sistemas de tráfico de llamadas de emergencia, boyas de navegación, sistemas de comunicación de ferrocarriles, iluminación de obstáculos, suministro de agua potable, irrigación, desalinización, producción de hielo y sistemas de hobby, deporte y recreación.

3.2.7 ISOFOTON S.A.

Esta empresa española suministra módulos fotovoltaicos en Colombia principalmente para sistemas de telecomunicaciones, es así que ha suministrado los módulos e instalado en su totalidad los sistemas del proyecto de telefonía rural Caribe II de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones. No obstante tuvo como representantes a nivel nacional a la empresa Colfotón y en la actualidad la empresa Comagro y Cía Ltda importa esporádicamente algunos módulos utilizados en sistemas individuales. Distribuye principalmente en Colombia los módulos monocristalinos M75L de 47 vatios picos conformados por 33 celdas fotovoltaicas cuadradas y los M55L de 53 vatios picos conformados por 36 celdas cuadradas.

3.2.8 FOTOWATT INTERNATIONAL S.A.

Esta empresa ha suministrado módulos etiquetados con la marca FOTOWATT a la empresa francesa TRT, la cual los ha utilizado en Colombia en los sistemas de telecomunicaciones del proyecto Caribe I de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones.

Aunque la empresa TRT ha participado igualmente en los proyectos de telefonía rural de Arauca - Casanare y Cordillera Nororiental de TELECOM, no se pudo establecer que haya utilizado en ellos módulos marca FOTOWATT.

3.2.9 TIDELAND SIGNAL CORPORATION

Esta empresa norteamericana es distribuidora de equipos para señalización en navegación. Ha suministrado sistemas completos de señalización marítima en faros y boyas a la Armada Nacional seccional Cartagena. Los sistemas comprenden, entre otros, módulos fotovoltaicos 3241/12 de 29,9 vatios picos de potencia y las linternas marinas Max Lumina modelos ML-300 con lentes acrílicos de 300 mm y ML-155 con lentes acrílicos de 155 mm.

La **tabla 3.7** muestra las características de los módulos fotovoltaicos TIDELAND.

3.2.10 NEC CORPORATION

Aunque esta empresa no fabrica módulos fotovoltaicos, ha participado en Colombia en proyectos de telecomunicaciones de la empresa TELECOM a través de MITSUI DE COLOMBIA, su representante en el país y de NEC DE COLOMBIA S.A., su filial. TELECOM adjudicó a MITSUI DE COLOMBIA algunos proyectos como Putumayo - Caquetá, Magdalena Medio y Norte de Bolívar, en los cuales ha utilizado módulos marca ARCO SOLAR y SIEMENS, excepto en el último mencionado en el que utilizó módulos SOLAREX.

3.3 OFERTA NACIONAL DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Actualmente en Colombia existen seis empresas que importan y distribuyen módulos y componentes de sistemas fotovoltaicos que atienden diferentes mercados. Dichas empresas son: ENERSSIN LTDA, MULTIELECTRÓNICA S.A., ENERGÍA INTEGRAL ANDINA, SOLAR CENTER, DURESCO S.A. y EDUARDOÑO.

La **tabla 3.8** muestra el directorio de dichas empresas.

TABLA 3.7
MÓDULOS ELÉCTRICOS SOLARES «TIDELAND»

MÓDULO	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS				
	POTENCIA MAX. (VAIOS)	TENSIÓN NOMINAL (Volt)	CORRIENTE NOMINAL (Amp)	Voc (Vol)	Isc (Amp)
3241/6	29,7	7,72	3,85	9,94	4,32
3241/12	29,9	15,3	1,96	19,2	2,16
3241P/6	34,4	7,51	4,58	9,58	4,90
3241P/12	36,4	15,6	2,33	19,4	2,45
3541/12	33,2	16,9	1,97	21,0	2,16
3541P/12	38,8	17,4	2,23	21,6	2,45
3641/6	34,5	8,70	3,97	10,8	4,32
3641/12	34,7	17,4	1,99	21,6	2,16
3641P/6	40,0	8,61	4,64	10,8	4,90
3641P/12	40,9	17,5	2,33	21,7	2,45

Voc = Tensión de circuito abierto
Isc = Corriente de cortocircuito

TABLA 3.8
DIRECTORIO DE DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	FAX	REPRESENTANTE LEGAL	TIPO DE MERCADO	MARCA DE MÓDULOS
DURESPO S.A.	Cra. 70 No. 44B-72 Medellín	2600670 2603394	2603394	CARLOS ALBERTO RÉSTREPO	AL DETAL	KYOCERA
EDUARDOÑO	Cra. 48 No. 14 - 68 Medellín	2664055	3110992	CARLOS CÓRDOBA	AL DETAL	KYOCERA
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA S.A.	Calle 94A No. 13 - 54 Santafé de Bogotá	6163011 6110804	2181589	JOSUE VALERO	MAYORISTA	SOLAREX
ENERSSIN LTDA	Cra. 17 No. 88-27, Of. 404 Santafé de Bogotá	6102940 6212517	6212507	JUAN MANUEL LOPEZ ROJAS	MAYORISTA Y AL DETAL	SIEMENS SOLAR IND.
MULTIELECTRÓNICA S.A.	Calle 92 No. 15-48, Of. 304 Santafé de Bogotá	2561685 2560386	2571406	CARLOS HERNAN RAMIREZ	MAYORISTA	BP SOLAR
SOLAR CENTER	Cra. 46 No. 74 - 70 Barranquilla	565782 453302	453302	HELGA HEINICKE DE VARELA	MAYORISTA Y AL DETAL	SOLAREX

Ha habido otras empresas que se han desempeñado en este campo y que han desaparecido, tal es el caso de Energía Solar y Tecnología de Aguas «ENERTECH» y COLFOTON S.A..

Existen más empresas que laboran en el campo fotovoltaico pero son distribuidores directos de algunas de las empresas antes mencionadas o fabricantes de algunos de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, como por ejemplo, la Compañía Central Electrónica «CICEL LTDA».

Todas las empresas anteriores fueron contactadas varias veces y visitadas con el objeto de establecer sus actividades en el campo de la energía solar fotovoltaica, de acuerdo con el formato para productores y distribuidores de estos sistemas. A pesar de lo anterior, los directivos de las empresas ENERGIA INTEGRAL ANDINA, DURESPO S.A. y EDUARDOÑO, no suministraron información alguna, razón por la cual la información que se expone de dichas empresas es muy pobre.

Las actividades y logros de las empresas identificadas se exponen a continuación:

3.3.1 ENERSSIN (ENERGÍAS INTEGRADAS Y CIA LTDA)

Se inicia como empresa comercial en Santafé de Bogotá en el mes de diciembre de 1983 con el objeto de retomar un proyecto de promoción y comercialización de sistemas solares iniciado en 1981 por SINGER SEWING MACHINE CO. y abandonado en 1983 por razones de reorganización interna.

En 1984 ENERSSIN se hace cargo del proceso de promoción y comercialización de los sistemas solares fotovoltaicos ARCO SOLAR Inc., cambiando la estrategia iniciada por SINGER mediante el rediseño de la red de distribución.

En el año 1985, por restricciones en la importación de bienes, inicia la fabricación de lámparas con balastos electrónicos para corriente continua a 12 voltios y reguladores de carga para baterías, utilizando la tecnología SPECIALTY CONCEPTS INC. de los Estados Unidos. Se comienza además a incluir baterías de tipo automotriz de fabricación nacional en especial para el mercado del consumidor.

Actualmente realiza actividades en los campos de diseño, ingeniería, montaje, instalación y comercialización de sistemas solares comunitarios. Ha realizado proyectos a diferentes entidades entre las que se destacan: TELECOM, ECOPEPETROL, INTERCOR, CAJA AGRARIA, FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, BANCO POPULAR, PESENA, además de proyectos con diferentes comunidades y personas naturales en todo el país.

Para la comercialización de los sistemas fotovoltaicos, cuenta con una red de distribución con sedes en Santafé de Bogotá, Villavicencio, San José del Guaviare, Yopal, Sincelejo, Chaparral, Valledupar, Cartagena, Puerto Berrío, Florencia y San Juan de Pasto.

Hasta el año 1993 ha instalado en el mercado profesional aproximadamente 378,5 kWp con sistemas fotovoltaicos.

En el año 1994 se le adjudicó por parte del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas -INEA- el proyecto del hospital de Nazareth, el cual comprende la instalación de un sistema fotovoltaico operando en paralelo con plantas Diesel.

3.3.2 MULTIELECTRÓNICA S.A.

Multielectrónica nació como empresa limitada en el año 1977 dedicándose a proyectos de telecomunicaciones principalmente en el sector petrolero. Iniciaron labores en el campo de la energía solar fotovoltaica en el año 1990, continuando con las actividades realizadas en este campo por la BP SOLAR desde el año 1988 hasta 1990, a partir del cual son distribuidores directos de BP SOLAR (España).

En el campo de la energía solar fotovoltaica realizan labores de diseño, montaje y seguimiento de instalaciones. En la actualidad investigan en el mejoramiento de los reguladores BP SOLAR.

Para los proyectos de telecomunicaciones con la industria petrolera utilizan módulos BP SOLAR de silicio monocristalino de 52, 55, 70 y 75 vatios picos con precios unitarios que oscilan entre \$400000 y \$550000.

Han realizado proyectos de telecomunicaciones con montajes de más de 60 módulos fotovoltaicos a empresas como Ecopetrol, Occidental, British Petroleum, Ejército Nacional y algunos particulares.

Los proyectos se encuentran principalmente en cerros con repetidoras para equipos de microondas cuya ubicación exacta no pudo establecerse.

En 1994 realizaron un proyecto a la British Petroleum en el departamento del Casanare, suministrando corriente continua a 12 y 24 voltios y alterna a 110 voltios a través de 400 módulos fotovoltaicos.

Entre los equipos utilizados en sus montajes se encuentran reguladores BP SOLAR de 15 a 100 amperios, de 12 a 48 voltios suministrados por BP SOLAR, inversores La Marche de 250 a 3000 vatios de potencia importados desde los Estados Unidos, baterías importadas BP SOLAR y GNB con capacidades de 1000 hasta 5000 Ah, bombas y refrigeradores BP SOLAR y lámparas ensambladas nacionalmente.

3.3.3 SOLAR CENTER

Esta empresa se dedica al campo de la energía solar fotovoltaica desde el año 1986, desempeñando actividades de dimensionamiento de plantas solares,

suministro de sistemas, componentes y accesorios, instalación, mantenimiento y servicio de reparación, capacitación y asesoría en general.

Nació en el año 1986 con el nombre de ENERTECH de la Costa instalando sistemas con módulos marca Solarex y Kyocera proporcionados por la empresa ENERTECH.

En el año 1988 desarrolló en Colombia el concepto técnico de Cargadores Solares Comunitarios para cargar baterías, el primero de los cuales se instaló en el mismo año en la vereda «El Lazo - El Rodeo», en el departamento de Córdoba.

En el año 1989 tomó el nombre de SOLAR CENTER e inició la producción de reguladores electrónicos y lámparas para plantas solares.

Desde el año 1991 es distribuidor autorizado para Colombia de SOLAREX CORPORATION. Cuenta desde 1993 con una red de distribución conformada por más de 30 distribuidores.

Ha desarrollado proyectos y distribuido sistemas a entidades como Telecom, Corelca, ISA, Ministerio de Minas y Energía, Inderena, PNR, Electrocesar, Electro sucre, Pesenca, Hidroenergía, Gobernación del Atlántico y Organizaciones Indígenas.

SOLAR CENTER distribuye módulos marca SOLAREX de película delgada (Amorfos) de 1,8 a 10 vatios de potencia y policristalinos de 10 a 120 vatios. El precio de los módulos amorfos varían entre \$40000 los de 1,8 vatios y \$129000 los de 10 vatios. Los precios de los módulos policristalinos varían entre \$112000 los de 4,5 vatios y \$1'154.000 los de 120 vatios pico. Para sus proyectos utiliza reguladores de producción propia marca Solar Center RPI 12-10 para plantas individuales y RCS 12-10 para cargadores comunitarios, e importados marcas Solarex, Trace y Bobier Electronics. Utiliza inversores de producción nacional marca CICEL e importados marca Trace.

Las baterías más utilizadas por SOLAR CENTER son las TUDOR de capacidades entre 50 y 160 Ah y las EXIDE con capacidades entre 300 y 2000 Ah.

Para proyectos de iluminación utiliza lámparas ensambladas por la misma empresa marca SOLAR

CENTER SC-20, utilizando principalmente balastos de 12 voltios y 1 amperio marca CICEL de producción nacional y de 12 voltios y 1,5 amp, 9 voltios y 0,85 amp, marca IOTA, importados desde los Estados Unidos (IOTA ENGINEERING CO.). Distribuye esporádicamente bombas marca Shurflo que manejan caudales de 500 litros/hora, con cabezas de succión de 3 metros y de descarga de 6 metros, además de neveras para vacunas.

En la actualidad SOLAR CENTER instala la primera central solar en Colombia, beneficiando a la vereda La Venturosa, municipio de Puerto Carreño en el departamento del Vichada. El proyecto beneficia a 10 viviendas, a un internado, al puesto de salud, la inspección de policía y la casa comunal, además de suministrar alumbrado público.

El proyecto abarca además la instalación de plantas solares individuales beneficiando a 19 familias de la vereda Puerto Murillo y a 17 familias de la vereda El Aceitico.

El costo total del proyecto es de \$94 millones y fue adjudicado por el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica ICEL.

3.3.4 ENERGÍA INTEGRAL ANDINA

Esta empresa cuenta con una fábrica de baterías en Manizales en la que experimentaron ensamblando módulos fotovoltaicos con celdas importadas. No continuaron con esta actividad debido a que las bajas eficiencias, la robustez y el costo de los módulos ensamblados los hiciera incompetentes ante los importados.

Esta empresa es distribuidora y representante de SOLAREX (Amoco Company). Distribuye aproximadamente desde el año 1991 módulos VLX-53 y VLX-32 de \$350000 y \$230000 respectivamente (precios año 1994). En sus montajes utiliza reguladores MX-120 cuyo precio actual es de \$100000.

En la actualidad atiende al mercado fotovoltaico profesional ya que no cuenta con red de distribuidores a nivel nacional. Son representantes de SOLAREX, Baterías Industriales YUASA-EXIDE INC y distribuidores de CORTEC CORPORATION, BPS Equipos e Ingeniería LTDA y SAFT NIFE (Rectificadores

y Baterías Niquel-Cadmio). Distribuyen además aerogeneradores de 12 voltios y 250 vatios y lámparas fluorescentes para interiores y exteriores.

La información expuesta anteriormente se recopiló a través de medios diferentes a la propia empresa y se presenta pese a la negativa de sus directivos a colaborar con este estudio.

3.3.5 DURESPO S.A.

Esta empresa tiene como una de sus líneas de distribución los módulos solares marca Kyocera y componentes suministrados por la empresa PHOTOCOMM INC. cuenta con una red de distribuidores a través de la cual distribuye principalmente módulos Kyocera de 51 vatios a \$447000 y de 10 vatios a \$216000 (precio de 1994). Los precios de los reguladores oscilan entre \$65000 y \$90000.

Según el INCOMEX esta empresa importó módulos en el año 1985, reanudando las importaciones en el año 1990. Según los registros de importaciones, DURESPO S.A. ha importado al país hasta agosto de 1994 un total de 1338 módulos fotovoltaicos.

3.3.6 EDUARDOÑO

Esta empresa tiene más de diez años distribuyendo módulos y sistemas fotovoltaicos marca Kyocera traídos directamente del Japón. No es una empresa que distribuye exclusivamente módulos fotovoltaicos, esta actividad la realiza a través de su amplia red de distribuidores con que cuenta a nivel nacional.

El sistema rural de energía solar EDUARDOÑO está compuesto por:

- Un módulo fotovoltaico KC 45R autorregulable de 3,02 Ah con potencia de 45 vatios o un módulo KC 51 de 3,02 Ah de 51 vatios picos
- Un regulador protector importado que optimiza la energía recibida por la batería, evitando de esta manera las pérdidas del electrolito y la sulfatación de las placas. Este posee además un sistema de diodo de bloqueo para evitar las pérdidas por consumo del módulo en las horas de la noche. El módulo KC 45R autorregulable, posee un diodo interno el cual cumple la función anterior, por lo que los sistemas de hasta tres módulos no necesitan regulador.

- Un sistema visual que a través de un bombillo rojo indica si el módulo y el sistema están en funcionamiento. Posee además indicador de voltaje y de corriente
- Tres lámparas fluorescentes con chasis construido en fibra de vidrio
- Un enchufe pata trabada para evitar conectar los consumidores con la polaridad invertida
- Juegos de soportes

Según los registros del Incomex, EDUARDOÑO ha importado desde el año de 1985 un total de 2923 módulos fotovoltaicos, que por las características de distribución de los mismos, se puede afirmar que corresponden a sistemas individuales (Solar Home Systems).

3.3.7 GRANJA PROVIDENCIA

Esta empresa cuenta con 25 años de experiencia en la producción de calentadores solares de agua y con 18 años en la construcción y distribución de módulos fotovoltaicos. Se dedica además a la construcción y distribución de destiladores solares y biodigestores.

Para la fabricación de módulos fotovoltaicos utiliza celdas fotovoltaicas producidas por la empresa norteamericana SOL ENERGIE CORPORATION, importadas personalmente por el gerente de la granja.

La construcción de los módulos se hace en forma artesanal, logrando producir anualmente en promedio 19 módulos fotovoltaicos.

El encapsulamiento se realiza de la siguiente forma y en este orden:

- Fabricación de la placa posterior del módulo en poliéster reforzado con fibra de vidrio
- Unión de las celdas mediante soldadura con material especial no divulgado por el fabricante
- Colocación de las celdas sobre la placa e impermeabilización
- Colocación del vidrio
- Montaje del marco estructural
- Montaje de la caja de interconexión con opción de obtener 6 ó 12 voltios

Los módulos fotovoltaicos así obtenidos son los GP34 conformados por 34 celdas, con una potencia de 43 Wp. El costo actual de los mismos es de \$480.000. Estos módulos son, según el fabricante, autorregulados, por lo que el fabricante no acostumbra utilizar reguladores en los sistemas que instala. Además son reparables ya que se les puede quitar fácilmente el vidrio para su cambio o reparación de las celdas.

La eficiencia de estos módulos no fue divulgada por el fabricante, no obstante tenerla establecida con equipos de medición digital.

Hasta el momento esta fábrica ha distribuido alrededor de 1500 módulos de fabricación propia principalmente hacia los Llanos Orientales y la Costa Pacífica.

Por otro lado, existen además en Colombia varias empresas que distribuyen componentes utilizados en los sistemas fotovoltaicos como es el caso de las baterías estacionarias.

En la **tabla 3.9** se muestra el directorio de las empresas distribuidoras de los módulos y sistemas fotovoltaicos y en la **tabla 3.10** se muestra el directorio de las empresas que distribuyen componentes utilizados en los sistemas fotovoltaicos y baterías estacionarias utilizadas en los mismos sistemas.

Las empresas que se identificaron y las características técnicas de los componentes que producen y distribuyen, se exponen a continuación:

3.3.8 COMPAÑÍA CENTRAL ELECTRÓNICA CICEL LTDA

CICEL Ltda cuenta con 14 años de experiencia en el campo de la energía solar fotovoltaica, distribuye módulos solares y fabrica elementos de 12 voltios como balastos electrónicos, lámparas fluorescentes, convertidores para grabadoras, inversores de corriente, reguladores y adaptadores de licuadoras de 12 voltios.

Además fabrican cargadores de baterías para 110 voltios IPS para sistemas de emergencia.

CICEL Ltda es una empresa fabricante, distribuidora de sistemas y asesora en proyectos fotovoltaicos.

Distribuye módulos fotovoltaicos Solarex y Siemens de 32, 35, 40 y 53 vatios a precios que oscilan entre los \$280000 y \$380000, que son utilizados principalmente para sistemas individuales para fincas, comunicaciones y sistemas de emergencia alternos a la energía convencional. Los módulos fotovoltaicos son adquiridos a través de las empresas representantes a nivel nacional de las marcas mencionadas.

Fabrica y distribuye los siguientes componentes:

Reguladores Cicel: Son reguladores de 15 amperios con voltímetro, amperímetro, indicadores del estado de la batería y consumo, interruptor totalizador, fusible de protección y desconexión por descarga o sobrecarga. Precio unitario \$70000.

Inversores Cicel: Potencias de 160 y 250 vatios, con onda escalonada, entrada de 12 y 24 voltios, 110 voltios de salida, 60 Hz sincrónicos, eficiencia promedio del 90%, salida con toma Levinton, fusible de protección, interruptor de encendido y protección para sobrecargas. Precio en 1994 de \$100000.

Balastos Cicel: Con oscilador de alta frecuencia en 24000 Hz, dispositivo de arranque automático, con protección contra inversión de polaridad y desconexión del tubo. Consumo de 1,2 amperios/hora. Precio unitario en 1994 de \$6000.

Lámparas Cicel: Fabrica lámparas fluorescentes de 12 voltios de 15 y 20 vatios a \$18000 y las PL-13- de 40 vatios con chasis en PVC a \$25000 (precios de 1994).

Convertidores para grabadora: Son fabricados para 3, 4,5, 6, 7,5, 9 y 12 voltios con precios de \$5000 la unidad.

CICEL Ltda utiliza, para los sistemas que distribuye, baterías estacionarias de plomo - ácido de 40, 50, 75 y 125 amperios-hora de 12 voltios, marcas ALHER y SOLAR.

Continuación tabla 3.9 DIRECTORIO DISTRIBUIDORES MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y OTROS COMPONENTES EN COLOMBIA

EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	FAX	REPRESENTANTE LEGAL	MODALIDADES DE LA EMPRESA		
					FABRIC. COMPO.	DISTRIB. COMPO.	DISTRIB. DE MÓDULOS
DISTRIBUIDORA MAC	Cra. 7A No. 20D-29 Valledupar - Cesar	725412	-	MIGUEL RODRÍGUEZ	-	SI	SI
ELÉCTRICOS CASANARE	Calle 10 No. 20-77 Yopal-Casanare	987-558582	-	JOSE DANIEL RODRÍGUEZ	-	SI	SI
ELECTRO SOLAR PEREIRA	Av.30 de agosto No.87-110 Pereira - Risaralda	4157366	-	JORGE EVELIO HUZMA	-	SI	SI
ENERGEX LTDA	Cra. 99 No. 46A - 10 Bdg. 7 Santafé de Bogotá	2161800 - 6712909 6712688	6142988	-	-	SI	NO
ENERGÍA SOLAR	Av. 13 No. 128A - 21 Santafé de Bogotá	958-825239	-	LADY MERCADO	-	SI	SI
ENERSSIN LTDA	Cra. 17 No. 23-51, Loc. 103 Sincelajo - Sucre	9866-32330	-	JUAN GUILLERMO PULGARIN	-	SI	SI
ENERSSIN LTDA	Villavicencio - Meta	983-461414	-	JOSE ALFREDO ARIAS	-	SI	SI
ENERSUR	Calle 10 No.3 - 85 Chaparral - Tolima	92-6652415	-	IVAN DARIO TAWIL	-	SI	SI
ETAGRO Y CIA LTDA	Av. 6 Norte No. 47-197 Cali - Valle	955-712265-712267	-	PEDRO DÍAZ	-	SI	SI
FERRETERÍA SANTANDER	Cra. 16 No. 22C-04 Valledupar - Cesar	953-663781-666237	-	ALVARO ARISTIZABAL	-	SI	SI
FUMAGRO Y CIA LTDA	Cra. 19 No. 32-97 Cartagena - Bolívar	6121534 - fax: 6121534	-	JOAQUÍN CORREA BULLA	SI	SI	SI
GRANJA PROVIDENCIA	Res.114A No.33-65,Int.5,Apto.502 Santafé de Bogotá	92-3396938-5522417	-	CARLOS DIROLF	-	SI	SI
HELIOTERMICA LTDA	Cra. 60 No. 4-49 Bloque 3 Apto. 202 Cali - Valle		-				

Continuación tabla 3.9 DIRECTORIO DISTRIBUIDORES MÓDULOS FOTOVOLTAICOS Y OTROS COMPONENTES EN COLOMBIA

EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	FAX	REPRESENTANTE LEGAL	MODALIDADES DE LA EMPRESA		
					FABRIC. COMPON.	DISTRIB. COMPON.	DISTRIB. DE MÓDULOS
INDUSTRIAS ELECTRÓNICAS VOLTEX LTDA	Calle 45A No. 102 - 20 Santafé de Bogotá	4139576	-	-	-	SI	NO
JB ELECTROCRÉDITOS Y CIA	Calle 9 No. 18-97 Yopal - Casanare	987-557659	-	JAIRO LADINO	-	SI	SI
MAREMOTO LTDA	Avda. El Arsenal No. 9A-29 Cartagena - Bolívar	953-655250-644842	-	FERNANDO CAMMAERT	-	SI	SI
MOTORES Y REPUESTOS ERGO	Calle 7 No. 1-18 Puerto Berrío - Puerto Berrío	948-232326	-	ERNESTO GONZÁLEZ	-	SI	SI
PROV. ARGEMIRO TAMAYO	Cra. 1 No. 9-11 Puerto Berrío - Antioquia	948-232080-232355	-	ARGEMIRO TAMAYO	-	SI	SI
SEEBEK DE COLOMBIA	Cra. 20 No. 76-23 Santafé de Bogotá	2173956	-	JULIO CÉSAR GONZÁLEZ	-	SI	SI
SIEN LTDA	Tranv. 72 No. 133-06 Santafé de Bogotá	91-6837704	-	ALFREDO ANAYA	-	SI	SI
TECNISOLAR	Calle 17 Cra. 7, Loc. 6-106 Florencia - Caquetá	988-357798	-	GERMÁN ALBA	-	SI	SI
VALLEJO HERMANOS LTDA	Cra. 21 No. 16-12 Pasto - Nariño	927-230585	-	RODRIGO VALLEJO	-	SI	SI

TABLA 3.10
DIRECTORIO DISTRIBUIDORES DE BATERÍAS ESTACIONARIAS

EMPRESA	CIUDAD	DIRECCIÓN	TELÉFONOS
ACUMULADORES INDUSTRIALES	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Tr. 30 No. 81 - 05	(91) 2363112 - 2362816
E.G. COLOMBIA			6167106 - 6182356 (fax)
BATERÍAS ALHER	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 25 No. 5C - 18	2371506 - 2377096 - 2377198
BATERÍAS EXCELL	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 11B No. 99 - 35	6170372 - 6105000 - 6107255 (fax)
BATERÍAS LOZANO	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 24 No. 77 - 68	2555571 - 2170572
COEXITO S.A	BARBOSA	Cra. 10 No. 5 - 260	286180
	BARRANQUILLA	Calle 37 No. 46 - 03	(958) 311613
		Calle 73 No. 46 - 08	(958) 566286
	BUCARAMANGA	Cra. 15 No. 23 - 04	(976) 303315
	BUENAVENTURA	Calle 2 No. 7A - 20	(9222) 33562
	CALI	Cra. 1 No. 18 - 51	(923) 834999
	CARTAGENA	Av. Pedro H. No. 20B-45	(9222) 662281
	CÚCUTA	Diag. Stder. No. 6 - 36	(975) 782395
	IBAGUÉ	Av. 5 No. 22 - 114	(982) 631610
	MEDELLÍN	Cra. 50 No. 36 - 01	(94) 2324093
	PASTO	Av. Américas No. 16-66	(927) 15232
	PEREIRA	Cra. 12 No. 24 - 57	(963) 335763
	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 30 No. 14-90	(91) 2375277
		Av. Suba No. 121 - 51	(91) 6120081
		Av. Quito No. 63D-08	(91) 2111407
		Calle 76 No. 16 - 06	(91) 6103746
		Av. 7 No. 126 - 41	(91) 2135368
	SANTA MARTA	Calle 24 No. 4 - 27	(954) 234850
	TULUA	Cra. 30 No. 21 - 02	(922) 244343
	TUMACO	Av. Estudiantes No. 00-66	(927272) 537
	VALLEDUPAR	Calle 19B No. 7A - 56	(955) 724430
MAGNA S.A.	BUGA	Cra. 24 No. 11 - 75	72481 - 76470 (fax)
	CALI	Cra. 1 No. 18 - 93	831840 - 846787 (fax)
	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Av. 1a No. 3N - 35	675574 - 675684 (fax)
		Calle 13 No. 21 - 14	2012300 - 2774075 (fax)
	ARMENIA	Cra. 19 No. 11 - 14	(967) 453571
	BUENAVENTURA	Cra. 12 No. 5 - 53	(9222) 34834
		Calle 6 No. 40 - 37	(9222) 23828
	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Av. 15 No. 107	(91) 2132560

Continuación tabla 3.10

DIRECTORIO DISTRIBUIDORES DE BATERÍAS ESTACIONARIAS

EMPRESA	CIUDAD	DIRECCIÓN	TELÉFONOS
MAC S.A	SINCELEJO	Av. Peñitas No.25-227	(952) 822187
	VILLAVICENCIO	Calle 31 No. 26 - 58	(986) 631302
	CARTAGENA	Calle 32 No. 21 - 141	(953) 660987
	GIRARDOT	Cra. 10 No. 21 - 33	(9834) 34993
	IBAGUÉ	Cra. 5 No. 23 - 45	(982) 632063
	IPIALES	Av. 18 No. 26 - 65	(968) 573128
	LA DORADA	Calle 11 No. 10 - 65	(968) 573128
	MAGANGUE	Cl.Las Damas No.13-53	(952) 878010
	MANIZALES	Av. 18 No. 26 - 40	(968) 841597
	MEDELLÍN	Calle 44 No. 65 - 83	(94) 2300748
	NEIVA	Calle 3 No. 5 - 35	(988) 713198
	PALMIRA	Cra. 28 No. 40 - 78	(922) 51788
	PASTO	Cra. 19 No. 15A - 07	(927) 212135
POPAYÁN	Cra. 9 No. 3N - 53	(9282) 33189	
AUTOCENTRO MAC	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Calle 10 No. 35 - 231 Urb. Acopi	644660/62
AUTO FUJIYAMA	CARTAGENA	Cra. 58 No. 74 - 165	(958) 566711
	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 58 No. 74 - 165	(958) 566711
AUTOMAC	CALI	Calle 9N No. 3N - 40	(923) 834426
CALILLANTA - MAC	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 1 No. 38A - 04	801658/842844
FUJIYAMA CARTAGENA	CARTAGENA		664954/0796/4873/3462
FUNDACIÓN MAC	CALI	Calle 22N No.2N-82	(923) 682818
MACAUTOS LTDA	SANTA MARTA	Cra. 7A No. 22 - 27	(954) 211360
VEHIMAC CENTENARIO	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Calle 9N No. 3N - 40	835317/818331/7729
VEHIMAC LTDA	CALI	Cra. 1 No. 38A - 04	(923) 422626
SEGURA Y CIA LTDA	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Cra. 116 No. 31 - 17	4152962 - 2678239
			2678259 - 2678279
SOLAR - ACUMULADORES	MEDELLÍN	Cra.51 No.12Sur188	2854517 - 2858592 - 2854386 (fax)
SOLAR LTDA	SANTAFÉ DE BOGOTÁ	Av. 39 No. 20 - 45	3203424 - 3203413 - 3201902 (fax)
TUDOR S.A.	BUCARAMANGA	Cra. 15 No. 28 - 36	336836-426272
	CALI	Calle 25 No. 4 - 40	(923) 830973
	CARTAGO	Calle 10 No. 9 - 56	22989
TUDOR S.A.	DUITAMA	Av. Américas No.17-14	602196
	GIRARDOT	Calle 22 No. 3 - 33	34993-167/934
	GUARNE (FÁBRICA)	Km.26 Carr. Med-Bog.	(948) 257162

Continuación tabla 3.10

DIRECTORIO DISTRIBUIDORES DE BATERÍAS ESTACIONARIAS

EMPRESA	CIUDAD	DIRECCIÓN	TELÉFONOS
TUDOR S.A.	IBAGUÉ	Cra. 5 No. 23 - 45	632063/3819 fax
	IPIALES	Av. Panam. Sur Km V.Rumichac	12732
	MANIZALES	Av. 18	841597-830247
	MEDELLÍN	Cra. 51 No. 38 - 92	(94) 2622266
	MEDELLÍN - MAC	Calle 44 No. 65 - 83	2601952-2300748
	MONTERÍA	Cra. 2 No. 40 - 80	(947) 824934
	NEIVA	Calle 3 No. 5 - 35	713316/3198/3338
	POPAYÁN	Cra. 9 No. 3N - 53	33189
SANTAFÉ DE BOGOTÁ		Cra. 30 No. 14 - 66	(91) 2774882
		Av. Boyacá Cra.51No.38-92	(91) 2511321

3.3.9 B.P.S EQUIPOS E INGENIERÍA LTDA

Esta empresa distribuye equipos tales como:

Reguladores para Panel Solar tipo RSL y TSL:

Son reguladores electrónicos para paneles solares de uso permanente, trabajo pesado y alta confiabilidad que suministran y mantienen carga en baterías de plomo - ácido tipo automotriz o industrial. Poseen regulación tipo ON-OFF a través de relevo (modelo RSL) o a través de transistor (modelo TSL), que permite el paso de corriente desde los paneles hasta la batería. Poseen además nivel de conexión y desconexión ajustable internamente, diodo de bloqueo para protección del panel solar, diodo volante y fusible como protección contra conexión invertida de la polaridad de la batería, y control de carga extraída de la batería a través de relevo para evitar su daño por descargas profundas. Bajo pedido especial se fabrican con la posibilidad de alimentación híbrida de red comercial de 120 VAC y/o paneles solares (Tipo RSL/PS - opcional).

Se distribuyen modelos con voltajes desde 12 VDC hasta 120 VDC, con corrientes de salida desde 5 hasta 25 Amperios. Otras capacidades se fabrican bajo pedido especial.

Rectificador / cargador tipo CBA/SCR : Son diseñados para uso permanente, trabajo pesado y

alta confiabilidad para suministrar y mantener carga en baterías de plomo - ácido tipo automotriz o industriales para los siguientes usos:

- Arranque de motores Diesel en equipos contra incendio, plantas eléctricas y otros
- Iluminación de emergencia
- Centrales telefónicas y radioteléfonos, sistemas controladores PLC
- Repetidoras de comunicaciones no asistidas
- Recarga y mantenimiento de carga en batería de UPS en inversores

Bajo pedido especial se diseñan con posibilidad de alimentación híbrida de red comercial de 120 VAC y/o con paneles solares (Tipo CBA/PS).

Poseen limitador electrónico de corriente que permite la recarga de baterías completamente descargadas (Tipo SCR/CBA) y soportar corto circuitos (Tipo CBA) en los terminales de salida sin daño en el rectificador cargador, diodo volante y fusible como protección contra conexión invertida de la polaridad de la batería.

Permite dos modos de carga, por flotación, para uso normal del cargador, recarga y mantenimiento de carga, y por igualación, que permite suministrar a la

batería una carga que hace que todos sus vasos trabajen a la misma capacidad, igualando densidad del electrolito y de voltaje. Suministra corriente constante a la batería hasta que ésta obtenga el 75% de su carga total. Una vez recargada la batería, el cargador suministra únicamente una corriente baja necesaria para suplir las pérdidas naturales de la batería (Flotación). Posee indicador de bajo nivel de voltaje a la batería, voltímetro y amperímetros análogos.

Existen para voltajes de entrada de 120 VAC y de salida desde 12 VDC hasta 120 VDC, con corrientes de salida desde 5 hasta 50 amperios.

3.3.10 SOLAR, ACUMULADORES SOLAR LTDA.

Es una empresa dedicada a la fabricación de baterías industriales tipo estacionario para varios usos como UPS, conmutadores telefónicos y sistemas de energía solar. Cuenta con más de 20 años de experiencia en el ramo, la mayoría bajo la marca TUDOR, con la asistencia técnica de TUDOR Suecia, y a partir del año 1990 bajo la marca Solar, especializados exclusivamente en el campo de las baterías de tipo industrial. Dicha experiencia y especialización la acreditan como una de las empresas líderes en el suministro de baterías manufacturadas especialmente para consumos de energía en ciclos de descarga profunda, caso de los sistemas de energía solar fotovoltaica.

Han sido proveedores de baterías de las principales empresas comercializadoras de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia tales como EDUARDOÑO, DURESPO S.A, SOLAR CENTER, ENERSSIN, CICEL, la empresa desaparecida COLFOTON y algunos otros distribuidores. Las baterías suministradas a dichas empresas se han utilizado en sistemas de energía solar fotovoltaica para zonas rurales, principalmente para la Costa Atlántica, norte de Antioquia y los Llanos Orientales. Esta empresa ha detectado que en los últimos tres años se ha adquirido una mayor conciencia en utilizar baterías diseñadas especialmente para sistemas fotovoltaicos, debido a que anteriormente se utilizaban baterías automotrices obteniéndose resultados y experiencias desfavorables para la comercialización de estos sistemas.

Desde el punto de vista técnico, la batería para descarga en ciclo profundo está diseñada para que sostenga una carga durante varias horas, sin que su voltaje sea inferior a 1,75 voltios por celda, voltaje de corte más común de los reguladores que conforman los sistemas fotovoltaicos.

Acumuladores Solar Ltda cuenta con personal capacitado en el campo de los acumuladores plomo-ácido, ha participado en conferencias en todo el país y presta además asesoría a los distribuidores para el cálculo de los sistemas de energía solar. Las **tablas 3.11 y 3.12** muestran las características técnicas de las baterías estacionarias marca Solar.

3.3.11 TUDOR

Desde hace 70 años TUDOR ha sido una de las empresas pioneras en la fabricación de todo tipo de baterías. Centra sus actividades en la sede matriz ubicada en cercanías del puerto marítimo de Gotemburgo (Suecia), en donde desarrolla, diseña y produce una gran gama de baterías para todo tipo de aplicaciones.

En Colombia, TUDOR S.A. bajo patentes y autorizaciones ha producido baterías para el consumo del mercado nacional desde hace aproximadamente 30 años. Ha desarrollado la batería estacionaria, diseño basado en las normas internacionales IEEE y SAE. Operan desde Medellín en su parte administrativa y en Guarne (Antioquia) en su parte de diseño y producción. Cuentan con oficinas y bodegas en las principales ciudades del país y han ampliado la cobertura nacional con MAC S.A. y COEXITO S.A. como sus distribuidores autorizados exclusivos. Entre las aplicaciones dadas a las baterías TUDOR se encuentran la alimentación de UPS, inversores, equipos de comunicaciones, plantas telefónicas, sistemas de citofonía, centrales telefónicas, sistemas de buscapersonas, sistemas de alarmas y de alumbrados de emergencia, sistemas fotovoltaicos, cercas eléctricas, procesos de electrólisis, equipos médicos, electrodomésticos portátiles, sistemas de cajeros automáticos y subestaciones eléctricas.

TABLA 3.11
INFORMACIÓN TÉCNICA DE LAS BATERÍAS ESTACIONARIAS SOLAR

ESPECIFICACIÓN	VOLTIOS POR CELDA	VOLTIOS POR BATERÍAS DE 6 CELDAS
VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO	2,07	12,42
VOLTAJE DE FLOTACIÓN	2,30	13,80
VOLTAJE MÁXIMO DE CARGA	2,37	14,22
VOLTAJE DE GASIFICACIÓN	2,37	14,22
VOLTAJE MÍNIMO EN DESCARGA	1,75	10,50

DENSIDAD DEL ELECTROLITO: 1.230 +5 g/cc a 25°C
TEMPERATURA MÁXIMA DEL ELECTROLITO: 45°C
CORRIENTE MÁXIMA DE CARGA: 15% de la capacidad nominal de la batería a 10 Hras

Las baterías estacionarias TUDOR presentan capacidades desde 50 a 160 Ah a 10 horas de descarga y un voltaje final de 1,75 voltios por celda. Poseen vasos de polipropileno color natural, transparente y semitransparente, cubiertas de polipropileno de color rojo, tapones termoplásticos, separadores de poliéster, retenedores de fibra microporosa, espacio de sedimentación de mm, nivel de electrolito sobre placas a 35 mm, densidad del electrolito de 1,23 gr/cc a 25°C y terminales para tornillo.

En la **tabla 3.13**, se muestran las características técnicas y precios de cada una de las baterías estacionarias TUDOR.

TABLA 3.12
BATERÍAS ESTACIONARIAS «SOLAR»

REFERENCIA	VOLTAJE	CAPACIDAD AH 1.75 VF 10 HORAS	DIMENSIONES (cm)			PESO (Kg)
			LARGO	ANCHO	ALTO	
6 ASE 20	12	19	20,6	13,5	17,0	9
6 ASE 40	12	39	27,5	16,7	21,5	17
6 ASE 50	12	55	35,3	16,7	21,5	22
6 ASE 75	12	75	35,3	16,7	21,5	30
6 ASE 95	12	94	50,7	21,5	23,7	47
6 ASE 100	12	108	50,7	21,5	23,7	49
6 ASE 125	12	125	50,7	26,8	24,5	52
6 ASE 150	12	150	50,7	26,8	24,5	65
3 ASE 200	6	200	50,7	21,5	23,7	49
3 ASE 250	6	250	50,7	26,8	24,5	52
3 ASE 300	6	300	50,7	26,8	24,5	65
6 ASA 130	12	130*	50,7	21,5	23,7	52
6 ASA 180	12	180*	50,7	26,8	24,5	67

* Capacidad a 20 horas

3.3.12 MAGNA S.A.

Esta empresa ofrece una línea completa en baterías plomo-ácido para uso estacionario, entre las que se encuentran las de fabricación propia de 12 voltios con capacidades entre 30 a 200 Ah, con separadores

de bolsa y placas robustas con rejillas de aleación plomo - bajo antimonio. Estas baterías son de poco mantenimiento, gasificación mínima y voltaje regulado en las descargas.

Otros tipos de baterías que distribuye MAGNA S.A. son las de marca YUASA importadas del Japón y GLOBAL & YUASA importadas de Corea; las cuales son de construcción sellada tipo recombinación y libres de mantenimiento por nivel de agua y sulfatación. Estas baterías no gasifican y tienen una vida útil de 5 años en uso estacionario y hasta 1000 ciclos en uso de cargas y descargas continuas.

Además distribuye celdas estacionarias marca GLOBAL YUASA importadas de Japón y Corea con capacidades de 60 a 4000 amperios hora. Tienen vida útil de 15 años y se construyen con placas positivas tubulares que eliminan la sedimentación.

Son disponibles en tipo ventilado con mínimo mantenimiento y en tipo sellado libres de mantenimiento.

Las baterías estacionarias de recombinación MAGNA tienen la característica de ser totalmente selladas, pueden operar en cualquier posición, no requieren mantenimiento y pueden ser instaladas dentro de los equipos electrónicos. Su principio de funcionamiento se basa en el desarrollo de la tecnología que permite que los gases que se generan internamente se recombinen dentro de la celda, no permitiendo por ende la liberación hasta el exterior.

TABLA 3.13 BATERÍAS ESTACIONARIAS TUDOR S.A.

REFERENCIA	VOLTIOS	CAPACIDAD AMP-H	PESO (Kg)	DIMENSIONES			PRECIO AGOSTO 1994
				LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ESPELOR (mm)	
6 PST 5	12	50	21,65	300,6	166,6	224	\$ 63000
6 PST 7	12	70	29,00	342,0	166,6	217	\$ 95000
6 PST 9	12	100	45,00	507,0	220,0	232	\$ 122000
6 PST 11	12	120	50,20	507,0	220,0	232	\$ 145000
6 PST 13	12	140	62,00	507,0	270,0	238	\$ 165000
6 PST 15	12	160	66,60	507,0	270,0	238	\$ 183000

Las baterías estacionarias de recombinación se encuentran con capacidades de 20 Ah (R-20), 30 Ah (R-30), 40 Ah (R-40), 50 Ah, (R-50) y 140 Ah (R-140). La R-30 es ideal para pequeñas centrales telefónicas y UPS hasta 5 kVA. La R-50, de tamaño intermedio con capacidad de 50 Ah en régimen de 20 horas puede entregar hasta 17,5 kVA en régimen de 15 minutos y 240 voltios. La R-140 es un modelo que viene en monobloques de 6 voltios con capacidad de 140 Ah en régimen de 20 horas. Su capacidad le permite alimentar equipos de 21 kVA (15 minutos, 120 V), 42 kVA (15 minutos, 240 V) o 84 kVA (15 minutos, 480 V). Para potencias mayores de menor voltaje como por ejemplo las de telefonía de 48 voltios pueden conectarse varias series en paralelo llegando así a 280, 420 ó 560 Ah.

La **tabla 3.14**, muestra las características técnicas y precios de las baterías estacionarias distribuidas por MAGNA S.A.

3.3.13 COEXITO

COEXITO S.A. distribuye a nivel nacional las baterías estacionarias YUASA serie -DM importadas de Japón, libres de mantenimiento.

Son de construcción sellada y admiten altas ratas de descarga (hasta 3 veces su capacidad nominal). Sus aplicaciones normales son en UPS, luces de emergencia, sistemas de alarma, centrales telefónicas y equipos de radiocomunicaciones.

Además, distribuye las baterías estacionarias GLOBAL-YUASA serie ES importadas de Corea las cuales son libres de mantenimiento, no expiden gases, son selladas y pueden ser instaladas en cualquier posición o lugar. Sus aplicaciones normales son en sistemas de UPS, alarmas, equipos de comunicación, cámaras, televisores portátiles, equipo médico, juguetes e iluminación de emergencia.

La **tabla 3.15** resume las características técnicas y precios de dichas baterías.

3.3.14 BATERÍAS ALHER

Esta empresa distribuye baterías para UPS, industriales, montacargas, automotrices, estacionarias y para plantas solares.

TABLA 3.14
BATERÍAS ESTACIONARIAS IMPORTADAS Y
DISTRIBUIDAS POR MAGNA S.A.

REFERENCIA	VOLTIOS	AMPE- RIOS	PRECIOS OCTUBRE 1994	
			P. MAYOR	P. PÚBLICO
6PST5	12	50	\$ 50400	\$ 63000
6PST7	12	70	\$ 76000	\$ 95000
6PST9	12	100	\$ 97600	\$ 122000
6PST11	12	120	\$ 116000	\$ 145000
6PST13	12	140	\$ 132000	\$ 165000
6PST15	12	160	\$ 146400	\$ 183000

YUASA SERIE DM JAPONÉS

REFERENCIA	VOLTIOS	AMPE- RIOS	PRECIOS OCTUBRE 1994	
			P. MAYOR	P. PÚBLICO
DM5512	12	57	\$ 132384	\$ 165480
DM8012	12	73	\$ 149184	\$ 186480
DM9012	12	90	\$ 180768	\$ 225960

TABLA 3.15
BATERÍAS ESTACIONARIAS IMPORTADAS Y DISTRIBUIDAS
POR COEXITO S.A. * YUASA SERIE - DM (IMPORTADA DE JAPÓN)

REFERENCIA	VOLTIOS	CAPACIDAD NOMINAL (A 20 Hrs)	PESO (Kg)	DIMENSIONES EN (m.m)			PRECIO AGOSTO 1994
				LARGO	ANCHO	ALTURA	
DM - 5512	12	57	18,00	260	173	202	\$ 165480
DM - 8012	12	73	21,00	306	173	202	\$ 186480
DM - 9012	12	90	27,00	409	173	211	\$ 225960

GLOBAL YUASA SERIE - ES (IMPORTADA DE COREA)

REFERENCIA	VOLTIOS	CAPACIDAD NOMINAL (A 20 Hrs)	PESO (Kg)	DIMENSIONES EN (m.m)			PRECIO AGOSTO 1994
				LARGO	ANCHO	ALTURA	
ES-6-6	6	6	1,30	151	34	97,5	\$ 16000
ES-412	12	4	1,70	90	70	105,5	\$ 21700
ES-712	12	7	2,65	151	65	94,0	\$ 25500
ES-1212	12	12	4,00	151	98	97,0	\$ 48500
ES-1812	12	18	6,20	181	76	167,0	\$ 61500
ES-3012	12	30	11,50	192	132	170,0	\$ 86500
ES-6512	12	65	22,50	350	166	174,0	\$ 171000
ES-10012	12	108	40,00	443	167	228,0	\$ 265000

* GARANTÍA : 1 AÑO CAMBIO TOTAL POR DEFECTO DE FABRICACIÓN BAJO CONDICIONES CORRECTAS DE USO.

TABLA 3.14
BATERÍAS ESTACIONARIAS IMPORTADAS Y
DISTRIBUIDAS POR MAGNA S.A.

GLOBAL
YUASA SERIE ES COREANA

REFERENCIA	VOLTIOS	AMPE- RIOS	PRECIOS OCTUBRE 1994	
			P. MAYOR	P. PÚBLICO
ES6-6	6	6	\$ 12800	\$ 16000
ES-412	12	4	\$ 17360	\$ 21700
ES-712	12	7	\$ 20400	\$ 25500
ES-1212	12	12	\$ 38800	\$ 48500
ES-1812	12	18	\$ 49200	\$ 61500
ES-3012	12	30	\$ 69200	\$ 86500
ES-6512	12	65	\$ 136800	\$ 171000
ES-10012	12	108	\$ 212000	\$ 265000

Las baterías tipo estacionaria industrial presentan capacidades de 45 a 50 Ah para 10 horas de descarga, con voltaje final de 1,75 voltios por celda. Su construcción es con depósito de polipropileno blanco lechoso, cubiertas de polipropileno negras, tapones antiexplosivos, separadores de PVC importados, retenedores con trenzado de vidrio, espacio de sedimentación de 25 mm, nivel de electrolito sobre placas a 35 mm y densidad de 1,23 gr/cc a 25°C.

La **tabla 3.16** muestra las características técnicas y precios de las baterías estacionarias ALHER.

BATERÍAS ALHER distribuye además la batería estacionaria industrial importada marca TUDOR tipo Ironclad de fabricación Sueca con placa positiva tubular, vida útil de 22 años y capacidad nominal de 300 Ah en régimen de 10 horas y 162 Ah en régimen de una hora. La larga vida útil de esta batería se debe a que el entubado de vidrio trenzado mantiene el material activante firmemente aprisionado evitando su dispersión, mientras permite el fácil acceso del electrolito y a que las rejillas de Silviun son un 100% más resistentes a la corrosión que las rejillas de placa plana de aleación en antimonio - plomo.

TABLA 3.16 BATERÍAS ESTACIONARIAS INDUSTRIALES «ALHER»

REFERENCIA	VOLTIOS	POTENCIA (VA) WATT UNA HORA	AUTONOMÍA (AMPERIOS)			PLACAS POR CELDA	DIMENSIONES EN (m.m)			PRECIOS 1994
			10	1 HORA	30 MIN		LARGO	ANCHO	ALTURA	
3BST13 G4	6	270	120	45	75	19	330	180	230	\$ 65400
6BST3 24H	12	180	40	15	22	7	180	230	265	\$ 35000
6BST5 27H	12	300	55	25	35	9	325	180	230	\$ 42800
6BST7 30H	12	360	70	30	45	11	345	180	240	\$ 75600
6BST15 4D	12	660	120	55	85	19	520	225	240	\$ 124800
6BST17 8D	12	840	150	70	100	23	520	280	240	\$ 139500
3BST33 7D	6	1680	300	140	200	45	520	280	240	\$ 154000

VOLTAJE FINAL : 1,75 Voltios por celda
 GARANTIA : 3 Años

DEMANDA DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA

Colombia es mercado de la tecnología solar fotovoltaica desde el año 1979, cuando la Empresa Nacional de Telecomunicaciones utilizó módulos marca Arco Solar de 23 Wp en su proyecto de telecomunicaciones Primera Etapa con una capacidad total instalada de 31809 Wp. Este proyecto benefició en el país a un total de 847 localidades que no se encontraban interconectadas eléctricamente, condición ésta que ha cambiado, ya que en la actualidad Telecom utiliza los sistemas fotovoltaicos no sólo en lugares no electrificados sino en algunos que se encuentran electrificados reemplazando con ellos a los rectificadores.

Actualmente, en Colombia se utilizan los módulos fotovoltaicos principalmente en sistemas de telecomunicaciones, protección catódica, radioayudas, proyectos de electrificación rural y sistemas individuales o residenciales, siendo estos últimos con los de telecomunicaciones los que mayormente los demandan. Para la identificación de sistemas de electrificación rural se han clasificado como proyectos de electrificación rural los cargadores solares de baterías comunitarios y aquéllos que (aunque algunos son sistemas residenciales), han sido montados por entidades del Estado y no gubernamentales a través de proyectos y programas de electrificación rural especialmente en zonas hasta donde llega su cobertura de acción. Los sistemas individuales son los instalados en fincas y viviendas, comúnmente apartadas, que benefician a una familia con montajes de uno y más módulos fotovoltaicos.

En Colombia los sistemas fotovoltaicos alimentan principalmente estaciones repetidoras de microondas, estaciones repetidoras de televisión, radiofaros, faros, boyas, sistemas de comunicación rural, servicios de iluminación pública, dotación de electricidad en escuelas rurales, sistemas de protección catódica de oleoductos, iluminación

residencial, televisión, radio, cercas eléctricas, pequeñas neveras para vacunas y pequeños sistemas de bombeo de agua.

El mayor usuario de los sistemas fotovoltaicos en proyectos de telecomunicaciones es la Empresa Nacional de Telecomunicaciones debido a que maneja los diferentes proyectos que contempla el Plan Nacional de Telefonía Rural. También son usuarios de la tecnología solar fotovoltaica para sistemas de Telecomunicaciones la British Petroleum, Elf-Aquitaine Colombie, Hocol, Texas Petroleum Company, Oxidental de Colombia, Transmigán, Promigás S.A., Vidcom, Anditel, Intercor, Ejército Nacional y algunas Electrificadoras entre otros.

Algunos usuarios o empresas que han realizado proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos, ya sea para beneficio propio o para comunidades cercanas de donde realizan proyectos son: Interconexión Eléctrica S.A. - ISA -, Ministerio de Minas y Energía, Plan Nacional de Rehabilitación, Inmacol, Caja Agraria, Inderena, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Palmeras de la Costa, Palmas Bucarelia, Palmas del Casanare, Pesenca y el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica, entre otros.

La empresa Colombiana de Petróleo, Ecopetrol, ha utilizado módulos fotovoltaicos para alimentar los sistemas de protección catódica en algunos de sus oleoductos y la empresa Intercor los ha utilizado en sistemas de radiofaros, control de flujo de camiones dentro de la Mina y en la línea ferroviaria que va desde La Mina hasta Puerto Bolívar.

La identificación de la demanda de los SFV en Colombia, así como los proyectos realizados hasta el momento, se estableció mediante contacto directo con las entidades o empresas que mayormente los demandan. No obstante, por razones internas de algunas empresas y dado el grado de inseguridad

existente en el País que hace que algunas entidades del Estado no proporcionen información relacionada con las características técnicas de los sistemas utilizados y mucho menos su localización, se presenta información poco detallada de algunas empresas y proyectos.

4.1 PROYECTOS REALIZADOS POR EMPRESAS Y ENTIDADES

4.1.1 Proyectos de Telecomunicaciones

4.1.1.1 Empresa Nacional de Telecomunicaciones - TELECOM -

Telecom es el principal usuario de los sistemas fotovoltaicos utilizados en telecomunicaciones en el país, debido al Programa de Telefonía Rural que adelanta. Hasta el momento ha realizado los siguientes proyectos:

- **Primera etapa:** Este benefició a 847 localidades con una capacidad total instalada de 31809 vatios pico con 1383 módulos fotovoltaicos de 23 Wp marca Arco Solar. En este proyecto se utilizaron

reguladores marca BP Solar y Baterías Faico, Mac, Delco 2000, Exide, Tódor, Tungstone, Willard y Segura. **La tabla 4.1** muestra un resumen de este proyecto. Algunos de estos montajes no existen en la actualidad debido a que los sitios han sido electrificados.

- **Proyecto Caribe I:** Este proyecto fue adjudicado a la empresa Francesa TRT que instaló sistemas en los departamentos de Córdoba, Sucre y parte del Sur de Bolívar entre los años 1992 y 1993. En este proyecto se instalaron 26,46 kWp con aproximadamente 353 módulos fotovoltaicos Fotowatt de 75 Wp (BPX 47500). Se utilizaron reguladores de 24 a 30 Amp. y baterías Oldham.

La tabla 4.2 muestra los sistemas instalados. Entre estos los sistemas de 225 y 270 Wp corresponden a localidades o pueblos, los de 360 Wp son estaciones repetidoras, los de 450 Wp corresponden a estaciones repetidoras con abonados y los de 855 Wp corresponden a Ernas (estaciones repetidoras no atendidas).

TABLA 4.1
SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES
PRIMERA ETAPA (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

GERENCIA REGIONAL	NÚMERO DE LOCALIDADES	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES (*)	MARCAS DE LAS BATERÍAS	CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS (Ah)
BARRANQUILLA	43	1380	60	FAICO, MAC, DELCO 2000	120, 75, 86
SANTAFÉ DE BOGOTÁ	39	1794	78	DELCO 2000	105
BUCARAMANGA	152	6394	278	FAICO, MAC, DELCO 2000	105, 95, 120, 90
CALI	119	3059	133	DELCO 2000, MAC, EXIDE	80, 90, 165
IBAGUÉ	60	2691	117	DELCO 2000, MAC, EXIDE	60, 90, 105
MANIZALES	36	1909	83	TUDOR, EXIDE, TUNGSTONE	63, 160, 200, 500
MEDELLÍN	11	3013	131	MAC, SEGURA, WILLARD	90, 75
CÚCUTA	48	1771	77	FAICO, TUDOR	105
CARTAGENA	57	1633	71	DOR, MAC	50, 160
NEIVA	19	874	38	MAC, DELCO 2000	60, 90, 105
PASTO	23	1058	46	MAC, DELCO 2000	60, 90, 105

Continuación tabla 4.1

SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES
PRIMERA ETAPA (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

GERENCIA REGIONAL	NÚMERO DE LOCALIDADES	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD DE MÓDULOS SOLARES (*)	MARCAS DE LAS BATERÍAS	CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS (Ah)
PEREIRA	77	3588	156	TUDOR	63
TUNJA	34	1564	68	SEGURA, MAC	63, 90
VILLAVICENCIO	21	943	41	EXIDE	90
ARAUCA	3	138	6	FAICO	105
TOTALES	847	31809	1383	-	-

* Módulos marca Arco Solar de 23 vatios pico Reguladores marca BP Solar

TABLA 4.2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES CARIBE I (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES 1992 - 1993)

SISTEMAS	NÚMERO DE LOCALIDADES	LOCALIDADES	POTENCIA INSTALADA (VATIOS)
CARTAGENA	2	- ERNA GUAYACÁN - ALGARROBO	855 225
ISLAS	7	- PUNTA ARENAS - PLAYA BLANCA - BOCACHICA - TIERRABOMBA - ISLA GRANDE II - ISLA GRANDE I - BARÚ	225 270 225 225 450 225 225
ARJONA I	2	- ERNA CERRO ANGEL - BAYANA	855 270
ARJONA II	1	- ERNA PEÑALTA	405
ARJONA III	1	- BUENOS AIRES	225
SUCRE I	12	- LA VENTURA - MALAMBO - MONTERÍA - EL CONGRESO - SAN LUÍS - ARBOLEDA - TRAVESÍA	225 225 225 225 225 225 225

Continuación tabla 4.2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES CARIBE I
(EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES 1992 - 1993)

SISTEMAS	NÚMERO DE LOCALIDADES	LOCALIDADES	POTENCIA INSTALADA (VATIOS)
SUCRE I	12	- CHAPARRAL	225
		- PALMARITO	225
		- CAMAJÓN	360
		- PIZA	225
		- MIRAFLORES	225
SUCRE II	12	- LAS FLORES	225
		- EL POZÓN	225
		- PUEBLO NUEVO	225
		- LAS CONCHITAS	225
		- ARMENIA	225
		- LOS CERRITOS	225
		- SANTA MÓNICA	225
		- MANTEQUEIRA	225
		- COYONGAL	225
		- SANTA COA	225
		- SITIO NUEVO	225
		- SN. JOSÉ DE LAS MARTAS	225
SUCRE III	12	- ERNA CERRO LA RUFINA	360
		- ALTOS DEL ROSARIO	225
		- RÍO NUEVO I	225
		- PUERTO LÓPEZ	225
		- ERNA CERRO GAITA	360
		- COLORADO	225
		- AGUAS NEGRAS	225
		- CENTRO ALEGRE	225
		- RÍO NUEVO II	225
		- TIQUISIO NUEVO	225
		- QUEBRADA DEL MEDIO	315
		- LA VENTURA	225
SUCRE IV	11	- CERRO ASTILLERO	225
		- LA RAYA	225
		- SAN JACINTO	225
		- TENCHE	225
		- ASTILLEROS	360
		- SAN AGUSTÍN	225
		- LOMA DE SAN AGUSTÍN	270
		- PUEBLO NUEVO	225
		- TAURETERA	225
		- MONTECRISTO	360
		- PUEBLO LINDO	225

Continuación tabla 4.2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES CARIBE I
(EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES 1992 - 1993)

SISTEMAS	NÚMERO DE LOCALIDADES	LOCALIDADES	POTENCIA INSTALADA (VATIOS)
MAJAGUAL I	7	- EL NARANJO	225
		- ZAPATA	225
		- SANTANDER	225
		- TRES CRUCES	225
		- ACHI	225
		- TACUYALTA	225
		- BOCA DEL CURA	225
MAJAGUAL II	9	- LOS PATOS	225
		- GAVALDA	225
		- SINCELEJITO	225
		- LA SIERPITA	225
		- LA GUARIPA	225
		- GUARANDA	225
		- PALMARITICO	225
		- SAN ROQUE	225
		- LAS PALMITAS	360
MAGANGUE I	3	- BARRO BLANCO	360
		- LAS MARIAS	225
		- SAN PEDRO	225
MAGANGUE II	6	- PUEBLO NUEVO	225
		- CAMPO SERENO	225
		- BOCA DE SAN ANTONIO	225
		- SANTA CRUZ	315
		- BARBOSA	225
		- PALMARITO	225
MOMPOX I	4	- BERMEJAL	225
		- SANTA TERESA	225
		- LAS BOQUILLAS	405
		- CALDERA	225
MOMPOX II	8	- ANGOSTURA	315
		- JANEIRO	315
		- SABANA DE PERALEJO	315
		- EL SEIS	315
		- LOS GALVIS	225
		- LA PACHA	225
		- BUENAVISTA	225
- SAN RAFAEL	270		

Continuación tabla 4.2 SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES CARIBE I (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES 1992 - 1993)

SISTEMAS	NÚMERO DE LOCALIDADES	LOCALIDADES	POTENCIA INSTALADA (VATIOS)
MOMPOX III	5	- PUEBLO NUEVO - SANDOVAL - DOÑA JUANA - CANTERA - GUATAQUITA	225 225 225 225 225
TOTAL	102	-	26460

- **Proyecto Caribe II:** Este proyecto adjudicado a Alcatel y realizado por la empresa española Isofotón beneficia a un total de 308 sitios distribuidos en los departamentos del Atlántico, Magdalena, Cesar y Guajira. Se ha instalado a partir del año 1992 un total de 1784 módulos fotovoltaicos M55L de 53 Wp marca Isofotón y 976 módulos M75L de 47 Wp de la misma marca, para un total de 2760 módulos fotovoltaicos que representan una potencia pico instalada de 140424 Wp. Algunos de estos sistemas han sido instalados en sitios interconectados eléctricamente en donde reemplazan los rectificadores con el objeto de tener un servicio más seguro y confiable. Abarca estaciones transmisoras y repetidoras con bancos de baterías marca Exide con capacidades entre 130

y 308 Ah, suministrados por la empresa Colombiana Energía Integral Andina. La **tabla 4.3** resume las características de este proyecto.

- **Proyecto Macizo Colombiano:** Este proyecto fue adjudicado a la empresa MITSUI DE COLOMBIA la cual ha incluido en el montaje módulos marca SIEMENS suministrados por ENERSSIN. En el proyecto se instalan 299 sistemas para una potencia total pico de 185206 Wp, suministrada a través de 3488 módulos fotovoltaicos marca SIEMENS tipo M55 de 53 Wp cada uno. Se instalan además reguladores APT tipo SERIE y baterías suministradas por la empresa ENERGÍA INTEGRAL ANDINA. En la tabla 4.4 se detalla información sobre este proyecto.

TABLA 4.3
SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES CARIBE II
(EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

ITEM	NÚMERO DE SITIOS	CAPACIDAD SISTEMAS (Wp)	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	NÚMERO DE MÓDULOS POR SISTEMA	NÚMERO TOTAL DE MÓDULOS	TIPO DE MÓDULOS	POTENCIA DE LOS MÓDULOS (Wp)	CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS (Ah)	TIPO DE REGULADORES (A)
1	199	424	84376	8	1592	M55L	53	140	10
2	46	376	17296	8	368	M75L	47	130	10
3	36	564	20304	12	432	M75L	47	231	10
4	16	636	10176	12	192	M55L	53	231	10
5	11	752	8272	16	176	M75L	47	308	20
TOTAL	308	-	140424	-	2760	-	-	-	-

TABLA 4.4
SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES MACIZO COLOMBIANO
(EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

ITEM	CANTIDAD DE SITIOS	CAPACIDAD SISTEMAS (Wp)	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD MÓDULOS POR SISTEMA	CANTIDAD TOTAL DE MÓDULOS
1	1	159	159	3	3
2	8	212	1696	4	24
3	14	265	3710	5	70
4	13	318	4134	6	78
5	14	424	5936	8	112
6	30	530	15900	10	300
7	10	583	5830	11	110
8	151	636	96036	12	1812
9	35	689	24115	13	455
10	4	742	2968	14	56
11	5	848	4240	16	80
12	9	1060	9520	20	180
13	2	1082	2164	21	42
14	2	2438	4876	46	92
15	1	3922	3922	74	74
TOTAL	299		185206	264	3488

- Territorios Nacionales Zona Norte: Este proyecto que comprende instalaciones en los departamentos de Arauca y Casanare fue adjudicado a la empresa francesa TRT. Se benefician 268 sitios con una potencia total instalada de 96900 Wp con 2423 módulos

fotovoltaicos marca PHOTOWATT tipo PBX 4740 de 40 Wp cada uno. Se utilizan además reguladores PWR 1024 40M24 y baterías marca OLDHAM. En la **tabla 4.5** se resume información sobre este proyecto.

TABLA 4.5
SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES TERRITORIOS NACIONALES ZONA NORTE (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

ITEM	CANTIDAD DE SITIOS	CAPACIDAD SISTEMAS (Wp)	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD MÓDULOS POR SISTEMA	CANTIDAD TOTAL DE MÓDULOS
1	53	240	12700	-	318
2	96	320	30720	-	768
3	44	400	17600	1	440
4	11	440	4840	1	121
5	45	400	18000	1	450

Continuación tabla 4.5

SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES TERRITORIOS NACIONALES ZONA NORTE (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

ITEM	CANTIDAD DE SITIOS	CAPACIDAD SISTEMAS (Wp)	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD MÓDULOS POR SISTEMA	CANTIDAD TOTAL DE MÓDULOS
6	15	640	9600	1	240
7	1	800	800	2	20
8	3	880	2640	2	66
TOTAL	268	4120	96900	10	2423

- **Programa 100000 Líneas:** Este es un proyecto nuevo adjudicado a SIEMENS con cobertura nacional. Con sistemas fotovoltaicos se atienden 12 sitios instalando una potencia pico de 30488 Wp con 572 módulos SIEMENS de 53 Wp. En los sistemas se instalan reguladores SIEMENS tipo SLR 22 - 48 TP y baterías VARTA. La tabla 4.6 muestra información relacionada con este proyecto.

- **Magdalena Medio:** Este proyecto adjudicado a MITSUI DE COLOMBIA comprende 475 estaciones dentro del Plan Nacional de Telefonía Rural, desarrollado hasta finales del año de 1994. Se tiene conocimiento que se instalaron 160000 Wp para lo cual se utilizaron módulos marca SIEMENS suministrados por la empresa ENERSSIN.

TABLA 4.6

SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PROYECTO DE TELECOMUNICACIONES 100000 LINEAS (EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES)

ITEM	CANTIDAD DE SITIOS	CAPACIDAD SISTEMAS (Wp)	CAPACIDAD TOTAL (Wp)	CANTIDAD MÓDULOS POR SISTEMA	CANTIDAD TOTAL DE MÓDULOS
1	6	1908	11448	36	216
2	2	1792	3564	32	64
3	1	2120	2120	40	40
4	1	2544	2544	48	48
5	1	7420	7420	140	140
6	1	3392	3392	64	64
TOTAL	12	19176	30488	360	572

- **Plan Sabana:** Para este proyecto adjudicado igualmente a la empresa MITSUI se utilizan módulos SIEMENS distribuidos por ENERSSIN, se diseñan y construyen reguladores especiales y se importan equipos para algunas de las estaciones. Se instalan estaciones en Alto de Susa, Cerro Fetibre, Cerro

San Antonio, Alto de Manta, Cerro los Cristales, Páramo de Guasca y Cerro Alegría entre otros.

La **tabla 4.7** muestra un resumen de los proyectos realizados por TELECOM con sistemas fotovoltaicos.

TABLA 4.7

RESUMEN DE PROYECTOS DE TELECOMUNICACIÓN RURAL CON SFV DE LA EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

PROYECTO	PROVEEDOR	CANTIDAD DE SISTEMAS	POTENCIA INSTALADA (kWp)	NÚMERO MÓDULOS
PRIMERA ETAPA	-	847	31,809	1383
CARIBE I	TRT	102	26,460	353
CARIBE II	ALCATEL - ISOFOTON	308	140,424	2760
MACIZO COLOMBIANO	MITSUI - NEC	299	185,206	3488
TERRITORIOS NACIONALES ZONA NORTE	TRT	268	96,900	2423
TERRITORIOS NACIONALES ZONA SUR	NEC	240	150,850	3017
NORTE DE BOLÍVAR	NEC	50	-	-
MAGDALENA MEDIO	MITSUI - NEC	475	160,000	3019
CORDILLERA NORORIENTAL	TRT	714	35,700	-
COSTA PACÍFICA	ALCATEL - ISOFOTON	150	7,500	-
PROGRAMA 100000 LINEAS	SIEMENS	12	30,490	572
PLÁN SABANA	MITSUI	-	55,000	-

4.1.1.2 Promigás S.A.

Esta empresa utiliza los SFV para alimentar estaciones repetidoras V.H.F., equipos de radiocomunicaciones y medidores de flujo de gas. Ha instalado un total de 6 kWp en siete proyectos cuyos nombres corresponden a los sitios donde se encuentran los sistemas, los cuales se describen a continuación:

- **Cerro Kennedy:** El sistema fotovoltaico en Cerro Kennedy, municipio de Minca en el departamento del Magdalena, alimenta dos estaciones repetidoras VHF de 100W cada una desde el mes de marzo de 1983, tiempo en que tuvo un costo aproximado de \$3,0 millones. Está conformado por 48 módulos fotovoltaicos marca Arco Solar de 48 Wp, 20 baterías de 180 Ah cada una, las que inicialmente fueron tipo automotrices, pero debido a sus frecuentes descargas se reemplazaron por baterías estacionarias tipo plomo-ácido marcas Alher y Tudor. Cuenta con 4 reguladores de 30 amperios a 12 voltios, los que inicialmente fueron marca Arco Solar siendo reemplazados por los Sun Selector NDR-30 fabricados por Bobier Electronic Inc., debido a sus frecuentes daños por descargas eléctricas.

La empresa proveedora de los sistemas es Ingevent Ltda, dedicada a importar diferentes equipos.

Los módulos fotovoltaicos hasta el momento no han presentado fallas y se ha detectado que las descargas eléctricas son en su mayoría las causantes de daños en los reguladores y en las propias estaciones repetidoras. A los sistemas se les hace mantenimiento preventivo cada 3 meses y consiste en adicionar agua destilada a las baterías y revisar los reguladores y módulos fotovoltaicos.

- **Cerro La Barra:** Este sistema se encuentra instalado en el municipio San Carlos en el departamento de Córdoba y tiene por objeto alimentar una repetidora VHF de 70 Wp y otra de 25 Wp.

El sistema fue instalado en el mes de noviembre de 1988 con un costo aproximado de \$3,0 millones; está conformado por 12 módulos fotovoltaicos de 48 Wp marca Arco Solar, para una potencia pico instalada de 576 Wp, 4 baterías estacionarias de plomo-ácido de 180 Ah a 12 voltios marca Alher y dos reguladores NDR-30 de

30 amperios a 12 voltios. En este sistema inicialmente se utilizaron baterías MAC, las que fueron reemplazadas un año después por mal funcionamiento por baterías Alher.

El proveedor de los módulos fotovoltaicos y reguladores fue la empresa INNGEVENT LTDA.

- **Cerro La Pita:** Este sistema está ubicado en el Cerro La Pita, municipio Carmen de Bolívar en el departamento de Bolívar. Alimenta una estación repetidora VHF de 70 Wp y otra de 30 Wp desde el mes de mayo de 1989, fecha en que tuvo un costo aproximado de \$2,5 millones. El sistema está conformado por 10 módulos fotovoltaicos marca Arco Solar de 48 Wp cada uno, para una potencia pico instalada de 480 Wp, 4 baterías estacionarias de plomo-ácido a 12 voltios de 180 Ah marca Alher y un regulador NDR-30 de 30 amperios y 12 voltios. El proveedor de los módulos y el regulador fue la empresa Ingevent Ltda. Las baterías fueron suministradas por Baterías Alher.

- **Estación Ballenas:** Este sistema se encuentra instalado en la Estación Ballenas en el municipio El Pájaro, departamento de la Guajira. Alimenta el radio de comunicaciones de la estación de gas natural Ballenas, propiedad de Promigás S.A., y fue instalado en el mes de enero de 1992 con un costo aproximado de \$3,5 millones. Está conformado por 8 módulos fotovoltaicos marca Arco Solar de 48 Wp para una potencia pico instalada de 384 W, 2 baterías estacionarias tipo monobloque de 180 Ah cada una a 12 voltios marca Alher y un regulador NDR-30 de 30 amperios, 12 voltios. Las empresas proveedoras fueron Ingevent Ltda y Baterías Alher.

- **Cerro El Alguacil:** Este sistema se ubica en una reserva indígena del municipio de Pueblo Bello, departamento del Cesar. Alimenta una estación repetidora de 100 W en VHF desde el mes de abril de 1993 con 8 módulos fotovoltaicos de 53 Wp marca Siemens y 10 de la misma potencia marca Solarex, para una potencia pico instalada de 954 W. Los módulos Solarex fueron adicionados al sistema debido al subdimensionamiento inicial del mismo. El sistema cuenta con 2 reguladores NDR-30 de 30 amp. a 12 voltios y 6 baterías estacionarias de 180 Ah marca Alher.

Los módulos fotovoltaicos fueron suministrados por las empresas Gasecol y Solar Center. El proyecto tuvo una inversión inicial de \$8,5 millones.

- **Cerro de Jurisdicciones:** Este sistema alimenta una estación repetidora de 100 W y otra de 35 W en VHF en la vereda Las Marías, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander. Tuvo una inversión inicial de \$17,0 millones y está conformado por 25 módulos fotovoltaicos de 53 Wp marca Solarex para una potencia pico instalada de 1,33 kWp, y 7 baterías estacionarias de placas tubulares con vasos independientes marca Exide de 1210 Ah. La empresa Solar Center suministró los componentes de este sistema.

Promigás S.A. utiliza además sistemas fotovoltaicos en equipos medidores de flujo de gas. Han instalado 25 sistemas SOLARFLOW PLUS modelo 2480 en la Costa Atlántica, alimentados con módulos marca Solarex de 9 Wp a 6 voltios. El módulo carga una batería de 6 voltios y 33 Ah. Estos equipos son marca Daniel y son importados desde los Estados Unidos. Cada equipo completo tiene un costo aproximado de \$5,0 millones.

4.1.1.3 British Petroleum

La B.P. utiliza los sistemas fotovoltaicos especialmente para estaciones repetidoras de microondas en cercanías a las zonas de exploración y explotación de petróleo. Entre sus sistemas alimentados con módulos fotovoltaicos se encuentra una estación repetidora de microondas energizada con módulos Siemens alcanzándose una potencia total pico de 1,0 kW. Los módulos fueron suministrados por la empresa Eneressin en el año 1990.

La empresa Multielectrónica S.A. suministró los componentes y realizó el montaje de una estación de telecomunicaciones para la B.P. en el departamento del Casanare, utilizando para ello 400 módulos fotovoltaicos para una potencia total pico aproximada de 25 kW. Tanto los módulos fotovoltaicos como los otros componentes son marca BP Solar.

4.1.1.4 Hocol

Esta centra sus actividades en el campo petrolero en el departamento del Huila. Ha utilizado los sistemas fotovoltaicos para telecomunicaciones y

para la electrificación de algunos de sus campamentos. Un ejemplo de ello es su utilización en el sistema de alimentación de una estación repetidora de microondas de 1,2 kWp instalada en el año 1989 en Cerro Neiva, límites entre los departamentos del Huila y Caquetá, y el desarrollo de un programa de electrificación para las casetas de seguridad de los campamentos en el municipio de Neiva. Dicho programa se realizó en el año 1992 utilizando módulos fotovoltaicos marca Siemens alcanzando a instalar una potencia pico de 1,0 kW.

4.1.1.5 ELF Aquitaine Colombie

Esta empresa centra sus actividades en el campo petrolero en el departamento del Casanare y ha utilizado los módulos fotovoltaicos para alimentar sistemas de telecomunicaciones. Un ejemplo de ello es la utilización de módulos para alimentar varias estaciones repetidoras de microondas en el año 1988, época en que se instalaron 3,8 kWp con sistemas fotovoltaicos.

4.1.1.6 Texas Petroleum Company

Texaco ha utilizado los sistemas fotovoltaicos para telecomunicaciones. Un ejemplo de ello es su utilización para alimentar una estación repetidora de microondas en el año 1984 con módulos Arco Solar. La potencia pico instalada fue de 1,6 kW.

4.1.1.7 Oxidental de Colombia

Esta empresa ha utilizado los sistemas fotovoltaicos desde el año 1986 para la alimentación energética de 25 estaciones repetidoras de microondas del oleoducto Caño Limón-Coveñas. En ese año se instalaron 78,0 kWp con módulos fotovoltaicos marca Arco Solar suministrados por la empresa Enerssin.

4.1.1.8 Policía Nacional

La Policía Nacional de Colombia utiliza los sistemas fotovoltaicos principalmente para alimentar sus equipos de comunicación. Se ha identificado que en el año 1988 utilizaron módulos Arco Solar para alimentar equipos de comunicación para una potencia pico instalada de 0,8 kWp. En el año 1993 utilizaron módulos marca Siemens para la alimentación de los sistemas de comunicaciones en cuarteles rurales, instalándose una potencia pico de 7,5 kW.

Por seguridad esta entidad prefiere mantener confidencialidad sobre las características y ubicación de los sistemas.

4.1.1.9 Ejército Nacional de Colombia

El Ejército Nacional es otro usuario de los sistemas fotovoltaicos y los utiliza principalmente para alimentar sistemas de comunicaciones por microondas. Sus proveedores principales son las empresas: Enerssin, Multielectrónica S.A. y Energía Integral Andina. Al igual que la Policía Nacional por razones de seguridad la información disponible al respecto es confidencial.

4.1.1.10 Intercor

Esta empresa utiliza sistemas fotovoltaicos para diferentes fines. En el año 1989 utilizó módulos marca Arco Solar para la alimentación energética de un radiofaro en el Cabo de la Vela, departamento de la Guajira. La potencia pico instalada fue de 1,6 kW.

En el año 1992 se utilizaron módulos Siemens para acondicionar y ampliar los radiofaros existentes en el Cabo de la Vela y Casablanca, y alimentar un radiofaro en Puerto Bolívar. En este año se instalaron 5,6 kWp con módulos fotovoltaicos suministrados por la empresa Enerssin.

Intercor utiliza módulos marca Solarex de 10,7 W para alimentar los transmisores del Despachador Automático de Camiones CTD, dentro de La Mina de explotación de carbón. Los módulos con las baterías recargables marca Energy Products de 5 Ah y 12 voltios, fabricadas por Shelley - Ragon Inc., se encuentran en postes ubicados estratégicamente en los cruces de las carreteras. Este sistema envía una señal codificada a los camiones que pasan por los cruces y éstos la envían al computador central para su identificación. Dentro de La Mina existen 32 de estos sistemas.

Esta empresa utiliza además módulos fotovoltaicos para alimentar los sistemas de seguridad ubicados en la vía del tren que transporta carbón desde La mina hasta Puerto Bolívar. Cada sistema instalado en dicha vía está conformado por 2 a 4 módulos de diferentes potencias, las cuales no se pudo establecer.

La **tabla 4.8** resume información sobre otros sistemas de telecomunicaciones alimentados con módulos fotovoltaicos.

4.1.2 Proyectos de Electrificación Rural con SFV

Como se dijo anteriormente se ha clasificado dentro de los proyectos de electrificación rural a los cargadores solares de baterías comunitarios y los realizados dentro de programas de electrificación por entidades del Estado y no gubernamentales.

4.1.2.1 Cargadores Solares de Baterías Comunitarios

El concepto de la Estación Solar Comunitaria se ha

venido aplicando con singular éxito en regiones rurales de la Costa Atlántica colombiana desde el año 1988. Los resultados, a pesar de algunas fallas técnicas en algunos sistemas instalados, han sido satisfactorios por cuanto se ha logrado solventar las necesidades básicas de energía a sectores rurales que no han sido incluidos dentro de los planes de ensanche de las líneas de interconexión eléctrica regional.

TABLA 4.8

OTROS PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES EN COLOMBIA ALIMENTADOS CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EMPRESA	SISTEMAS QUE ALIMENTA	FECHA DE INSTAL.	MARCA DE LOS MÓDULOS	POTENCIA PICO INSTALADA (kW)
CAJA AGRARIA	Red de telecomunicaciones de los territorios nacionales	1984	ARCO SOLAR	4,8
TRANSMIGAN	Estación repetidora de microondas	1985	ARCO SOLAR	0,5
POLICÍA NACIONAL	Equipos de comunicación	1988	ARCO SOLAR	0,8
PNR	Estación repetidora de T.V. en La Macarena - Meta	1990	ARCO SOLAR	0,8
VIDCOM	Estación repetidora de microondas	1990	ARCO SOLAR	0,8
POLICÍA DEL CAQUETÁ	Estaciones de comunicaciones e iluminación	1990	ARCO SOLAR	1
ANDITEL	Estación repetidora	1991	SIEMENS	0,5
WESTERN GEOPHYSICAL	Estaciones de comunicación	1991	SIEMENS	1
CVC	Estación de microondas	1991	SIEMENS	1,5
EXPRESO BOLIVARIANO	Estación repetidora de comunicaciones	1991	SIEMENS	0,8
ELECTRO-SUCRE	Telecomunicación	1991	SOLAREX	0,4
ELECTRO-CESAR	Telecomunicación	1991	SOLAREX	0,4
BANCO DE LA REPUBLICA	Comunicación en la oficinas del Chocó	1992	SIEMENS	2,5
BAYER	Estación repetidora en Cerro Cazadores	1992	SIEMENS	0,8
BANCO POPULAR	Comunicación para seguridad en sucursal de San José del Guaviare	1992	SIEMENS	0,3
SERVICIO DE SALUD DEL RISARALDA	Comunicaciones en Cerro Montezuma (Pereira)	1992	SIEMENS	0,9
TELECOM POPAYÁN	Telecomunicaciones	1993	SOLAREX	4,2
SERVICIO DE SALUD DEL CHOCO	Comunicaciones por microondas	1993	SIEMENS	0,9

El primer cargador solar de baterías fue instalado entre los corregimientos El Lazo-El Rodeo en el departamento de Córdoba, diseñado por ingenieros de Enertech de la Costa, actualmente Solar Center, los cuales se basaron en una idea general sobre estos sistemas dada a conocer en 1988 durante el VI Foro Internacional de Energía Solar efectuado en Berlín, con participación de varios países del mundo, entre ellos Colombia representado por PESENCA. Este sistema fue el primero en su género instalado en América Latina, y ha sido considerado como un aporte de la Costa Atlántica al desarrollo de nuevas tecnologías.

El elemento básico del cargador solar es lo que se ha denominado Módulo Cargador, de modo que un cargador solar comunitario estaría conformado por varios módulos cargadores dependiendo de la carga que hay necesidad de atender. El módulo cargador consta de dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo y de un regulador.

El regulador tiene la función de monitorear la carga de las baterías. Enciende una alarma sonora cuando la batería llega a plena carga, evitando daños por sobrecarga. También acciona la alarma cuando detecta baterías dañadas o con niveles de descarga demasiado profundos.

La función del cargador solar comunitario es brindarle a los usuarios la comodidad de poder recargar las baterías o acumuladores dentro de la misma comunidad, de modo que ya no tendrían que desplazarse a otros lugares, normalmente muy lejanos, a cargar las baterías en cargadores tradicionales de carga rápida.

En la Costa Atlántica colombiana existen aproximadamente 35 cargadores solares de baterías comunitarios para una potencia total cercana a los 14,7 kWp. La gran mayoría de estos sistemas se relacionan en la **tabla 4.9**. Entre estos sistemas se destacan los 10 cargadores instalados en el departamento de la Guajira bajo el Programa de Energización Solar desarrollado por la empresa Interconexión Eléctrica S.A. -ISA- bajo la asesoría de la Fundación PESENCA e instalados por Solar Center. El Programa estuvo orientado a beneficiar a familias de las rancherías indígenas ubicadas en las zonas

adyacentes a la línea de transmisión a 230 kV, Cuestecitas - Majayura (interconexión con Venezuela), que construyó ISA en jurisdicción del municipio de Maicao, departamento de la Guajira. El Programa benefició a las Rancherías Paradero, Río de Janeiro Sector 1, Río de Janeiro Sector 2, Campo Herrera, Urapá, La Jamichera, La Rosita, Pechimaná, La Habana y Alvenido. Se instaló un total de 3,1 kWp suministrados por 62 módulos fotovoltaicos de 50 Wp marca Solarex, beneficiando a 124 familias con un costo total de \$50,0 millones.

4.1.2.2 Centrales Solares

La primera Central Solar en Colombia está siendo instalada en la vereda La Venturosa, municipio de Puerto Carreño en el departamento de Vichada. Beneficia las 10 viviendas que conforman la Vereda, incluyendo además el alumbrado público, el internado, la inspección de policía, el puesto de salud y la casa comunal.

Este proyecto fue adjudicado por el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica ICEL a la empresa Solar Center.

La Central Solar consta de 46 módulos solares marca SOLAREX DE 60 vatios para un total de 2760 vatios picos. Estos cargan un banco de baterías estacionarias tubulares con capacidad de 1060 Amper-horas a 24 voltios. Para generar corriente a 110 voltios, se utilizan 2 inversores TRACE de 1500 vatios c/u y la energía se distribuye a los usuarios a través de una red pública, común y corriente.

Todo el sistema está regulado por una novedosa unidad electrónica INFINITY, que es capaz no solamente de regular la carga, sino también de grabar los datos de generación, consumos y eficiencia, al tiempo que realiza estos datos por medio de un software especialmente desarrollado para eso.

Además ofrece la posibilidad de manejar los datos a control remoto a través de una línea telefónica y un módem. Igualmente por el mismo sistema de Telemetría, se puede intervenir, desde un computador en Solar Center o Icel, en la corrección de fallas, lectura y análisis de datos.

La **figura 4.1** muestra un diagrama general de la Central Solar La Venturosa.

TABLA 4.9
ESTACIONES SOLARES PARA CARGA DE BATERÍAS

LUGAR	DEPART.	NÚMERO USUARIO	CAPAC. (W)	FECHA INST.	COSTO \$1000	EN US\$
EL LAZO Y EL RODEO (1)	Córdoba	90	700	03-88	3752	9078
CABO DE LA VELA	La Guajira	30	1000	05-89	4949	132444
EL CERRITO (PIOJO)	Atlántico	15	400	01-90	3385	7595
BALSAMO (PEDRAZA)	Magdalena	60	700	05-90	6959	14155
LAS PAVITAS (PIÑÓN)	Magdalena	30	300	05-90	3226	6563
MAYAPO (MANAURE)	La Guajira	15	350	12-90	3100	5780
SAN ALBERTO	Cesar	20	400	11-90	2500	4492
CURUMANI	Cesar	20	400	07-90	2500	4866
LA JAGUA	Cesar	20	400	07-90	2500	4866
CHIRIGUANA	Cesar	20	400	07-90	2500	4866
SAN ALBERTO	Cesar	20	400	05-91	3500	5712
CURUMANI	Cesar	20	400	05-91	3500	5712
LA JAGUA	Cesar	20	400	05-91	3500	5712
GUARUMAL	Córdoba	40	600	05-91	8000	18628
CHIRIGUANA	Cesar	20	400	05-91	3500	5712
PAJARITO (LA UNIÓN)	Sucre	63	500	09-91	8557	13122
CERRO ALGUACIL	Cesar	(2)	400	10-91	4686	6922
CERRO LA PICHE	Sucre	(2)	400	11-91	4686	6922
SAN ALBERTO	Cesar	20	400	12-91	4000	5684
CURUMANI	Cesar	20	400	12-91	4000	5684
LA JAGUA	Cesar	20	400	12-91	4000	5684
CHIRIGUANA	Cesar	20	400	12-91	4000	5684
EL REPOSO	Magdalena	20	400	12-91	3800	5400
PARADERO	La Guajira	15	400	04-93	5444	7259
RÍO DE JANEIRO SEC. 2	La Guajira	17	400	05-93	5568	7424
CAMPO HERRERA	La Guajira	8	250	04-93	3360	4480
RÍO DE JANEIRO SEC. 1	La Guajira	20	500	04-93	6883	9177
URAPA	La Guajira	7	200	05-93	2692	3589
LA JAMICHERA	La Guajira	4	100	05-93	1377	1836
LA ROSITA	La Guajira	10	250	05-93	3483	4644
PECHIMANA	La Guajira	24	550	06-93	7735	10313
LA HABANA	La Guajira	12	250	06-93	3606	4808
ALVENIDO	La Guajira	7	200	08-93	2692	3589

* Equipos de Radiocomunicación de CORELCA

4.1.2.3 Sistema Híbrido en Hospital de Nazareth
 Este proyecto consiste en un sistema híbrido demostrativo solar Fotovoltaico - Diesel de 12 kWp en el hospital del corregimiento de Nazareth, Municipio de Uribe, departamento de la Guajira. De la potencia pico total, el 50% es suministrada por plantas Diesel y el restante 50% lo suministran 80 módulos fotovoltaicos marca Siemens de 75 Wp cada uno.

El sistema comprende además un centro de regulación y distribución marca APT, referencia APT5-444, un centro de conversión de potencia de 12 kW marca TRACE, referencia SW 10-24 y un banco de baterías de 2100 Ah de 48 VDC marca FULGOR. La figura 4.2 muestra la configuración de este sistema.

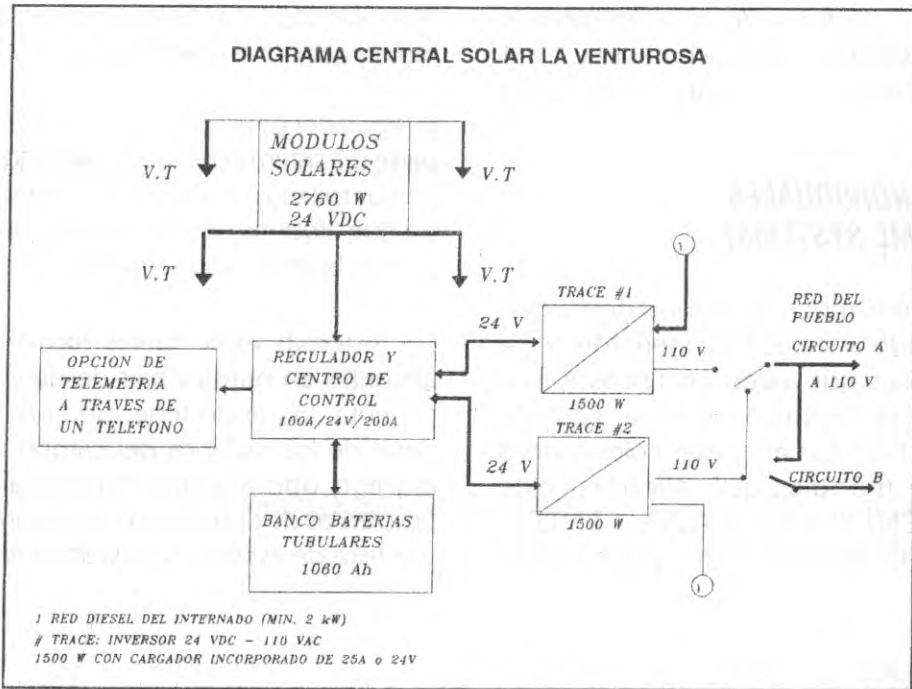


Figura 4.1

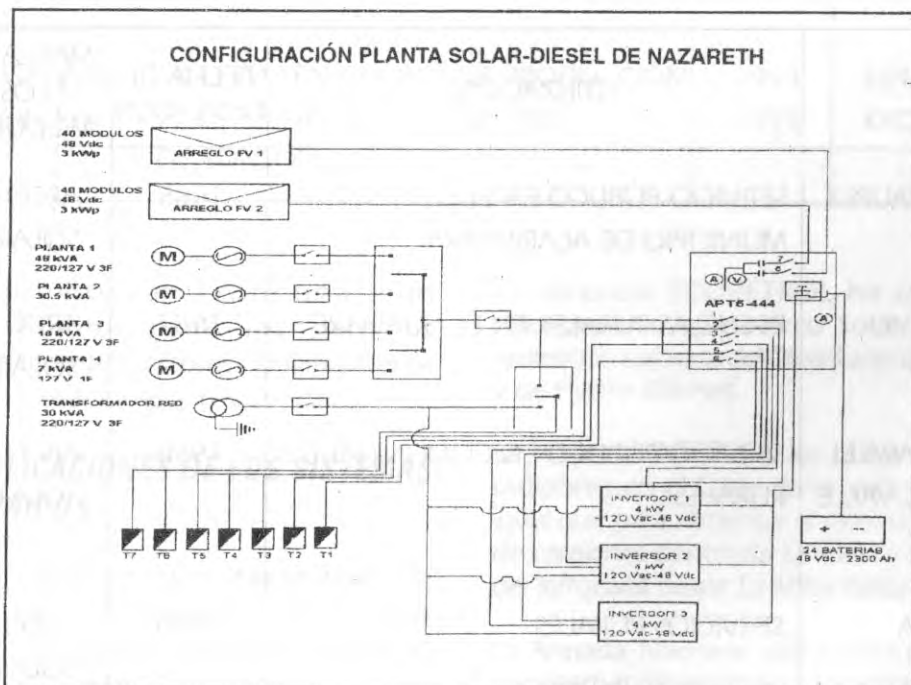


Figura 4.2

4.1.2.4 Otros proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos

Como se mencionó anteriormente, existen sistemas que fueron montados bajo programas de electrificación rural financiados o realizados por entidades en beneficio propio o de comunidades del sector rural. La **tabla 4.10** muestra en resumen de estos proyectos.

En la gran mayoría de estos proyectos se instalan sistemas estándares conformados por un módulo fotovoltaico, una batería, un tomacorriente y 2 a 4 lámparas fluorescentes. Algunos incluyen reguladores.

4.2 SISTEMAS INDIVIDUALES (SOLAR HOME SYSTEMS)

En Colombia existen muchos distribuidores que atienden el mercado al detal. Este mercado en su mayoría son familias que viven en fincas e islas en donde no ha llegado aún la red de interconexión eléctrica. Las empresas colombianas importadoras de módulos que atienden este mercado son ENERSSIN, SOLAR CENTER, EDUARDOÑO, DURESPO S.A. y ENERGÍA

INTEGRAL ANDINA. Esta última está en estos momentos incursionando en este mercado. Cada una de las anteriores empresas cuenta con una red de distribuidores.

En Colombia el sistema fotovoltaico residencial está conformado comúnmente por uno o más módulos, un regulador, una batería que en su mayoría es tipo automotriz, interruptores, tomacorrientes y los consumidores. Estos últimos son principalmente lámparas de 20W, televisores en blanco y negro, radiograbadoras, radioteléfonos y cercas eléctricas.

El regulador es un componente que no siempre hace parte del sistema debido a que algunos son retirados por los mismos usuarios por presentar fallas técnicas y a que algunos distribuidores no lo creen necesario para el buen funcionamiento del sistema.

Los sistemas individuales fotovoltaicos han sido acogidos en nuestro país desde inicios de los años ochenta, logrando tener una gran aceptación por parte de los usuarios del campo debido a su fácil manejo operacional, no obstante presentarse problemas de tipo técnico en algunos componentes y la falta de asesoría y asistencia técnica postventa.

TABLA 4.10
ALGUNOS PROYECTOS DE ELECTRIFICACION RURAL CON FV EN COLOMBIA

ENTIDAD	UTILIZACIÓN	FECHA DE INSTALACIÓN	MARCA DE LOS MÓDULOS	POT. PICO INSTAL. (KW)
COMISARIA DEL VAUPES	SERVICIO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO DE ACARICUARA	1985	ARCO SOLAR	0,80
FONDO EDUCATIVO REGIONAL F.E.R.	ESCUELAS RURALES EN EL GUAVIARE	1987	ARCO SOLAR	5,00
CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL VALLE DEL CAUCA	SERVICIO PÚBLICO EN COMUNIDADES RURALES	1990	ARCO SOLAR	0,50
INDERENA CAUCA	SERVICIOS RURALES	1990	ARCO SOLAR	6,00

Continuación tabla 4.10

ALGUNOS PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL CON FV EN COLOMBIA

ENTIDAD	UTILIZACIÓN	FECHA DE INSTALACIÓN	MARCA DE LOS MÓDULOS	POT. PICO INSTAL. (kW)
PALMERAS DE LA COSTA	MULERIAS EN LOS CAMPOS DE PRODUCCIÓN	1990	ARCO SOLAR	2,50
PALMAS BUCARELIA	MULERIAS EN LOS CAMPOS DE PRODUCCIÓN	1991	ARCO SOLAR	2,00
FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS	ESCUELAS RURALES EN META Y CAQUETA	1991	ARCO	3,00
		1992	SOLAR	3,00
		1993	SIEMENS	1,50
CORPORACIÓN ASESORÍAS PARA EL DESARROLLO «ASDES»	50 FAMILIAS DE GRUPOS COMUNITARIOS EN EL VALLE DEL CAUCA	1991	ARCO	2,60
		1992	SOLAR	2,60
			SIEMENS	
CORPORACIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DEL CAUCA «C.R.C.»	GUARDABOSQUES EN EL CAUCA	1991	ARCO SOLAR	1,50
ORGANIZACIÓN GONAWINDUA	ESCUELAS	1991	SOLAREX	0,35
PALMAS DEL CASANARE ALCALDÍA DE SONSON	MULERÍAS EN CAMPOS DE PRODUCCIÓN 27 ESCUELAS EN EL MUNICIPIO DE SONSON	1993	SIEMENS	1,50
		1995	KYOCERA	1,22

Como se puede observar, existe una gran demanda en Colombia de los sistemas fotovoltaicos en diferentes sectores principalmente en el de telecomunicaciones y residencial.

4.3 OTRAS APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En Colombia los módulos fotovoltaicos también son utilizados para alimentar sistemas de protección catódica de oleoductos, radioayudas y señalización marítima con faros y boyas.

La empresa ECOPETROL ha utilizado módulos fotovoltaicos marca Arco Solar para sistemas de protección catódica del Oleoducto de Barrancabermeja y de Puerto Wilches.

La empresa INTERCOR los utiliza para alimentar los radiofaros en el Cabo de la Vela y Puerto Bolívar, al igual que para alimentar el sistema de control de flujo de camiones dentro de La Mina y seguridad en la vía del ferrocarril desde La Mina hasta Puerto Bolívar.

La Armada Nacional utiliza módulos para alimentar sus sistemas de señalización marítima en faros y boyas.

4.4 DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS A NIVEL NACIONAL

Se puede afirmar que los sistemas fotovoltaicos se encuentran distribuidos en todo el territorio nacional, ya que en todos los departamentos hay sectores rurales que no son aún atendidos por la red de interconexión eléctrica y existen entidades que prefieren estos sistemas por sus bajos gastos de mantenimiento. La **tabla 4.11** muestra un resumen de las características de algunos de los sistemas mencionados.

Los sistemas de la Armada Nacional de Barranquilla, están bajo el cargo de Señalización Marítima de Barranquilla-SEMAB-, los cuales tienen como función prevenir y controlar la navegación entre Bocas de Cenizas y el Terminal Marítimo del Puerto de

Barranquilla. En estos sistemas utilizan baterías marca DELCO, EXIDE y VIVA. Han probado con varias marcas ya que han tenido problemas de descargas y daños frecuentes.

Por lo anterior y debido a la negativa de algunas empresas para suministrar información, por la no disposición de la misma, no ha sido posible presentar la información en forma cuantitativa de la distribución en el país.

No obstante se logró identificar en forma cualitativa en qué departamentos existe poca o mucha concentración de módulos y sistemas fotovoltaicos. La anterior información se presenta en la **tabla 4.12**, la cual es producto del análisis de la información suministrada por algunas empresas a través de un formato muy parecido a la misma tabla.

TABLA 4.11
CARACTERÍSTICAS DE OTROS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN COLOMBIA

ENTIDAD	UTILIZACIÓN DEL SISTEMA	MARCA DE LOS MÓDULOS	No. MÓDULOS	POTENCIA MÓDULOS (Wp)	POT. PICO INSTALACIÓN (kW)	FECHA DE INSTALACIÓN
ECOPETROL	PROTECCIÓN CATÓDICA OLEODUCTO DE BARRANQUILLA CABERMEJA	ARCO SOLAR	-	-	0,800	1985
ECOPETROL	PROTECCIÓN CATÓDICA OLEODUCTO DE PUERTO WILCHES	ARCO SOLAR	-	-	2,600	1985
INTERCOR	RADIOFARO EN EL CABO DE LA VELA	ARCO SOLAR	-	-	1,600	1989
INTERCOR	RADIOFARO EN PUERTO BOLÍVAR	SIEMENS	-	-	2,400	1992
INTERCOR	DESPACHADOR AUTOMÁTICO DE CAMIONES DE LA MINA	SOLAREX	32	10,7	0,340	-
ARMADA NACIONAL	ALIMENTACIÓN DE 4 BOYAS	SOLAREX	4	18,0	0,072	1994
	ALIMENTACIÓN DE 1 FARO	SOLAREX	1	40,0	0,040	1993
BQUILLA (SEMAB)	ALIMENTACIÓN DE 4 FAROS	SOLAREX	4	30,0	0,120	1994
	ALIMENTACIÓN DE 4 FAROS	SOLAREX	4	60,0	0,240	1993
	ALIMENTACIÓN DE 9 FARILLOS	SOLAREX	9	10,0	0,090	1994

En la tabla se puede observar que existe una marcada mayor concentración de sistemas fotovoltaicos en la Costa Atlántica y en los Llanos Orientales, debido tal vez a que es donde se encuentran más sitios en las zonas rurales que aún no son beneficiados con el servicio de energía eléctrica.

A pesar de la gran demanda existente, la incursión de grupos guerrilleros y otros en las áreas rurales afectan en forma notoria el mercado de los sistemas fotovoltaicos, principalmente el de los sistemas individuales.

TABLA 4.12
DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS Y PROYECTOS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

DEPARTAMENTO	DISTRIBUCIÓN	
	POCA	MUCHA
AMAZONAS	X	
ANTIOQUIA		X
ARAUCA	X	
ATLANTICO	X	
BOLÍVAR		X
BOYACÁ	X	
CALDAS	X	
CAQUETÁ		X
CASANARE		X
CAUCA	X	
CESAR		X
CHOCÓ	X	
CÓRDOBA		X
CUNDINAMARCA	X	
GUAINIA	X	
GUAJIRA		X
GUAVIARE	X	
HUILA	X	
MAGDALENA		X
META		X
NARIÑO	X	
NORTE DE SANTANDER		X
PUTUMAYO	X	
QUINDÍO	X	
RISARALDA	X	
SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA	X	
SANTANDER	X	
SUCRE		X
TOLIMA	X	
VALLE DEL CAUCA		X
VAUPÉS	X	
VICHADA	X	

POCA = ZONA DE POCA DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS
MUCHA = ZONA DE ALTA DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS

ESTIMACIÓN DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA

El suministro de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos se estableció con base en las potencias picos instaladas en los proyectos y sistemas y en la radiación solar promedio en los sitios en donde se encuentran instalados.

Realmente el suministro de energía eléctrica es la demanda en kWh por día establecida a partir de la siguiente ecuación de diseño de sistemas fotovoltaicos:

$$P_p = 1,1 \frac{W_{et}}{W_r \cdot n_b \cdot n_m \cdot n_r} \cdot 1 \frac{KW}{m^2}$$

Donde:

P_p = Potencia pico instalada

W_{et} = Demanda de energía eléctrica en kWh por día

W_r = Radiación solar del sitio en kWh/m² por día

n_b = Eficiencia de la batería (80%)

n_m = Eficiencia de transmisión (95%)

n_r = Eficiencia del regulador (95%)

Con base en el caso de sistemas fotovoltaicos expuesto en el capítulo 2 y en la información resumida en el capítulo 4 se establece el suministro aproximado de energía eléctrica con el uso de los sistemas fotovoltaicos para los diferentes sectores.

Las **tablas 5.1, 5.2 y 5.3** muestran un resumen del suministro de energía eléctrica a través de SFV por cada una de las aplicaciones que se le dan a estos sistemas a nivel nacional.

TABLA 5.1
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SFV EN PROYECTOS DE **TELECOMUNICACIONES**

EMPRESA	PROYECTO	POT. PICO INSTALADA (KWP)	SUMINISTRO DE ENERGÍA (KWh/día)
EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CARIBE II	PRIMERA ETAPA	31,809	89,95
	CARIBE I	26,46	89,37
	140,424	506,93	
	ARAUCA-CASANARE	96,9	318,01
	PUTUMAYO-CAQUETÁ	150,85	
	NORTE DE BOLÍVAR	2,5	8,61
	MAGDALENA MEDIO	160	498,84
	CORDILLERA NORORIENTAL	35,7	111,3
	COSTA PACÍFICA	7,5	21,54
	MACIZO COLOMBIANO	185,206	547,03
	PLAN SABANA	55	162,45
	100.000 LINEAS	30,49	95,06

Continuación tabla 5.1

SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SFV EN PROYECTOS DE **TELECOMUNICACIONES**

EMPRESA	PROYECTO	POT. PICO INSTALADA (KWP)	SUMINISTRO DE ENERGÍA (KWh/día)
PROMIGÁS S.A.	-	6	21,17
BRITISH PETROLEUM	CASANARE	26	85,33
HOCOL	HUILA	2,2	6,5
ELF AQUITAINE COLOMBIE	CASANARE	3,8	12,47
TEXAS PETROLEUM COMPANY	-	1,6	4,94
OXIDENTAL DE COLOMBIA	CAÑO LIMÓN - COVEÑAS	78	255,98
POLICÍA NACIONAL	-	8,300	24,52
INTERCOR	RADIOFAROS Y OTROS	7,540	27,84
CAJA AGRARIA	-	4,800	14,18
TRANSMIGAN	-	0,500	1,48
PNR	MACARENA	0,800	2,49
VIDCOM	-	0,800	2,36
POLICÍA CAQUETÁ	CAQUETÁ	1,000	2,95
ANDITEL	-	0,500	1,48
WESTERN GEOPHYSICAL	-	1,000	2,95
CVC	-	1,500	4,18
TELECOM POPAYÁN	POPAYÁN	4,200	11,72
TOTAL	1071,38	3364,81	

TABLA 5.2

SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SFV A TRAVÉS DE PROYECTOS Y PROGRAMAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

EMPRESA O ENTIDAD	APLICACIÓN	POTENCIA PICO INSTALADA (KWP)	SUMINISTRO DE ENERGÍA (KWh/DIA)
ISA	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	3,100	11,191
CORELCA	ESTACIÓN DE CARGA	0,800	2,822
COMUNIDADES EN CÓRDOBA	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	1,300	4,266
COMUNIDADES EN LA GUAJIRA	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	1,350	4,984

Continuación tabla 5.2

SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON SFV A TRAVÉS DE PROYECTOS Y PROGRAMAS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

EMPRESA O ENTIDAD	APLICACIÓN	POTENCIA PICO INSTALADA (kWp)	SUMINISTRO DE ENERGÍA (kWh/DÍA)
COMUNIDADES EN EL ATLÁNTICO	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	0,400	1,378
COMUNIDADES EN MAGDALENA	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	1,400	4,939
COMUNIDADES EN CESAR	CARGADORES DE BATERÍA COMUNITARIOS	5,200	18,772
COMUNIDADES EN SUCRE	CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS	0,900	3,027
ICEL	CENTRAL SOLAR	2,760	9,284
INEA	SISTEMA HÍBRIDO	6,000	22,152
INDERENA CAUCA	SERVICIO RURAL	6,000	20,675
FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS	ESCUELAS RURALES	7,500	22,152
ASDES	FAMILIAS DEL VALLE DEL CAUCA	5,200	18,772
C.R.C.	MULERÍAS	1,500	4,184
PALMAS DEL CASANARE	ESCUELAS	1,500	4,677
ALCALDÍA SONSON	MULERÍAS	1,220	3,804
PALMERAS DE LA COSTA	MULERÍAS	2,500	8,820
FER	ESCUELAS	5,000	15,178
OTROS	-	4,770	14,089
TOTAL	58,400	195,166	

TABLA 5.3
 SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON OTROS
 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

EMPRESA O ENTIDAD	APLICACIÓN	POTENCIA PICO INSTALADA (kWp)	SUMINISTRO DE ENERGÍA (kWh/DÍA)
ECOPETROL	PROTECCIÓN CATÓDICA	3,40	10,98
INTERCOR	RADIOFAROS Y OTROS	4,34	16,02
ARMADA NACIONAL	SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA	0,56	1,920
POBLACIÓN NACIONAL	SISTEMAS INDIVIDUALES	915,92	2945,76
TOTAL		924,22	2974,68

De las tablas anteriores se establece que en Colombia con una potencia eléctrica instalada de 2054 kWp, se genera aproximadamente 2385,15 MWh/año con sistema fotovoltaicos. De este total, el 51,49% corresponde a generación por sistemas de telecomunicaciones, siendo el mayor usuario la Empresa Nacional Telecomunicaciones alcanzando a generar con sus sistemas el 85,66% del total

generado para esta aplicación por sus Programa de Telefonía Rural.

Si esta energía tuviera que ser suministrada por el sistema eléctrico colombiano teniendo en cuenta las pérdidas del 22% en transmisión, habría necesidad de disponer del 12,59% del embalse de Playas, propiedad de Empresas Públicas de Medellín.

EVALUACIÓN «IN SITU» DE LOS SFV COMERCIALIZADOS EN EL PAÍS

Las evaluaciones a nivel de campo de los sistemas fotovoltaicos comercializados en Colombia permitieron establecer las características de los sistemas y sus componentes, la magnitud de las potencias instaladas y la energía generada, el funcionamiento, el origen de las fallas presentadas, permitieron además, definir la tendencia sobre el dimensionamiento de los diferentes sistemas. También se hizo la evaluación técnica de los componentes y del respectivo sistema como tal y se estableció el grado de aceptación de esta tecnología por parte de los usuarios.

Como es bien sabido, el dimensionamiento de la muestra y la evaluación de la misma se hace con base en el número exacto de sistemas fotovoltaicos instalados en el país y en la distribución a nivel nacional que tengan dichos sistemas. No obstante, para el caso que nos ocupa, por no disponer de la cantidad exacta de los sistemas instalados, dada la muy discreta información suministrada por algunos distribuidores y la negativa de muchos otros para colaborar con este estudio, se optó por realizar las evaluaciones basados en el censo de los módulos fotovoltaicos distribuidos para uso residencial o individual y el número de cargadores solares de baterías comunitarios.

Para el caso de los sistemas de telecomunicaciones, a pesar de haber identificado muchos, no se pudieron evaluar técnicamente dada la imposibilidad de acceso por el estricto control que tienen sobre ellos las empresas y entidades que los utilizan.

La negativa de las empresas para permitirnos la evaluación de los sistemas se fundamenta en que el funcionamiento de ellos es vital para sus operaciones de modo que no toleran interrupciones si no las estrictamente necesarias para el mantenimiento

preventivo o correctivo practicado por el propio personal entrenado y autorizado, y durante períodos estrictamente definidos.

La estimación del tamaño de la muestra se estableció con base en las condiciones críticas, es decir, suponiendo que se desconocía la probabilidad de que los sistemas instalados estuvieran en buen estado o estuviesen bien o mal dimensionados, con el objeto de realizar el mayor número de evaluaciones a nivel de campo. Lo anterior se logró partiendo de un muestreo proporcional con probabilidades del 50% (valores máximos) de que el evento ocurriese o no ocurriese.

Trabajando con un intervalo de confianza del 95%, el tamaño de la muestra se estableció con base en la siguiente ecuación para datos finitos:

$$n = \frac{4 P Q N}{e^2 (N-1) + 4 P Q}$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra
- P = Probabilidad de que el evento ocurra (50%)
- Q = Probabilidad de que el evento no ocurra (50%)
- e = Error permitido (5% para este caso)
- N = Tamaño de la población
- (N-1) = Factor de corrección por finitud

Con base en lo anterior y en el censo establecido en la **tabla 2.2** del capítulo dos, se calcula que para el total de módulos instalados en electrificación rural, el tamaño de la muestra es de 392 módulos. Hay necesidad en este punto de aclarar que no fue posible definir la muestra sobre el universo de sistemas (se llama así a los diferentes arreglos que existan con módulos solares) a causa de que no se pudo establecer la cantidad exacta de sistemas

individuales instalados en el país ya que ni las mismas empresas distribuidoras disponen de esta información. Además, la mayoría de sistemas identificados en telecomunicaciones, por ejemplo, no pudo evaluarse por las razones antes expuestas.

Debido a que la mayoría de las empresas distribuidoras no proporcionaron información sobre la ubicación de los sistemas instalados por las mismas, se optó por realizar las evaluaciones dando prioridad a las zonas donde hay mayor distribución de acuerdo con lo expuesto en la **tabla 4.12** del capítulo cinco. Para el caso de los cargadores solares comunitarios, como quiera que se tiene conocimiento de que éstos se encuentran instalados en la Costa Atlántica y dado que se ha participado en la instalación y seguimiento de la mayoría de ellos, detectando las fallas más frecuentes y sus causas, se estableció el tamaño de la muestra evaluada en 17 cargadores, de los 40 instalados, con un P del 98% y un Q del 0,02%.

6.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA EVALUACIONES DE CAMPO

Las evaluaciones de los sistemas a nivel de campo las realizaron las comisiones evaluadoras que recorrieron gran parte del territorio nacional. Los objetivos principales de éstas fueron: establecer las características técnicas y económicas de los sistemas comercializados en el país, evaluar técnicamente los componentes de los sistemas fotovoltaicos y del conjunto como tal y establecer el grado de aceptación y satisfacción de los usuarios con el uso de esta tecnología.

Las características o especificaciones técnicas se establecieron identificando el tipo y número de módulos fotovoltaicos, así como su marca, potencia pico, número y dimensiones de las celdas. Además se identificó si los sistemas tenían protecciones de seguridad, características y estado de los monitores, reguladores, inversores, baterías y consumidores. A estos últimos se les determinó las horas de uso diario con el objeto de establecer la demanda de energía. La anterior información se recopiló con la ayuda del formato A.

El formato B contiene un cuestionario para los usuarios cuyo fin es captar el grado de aceptación y

satisfacción de los usuarios con el sistema, además de establecer el grado de asistencia técnica postventa.

Con el formato C se persiguió establecer la oferta energética en el lugar, la demanda real y los parámetros necesarios para determinar la eficiencia tanto de cada uno de los componentes como del sistema total.

La metodología empleada para la evaluación técnica del sistema a nivel de campo es la siguiente:

La eficiencia de los módulos fotovoltaicos, reguladores, monitores y la eficiencia de transmisión se estableció a partir de su definición general dada como la relación entre la potencia de salida y la de entrada, la diferencia con 100% indica las pérdidas de potencia, que generalmente se manifiestan con la disipación de calor a través de los componentes.

-Eficiencia de los módulos fotovoltaicos (n_{mf}):

$$n_{mf} = \frac{I_{ac} \cdot V_{ca}}{W_E \cdot A_f}$$

Donde:

I_{cc} = Corriente de corto circuito

V_{ca} = Voltaje en circuito abierto

W_r = Radiación solar (W/m^2)

A_f = Área de incidencia (m^2).

= Área de cada celda x No. celdas x No. de módulos

Esta eficiencia fue corregida multiplicándola por un factor de corrección por temperatura. Dicho factor se estableció con base en la temperatura de la superficie del módulo y en el concepto de que al incrementar la temperatura del módulo a partir de los 25°C su eficiencia baja aproximadamente 0,4%/°C.

-Eficiencia de los reguladores (n_r)

$$n_r = n_{rab} \cdot n_{rbc}$$

Donde:

n_{rmb} = Eficiencia del regulador en el circuito módulo-batería

n_{rbc} = Eficiencia del regulador en el circuito batería consumidores

Esta última se obtuvo desconectando el módulo fotovoltaico con el objeto de simular las condiciones de uso en las noches.

-Eficiencia de transmisión (n_m)

Esta comprende las eficiencias de transmisión en los circuitos módulo-regulador, regulador-batería y regulador-consumidor. Las dos últimas fueron determinadas bajo condiciones a plena carga de acuerdo con las indicaciones de uso dadas por los usuarios. La eficiencia total de transmisión está dada por el producto de las tres.

En la gran mayoría de los sistemas esta eficiencia se obtuvo con base en las mediciones de potencia al inicio y final en cada uno de los tramos, con el objeto que abarcara pérdidas por interruptores, empalmes, etc. No obstante, en el circuito módulo regulador, en donde se dificultaron las mediciones en la salida del módulo, la eficiencia de transmisión se estableció con base en las pérdidas en el cableado, para lo cual se determinaron la longitud y calibre de los cables, la corriente de salida del módulo, la resistencia del cable por unidad de longitud y corrección por temperatura. Estas dos últimas se estimaron a partir de las tablas correspondientes para ello.

-Eficiencia de las baterías

Esta fue imposible de establecer dado que para ello se requieren condiciones muy estables, las cuales se logran sólo a nivel de laboratorio.

- Eficiencia total del sistema (n_{ts})

La eficiencia total está dada por el producto de las eficiencias mencionadas anteriormente, es decir:

$$n_{ts} = n_{mf} \cdot n_r \cdot n_a$$

Para las mediciones de campo se utilizaron los siguientes equipos e implementos:

- 1 radiómetro marca EPPLEY, blanco y negro con constante de calibración $11,95 \times 10^{-6} \text{ Vol/W-m}^2$
- 1 multímetro FLUKE 79, Serie II
- Probador de corriente DC/AC FLUKE 80i-1010 de 1000 Amp. DC

- 1 termómetro digital ESTROTHERM tipo 520

- Escuadra y cinta métrica

- Destornilladores, pinzas y alicates

La tendencia de los dimensionamientos de los sistemas se determinó con base en la oferta y demanda de energía, y la potencia pico instalada con los módulos. Los chequeos se realizaron aplicando la ecuación expuesta en el capítulo seis.

6.2 LIMITACIONES PARA LAS EVALUACIONES A NIVEL DE CAMPO

La siguiente es una relación de las limitaciones y obstáculos encontrados en diferentes zonas del país que impidieron la realización de las evaluaciones de campo de muchos sistemas fotovoltaicos. Como ya se había anotado en los capítulos precedentes, la mayoría de las empresas u organismos del estado como Telecom, Policía Nacional, Ejército, Ecopetrol, etc, por razones propias de seguridad, perfectamente entendibles no permitieron la evaluación técnica de sus respectivos sistemas fotovoltaicos. En el caso particular de Telecom, si bien fueron ubicadas geográficamente las instalaciones, no fue posible evaluarlas dado que ellas se encontraban herméticamente protegidas de modo que solo tiene acceso a ellas el personal estrictamente autorizado por la empresa.

En los demás organismos de seguridad del estado, también por las mismas razones, no fue posible ni siquiera la ubicación geográfica de sus sistemas fotovoltaicos. Las empresas petroleras, argumentando también razones de seguridad fueron también muy herméticas en facilitar la información relacionada en sus sistemas fotovoltaicos. Es por esto que el tamaño de la muestra fue determinado con base en el universo de módulos fotovoltaicos y no con base en el universo de sistemas fotovoltaicos, entendidos estos últimos como arreglos diferentes que pueden hacerse con los módulos fotovoltaicos.

Los departamentos de Antioquia, Risaralda, Quindío, Huila, y Caldas cuentan con un gran cubrimiento

en cuanto a la infraestructura del servicio tradicional de la energía eléctrica, de aquí que los lugares en los que son utilizados los SFV se circunscriben a zonas bastantes alejadas cuyo acceso se dificultó por razones tanto geográficas, de orden público y por causas de prevención por fenómenos naturales. Tal es el caso del Urabá antioqueño o en el caso del departamento de Caldas en el cual no se permitió el acceso a la zona de los páramos (parques naturales) a causa de que éstos se encontraban cerrados por la serie de movimientos telúricos que se concentraron en esa zona. Por esta misma razón, prevención por temblores, no fue posible evaluar los SFV en inmediaciones del volcán Galeras en Nariño. Allí existen sistemas instalados por la sociedad de ganaderos de Nariño y por la Policía Nacional.

En el departamento de Putumayo por razones de orden público no se pudo llegar a los sitios donde se encuentran instalados los SFV, representantes del mismo Ejército nacional le recomendaron a la comisión no llegar a esos lugares declarados como «Zona Roja».

En los departamentos de Caquetá, Guaviare y Casanare dada la excesiva extensión de estos departamentos, las dificultades de acceso, los problemas de orden público como quiera que allí existen los más severos brotes de guerrilla, paramilitarismo y narcotráfico, no pudieron evaluarse tantos sistemas como se hubiese querido. Sin embargo, en el departamento de Meta que adolece también de los mismos problemas que los departamentos anteriores, allí se pudo evaluar un número satisfactorio de instalaciones fotovoltaicas en razón de la alta concentración de sistemas que allí existen. Como dato curioso, en los cuatro últimos departamentos aludidos no se permitía a los miembros de la comisión portar los cuestionarios para anotar allí la información relacionada con las instalaciones evaluadas, este hecho tiene su explicación en el temor manifiesto de las personas de que se les viera en actitud de suministrar información de otro tipo a personas extrañas. Este temor generalizado también influyó en la calidad de la información suministrada por las personas en el sentido que fue excesivamente parca.

6.3 RESULTADO DE LAS EVALUACIONES A NIVEL DE CAMPO

La **tabla 6.1** muestra los resultados de las evaluaciones a nivel de campo de los diferentes tipos de módulos comercializados en el país. Como se puede observar hay una leve tendencia a que los módulos SOLAREX y BP SOLAR tengan eficiencia promedio un poco mayores que los demás. Se observa además que no hay variaciones significativas en las eficiencias de los módulos instalados hace varios años y los instalados recientemente. La **figura 6.1** muestra por marcas la cantidad de módulos fotovoltaicos evaluados a nivel de campo en los sistemas residenciales.

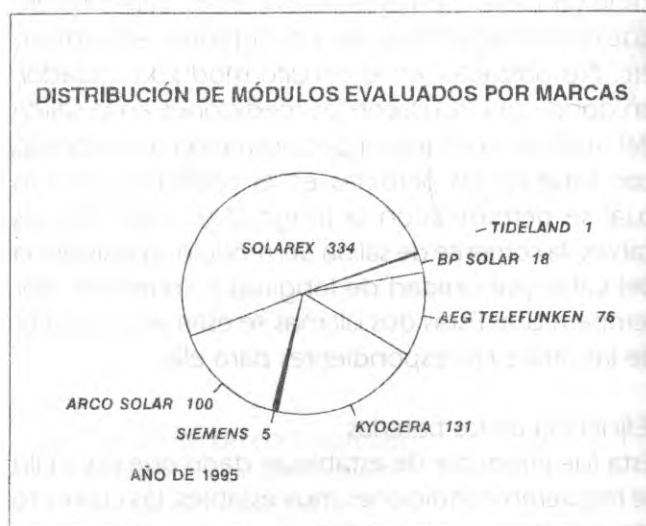


Figura 6.1

Se detectó a nivel de campo que los componentes de los sistemas fotovoltaicos que menos presentan fallas son los módulos generadores de la energía.

La **tabla 6.2** muestra que los reguladores construidos nacionalmente presentan eficiencias mucho menores que las estándares internacionales (95%), las cuales son las utilizadas para los diseños de los sistemas. Se observa además que los reguladores importados, BP solar en este caso, tienen mayores eficiencias que los fabricados en el país.

En la **tabla 6.3** se muestra una relación de los sistemas fotovoltaicos residenciales evaluados a nivel de campo. La **tabla 6.4** presenta los resultados de las evaluaciones de los sistemas comercializados por

las diferentes empresas a nivel nacional. Se observa que la eficiencia total de los sistemas se encuentra entre 9,3% y 11,3%, la cual la afecta principalmente las eficiencias de los reguladores, ya que los módulos fotovoltaicos presentan eficiencias aceptables dentro

de los rangos normales, y las eficiencias de transmisión se encuentran cercanas al valor estándar internacional (95%). Lo anterior refleja la necesidad de fabricar reguladores para estos sistemas muchos más eficientes y de mejor calidad.

TABLA 6.1
EVALUACIÓN TÉCNICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COMERCIALIZADOS EN COLOMBIA

MARCA	NUMERO DE MÓDULOS	EFICIENCIA MÍNIMA (%)	EFICIENCIA MÁXIMA (%)	EFICIENCIA PROMEDIO (%)	EFICIENCIA PROMEDIO SEGÚN FECHAS DE INSTALACIÓN (%)	
					ANTES DE 1990	DESPUÉS DE 1990
SOLAREX	334	9,52	15,77	12,76	12,11	12,86
ARCO SOLAR	100	8,90	14,54	11,45	11,42	11,19
SIEMENS	5	10,20	13,00	11,58	-	12,27
KYOCERA	131	10,08	14,62	11,99	-	12,32
AEG TELEFUNKEN	76	10,10	13,14	11,09	11,23	10,84
BP SOLAR	18	14,03	14,75	14,39	14,03	14,75
TIDELAND	1	11,49	11,49	11,49	-	11,49

TABLA 6.2
EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS REGULADORES Y MONITORES

MARCA	NÚMERO DE REGULADORES	EFICIENCIA MÍNIMA (%)	EFICIENCIA MÁXIMA (%)	EFICIENCIA PROMEDIO (%)
ENERSSIN	42	73,20	89,30	85,22
ENERTECH	26	78,40	90,50	84,57
SOLAR CENTER	29	63,50	97,20	84,93
BP SOLAR	4	85,59	94,80	90,20
CICEL	25	83,08	91,60	87,62

Se observa además que algunas empresas, como es el caso de EDUARDOÑO, no utilizan reguladores en los sistemas instalados, justificando esta situación con la utilización de módulos autorregulados que no requieren de ellos.

La **tabla 6.5** muestra la tendencia del estado de los sistemas fotovoltaicos residenciales instalados en el país. Se puede observar una gran cantidad de

sistemas que no tienen reguladores debido principalmente a dos razones. La primera de ellas es que muchos usuarios optan por retirarlos del sistema debido a fallas técnicas, argumentando además que los sistemas funcionan mucho mejor sin ellos. La segunda razón es, como ya se dijo anteriormente, que algunos distribuidores los consideran innecesarios para el tipo de módulos fotovoltaicos utilizados.

TABLA 6.3 RELACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES EVALUADOS EN COLOMBIA

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	NÚMERO DE SISTEMAS	NÚMERO DE MÓDULOS	MARCA DE LOS MÓDULOS	EMPRESAS PROVEEDORAS
ANTIOQUIA	SONSÓN	4	4	KYOCERA	EDUARDOÑO (TIERRA MAR)
ATLÁNTICO	SABANALARGA	6	6	SOLAREX	SOLAR CENTER
BOLÁVAR	CALAMAR, CARTAGENA, SAN JUAN NEPO, SANTA ROSA	48	142	ARCO SOLAR, BP SOLAR, AEG TELEFUNKEN, SIEMENS, KYOCERA, SOLAREX	ENERSSSIN (MAREMOTO), MULTIELECTRÓNICA, ENERTECH, SOLAR CENTER, CAJA AGRARIA
CALDAS	MANIZALES	1	1	SOLAREX	TECNISOLAR, ENERSSSIN
CAQUETÁ	LA EMERALDA, PAUGIL, PUERTO RICO, SAN VICENTE, VALPARAISO	15	25	AEG TELEFUNKEN, SOLAREX, ARCO SOLAR	
CASANARE	TAURAMENA	2	2	KYOCERA	ENERSSSIN, ENERTECH
CAUCA	MERCADERES, SANTANDER DE QUILICHAO	19	25	ARCO SOLAR, AEG TELEFUNKEN, SOLAREX	
CESAR	BOSCONIA, CODAZZI, LA PAZ, MARIANGOLA, SAN DIEGO, VALLEDUPAR	38	61	ARCO SOLAR, KYOCERA, SOLAREX, SIEMENS	ENERSSSIN, ENERSOL
CORDOBA	MOMIL, MONTERÍA, PLANETA RICA, TIERRALTA	14	13	ARCO SOLAR, SOLAREX	ENERSSSIN, SOLAR CENTER
GUAJIRA	MAICAO, RIOHACHA	5	11	SOLAREX, KYOCERA, AEG TELEFUNKEN	SOLAR CENTER, EDUARDOÑO
GUAVIARE	EL RETORNO, SAN JOSE	6	7	KYOCERA, ARCO SOLAR	CASA MARINA
HUILA	NEIVA	1	1	ARCO SOLAR	ENERSSSIN
MAGDALENA	PEDRAZA	1	1	ARCO SOLAR	ENERGÍA INTEGRAL ANDINA,
META	FUENTE DE ORO, PUERTO LLERAS, PUERTO RICO, SAN MARTIN	49	71	SOLAREX, KYOCERA, AEG TELEFUNKEN	EDUARDOÑO, ENERTECH
NARIÑO	PASTO	8	8	ARCO SOLAR	ENERSSSIN
RISARALDA	BALBOA, MARSELLA	3	5	KYOCERA	ELECTROSOLAR
SUCRE	BUENAVISTA, COROZAL, PALMITO, SAMPUES, SAN PEDRO, SINCE, SINCELEJO, TOLLUMIEJO	14	19	ARCO SOLAR, KYOCERA, AEG TELEFUNKEN	ENERSSSIN, DURESP0
TOLIMA	ROVIRA	2	2	SOLAREX, AEG TELEFUNKEN	HELIOTÉRMICA, ENERTECH, SOLAR CENTER, ETAGRO
VALLE	CALI, VILLA PAZ, YOTOCO	12	15		
TOTAL		248	419		

TABLA 6.4
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN GLOBAL DE LOS SISTEMAS
 FOTOVOLTAICOS COMERCIALIZADOS EN COLOMBIA

EMPRESA PROVEEDORA	EFICIENCIA PROMEDIO DE LOS MÓDULOS (%)	EFICIENCIA PROMEDIO DE LOS REGULADORES (%)	EFICIENCIA PROMEDIO DE TRANSMISIÓN (%)	EFICIENCIA TOTAL PROMEDIO DE LOS SISTEMAS (%)
ENERSSIN	11,52	85,22	91,25	9,52
SOLAR CENTER	12,76	84,93	93,83	11,28
EDUARDOÑO	11,99	-	96,49	10,64
DURESPO S.A	11,99	-	-	-
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA	12,76	87,62	93,50	10,93
MULTIELECTRÓNICA S.A	14,39	90,20	-	-
ENERTECH	11,29	84,57	93,26	9,29

La **tabla 6.5** muestra además porcentajes relativamente altos de reguladores y lámparas dañadas, situación que hace necesaria la investigación en cuanto a utilización de materiales y componentes de mejor calidad o en el mejoramiento de los actualmente utilizados. Vale la pena aclarar que los resultados expuestos son producto de evaluaciones de muestras escogidas al azar.

En la **Tabla 6.6** se muestra el estado de los sistemas residenciales evaluados. Se pudo observar que en algunos departamentos se encuentran algunos sistemas fuera de servicio debido a que en el momento las baterías se encontraron dañadas o a que ya son beneficiados con el servicio de energía eléctrica. Se observa en la tabla la gran tendencia que existe a instalar sistemas sin ningún tipo de

protección contra descargas eléctricas, situación que atenta contra el buen estado de los sistemas conformados por varios módulos y aquellos que son utilizados para mover cercas eléctricas.

Al respecto, se detectó que la mayoría de los sistemas que alimentan cercas eléctricas han sufrido daños por descargas eléctricas en tempestades.

Se encontraron además, como lo muestra la misma tabla 7.6 que existen sistemas subdimensionados, situación que se da más por el uso inadecuado de los consumidores, especialmente por utilizarlo muchas horas, y al incremento del consumo de energía por utilizar bombillos incandescentes a cambio de las lámparas fluorescentes retiradas por mala calidad.

TABLA 6.5
 TENDENCIA DEL ESTADO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES

EMPRESA PROVEEDORA	SISTEMAS SIN REGULADORES (%)	REGULADORES DAÑADOS (%)	LÁMPARAS DAÑADAS (%)
ENERSSIN	28,07	9,80	17,60
EDUARDOÑO	66,67	0	-
ENERTECH	21,43	16,70	28,60
SOLAR CENTER	25,00	11,80	18,50
ENERGÍA INTEGRAL ANDINA	0	0	-
MULTIELECTRÓNICA	0	0	-
SIN DETERMINAR	59,50	8,10	4,04

TABLA 6.6
ESTADO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
INSTALADOS EN EL PAÍS

DEPARTAMENTO	SISTEMAS SIN PROTECCIÓN (%)	SISTEMAS MAL DIMENSIONADOS (%)
ANTIOQUIA	100,0	-
ATLÁNTICO	100,0	-
BOLÍVAR	97,8	4,3
CALDAS	100,0	-
CAQUETÁ	100,0	6,7
CASANARE	100,0	-
CAUCA	100,0	-
CESAR	100,0	7,9
CÓRDOBA	100,0	7,1
GUAJIRA	100,0	20,0
GUAVIARE	100,0	-
MAGDALENA	80,0	-
META	100,0	38,8
NARIÑO	100,0	-
RISARALDA	100,0	-
SUCRE	100,0	-
VALLE	91,7	66,7

La **tabla 6.7** muestra el tipo, marca y estado de las baterías utilizadas a nivel nacional en los sistemas fotovoltaicos. La frecuencia de cambio de las mismas varía entre 1 y 2 años.

Se puede observar que la gran mayoría utilizan baterías automotrices debido principalmente a su

menor costo y a que algunos distribuidores de los sistemas fotovoltaicos, distribuyen las baterías automotrices y las incluyen como parte del sistema vendido al usuario.

A nivel nacional los sistemas fotovoltaicos residenciales son utilizados principalmente para iluminación y en su orden televisión, radio, cercas eléctricas, radioteléfonos, licuadoras y neveras. La **tabla 6.8** confirma lo mencionado anteriormente.

En la **tabla 6.9** se muestra en forma resumida el concepto de los usuarios sobre la tecnología solar fotovoltaica. Se observa el alto porcentaje de satisfacción de la demanda energética de los usuarios a pesar de que algunos manifestaron que los sistemas deberían tener mayores aplicaciones. Se muestra además cómo la mayoría de los usuarios concuerdan que esta tecnología es muy beneficiosa debido a que ahorran dinero y se les mejora las condiciones de vida y trabajo.

Las evaluaciones de campo reflejan claramente la falta de asistencia técnica postventa, lo que hace que se presenten muchos problemas de tipo técnico por falta de entrenamiento del personal. En el departamento del Meta se está realizando en el momento asistencia técnica, pero debido más que todo a que los sistemas han sido financiados y se asesora a los usuarios en la misma visita de cobro de las cuotas de pago.

La gran mayoría de los usuarios sienten la necesidad de que se haga asistencia técnica, se fabriquen consumidores de mejor calidad, principalmente lámparas, se amplíe el mercado de los repuestos de sistemas y se brinde mayor capacitación.

TABLA 6.7
IDENTIFICACIÓN DE BATERÍAS

DEPARTAMENTO	MARCAS	AUTOMOTRICES (%)	ESTACIONARIAS (%)	SIN IDENTIFICACIÓN (%)	BUEN ESTADO (%)
ANTIOQUIA	SOLAR	-	100,0	-	100,0
ATLÁNTICO	TUDOR, AUTOMATIC POWER	-	60,0	40,0	90,0
BOLÍVAR	WILLARD, TUDOR, MAC, SEGURA, GOLDEN, DELCO, VARTA, AMERICANA, MAGNA, BP SOLAR, DEKA, EXIDE	30,6	49,0	20,4	100,0
CAQUETÁ	LAZER, WILLARD, TUDOR, MAC, VARTA, SOLAR	64,7	-	-	100,0
CASANARE	JHOAR	100,0	-	-	100,0
CAUCA	WILLARD	100,0	-	-	100,0
CESAR	WILLARD, MAC, EXIDE, COEXITO, ESBIC	100,0	-	-	100,0
CÓRDOBA	WILLARD, TUDOR, COEXITO, MAC, MAGNA, SOLAR	28,6	71,4	-	100,0
GUAJIRA	WILLARD, TUDOR, FULGOR	40,0	60,0	-	100,0
MAGDALENA	WILLARD, SEGURA	100,0	-	-	50,0
META	COEXITO, ESBIC, DEL LLANO, MAC, WILLARD	100,0	-	-	98,0
NARIÑO	TUDOR, SOLAR	-	87,5	12,5	100,0
RISARALDA	WILLARD, SOLAR	50,0	50,0	-	100,0
SUCRE	MAC, COEXITO, WILLARD, SOLAR, TUDOR	40,0	60,0	-	93,3
VALLE	SOLAR, WILLARD, MAGNA, TUDOR	69,2	30,8	-	100,0

TABLA 6.8
TENDENCIAS DE LAS APLICACIONES DE LOS SFV A NIVEL RESIDENCIAL

DEPARTAMENTO	ILUMINACIÓN (%)	TELEVISIÓN (%)	RADIO (%)	CERCAS ELÉCTRICAS (%)	RADIO-TELÉFONO (%)	OTROS (%)
ANTIOQUIA	100,0	-	-	-	-	-
ATLÁNTICO	70,0	40,0	20,0	-	-	-
BOLÍVAR	89,8	26,0	29,0	6,50	38,9	9,4
CALDAS	-	-	-	100,0	-	-
CAQUETÁ	68,8	31,3	-	-	-	-
CASANARE	33,3	33,3	-	-	-	-
CAUCA	52,6	36,8	5,3	-	-	5,30
CESAR	76,3	34,2	2,6	-	26,3	-
CÓRDOBA	50,0	37,5	18,8	50,0	-	-
GUAJIRA	45,2	9,7	-	-	-	-
GUAVIARE	100,0	83,3	-	-	-	-
MAGDALENA	50,0	-	-	-	-	-
META	100,0	79,6	-	-	-	-
NARIÑO	70,0	50,0	-	20,0	-	-
RISARALDA	66,7	-	-	-	66,7	-
SUCRE	80,0	20,0	6,7	20,0	20,0	-
VALLE	100,0	53,8	-	7,7	-	-



Figura 6.2

La **figura 6.2** resume el estado general de los sistemas fotovoltaicos residenciales evaluados en el país. En la **tabla 6.10** se muestran las causas por las cuales algunos sistemas se encuentran fuera de servicio y funcionando con problemas.

En cuanto a los cargadores de baterías comunitarios alimentados con sistemas fotovoltaicos, se detectó que las fallas se presentan en los reguladores a pesar de tener eficiencias promedio un poco mayores que la de los reguladores de los sistemas residenciales. Las principales fallas que presentan son por daños en los interruptores y frecuentes quemas de los fusibles. La **tabla 6.11** muestra un resumen de las evaluaciones de los mismos, de la cual se deduce que el 39,7% del total de reguladores evaluados se encontraron dañados. Al dañarse los reguladores, muchos usuarios optan por poner

TABLA 6.9 CONCEPTOS DE LOS USUARIOS SOBRE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

DEPARTAMENTO	DEMANDA SATISFECHA (%)	SERVICIO DE ASISTENCIA TÉCNICA POST-VENTA (%)	FALLAS TÉCNICAS (%)	CALIFICACIÓN TECNOLÓGICA (0- 10)	BENEFICIOS Y VENTAJAS OBTENIDAS	RECOMENDACIONES
ANTIOQUIA	75,0	0,0	100,0	9,70	AHORRO DE DINERO Y TIEMPO	H.A.T Y MAYOR CAPACITACIÓN AL USUARIO MAYORES APLICACIONES Y BAJEN COSTOS DE REPUJESTOS H.A.T. Y BAJEN COSTOS
ATLÁNTICO	80,0	16,7	80,0	8,60		
BOLÍVAR	93,0	31,9	100,0	9,41	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	
CALDAS	100,0	0,0	100,0	9,00	AHORRO DE DINERO Y MAYOR SEGURIDAD	
CAQUETÁ	100,0	0,0	100,0	9,82	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T. BAJEN COSTOS Y FABRIQUEN MEJORES LÁMPARAS
CASANARE	100,0	0,0	100,0	9,00	AHORRO DE DINERO	H.A.T
CAUCA	100,0	0,0	87,5	9,30	AHORRO DE DINERO Y NO CONTAMINA	H.A.T
CESAR	100,0	2,8	100,0	9,80	AHORRO DE DINERO, M.N.V,	H.A.T
CÓRDOBA	100,0	6,3	90,9	9,75	MEJORA CONDICIONES DE TRABAJO AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T. BAJEN COSTOS Y MAYOR MERCADO DE REPUJESTOS
GUAJIRA	100,0	20,0	100,0	9,79	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T Y DAR MAYORES APLICACIONES
GUAVIARE	100,0	0,0	100,0	10,00	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T Y FABRIQUEN MEJORES LÁMPARAS
MAGDALENA	100,0	12,5	100,0	10,00		
META	100,0	46,9	100,0	9,65	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T Y FABRIQUEN MEJORES LÁMPARAS
NARIÑO	100,0	0,0	100,0	9,25	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T Y FABRIQUEN MEJORES LÁMPARAS
RISARALDA	100,0	0,0		10,00	AHORRO DE DINERO	
SUCRE	100,0	0,0	100,0	9,47	AHORRO DE DINERO Y M.N.V	H.A.T. MAYOR ENTRENAMIENTO A USUARIOS Y FABRIQUEN MEJORES LÁMPARAS
VALLE	92,3	7,7	100,0	9,69	AHORRO DE DINERO, M.N.V.Y MEJORES CONDICIONES DE TRABAJO	H.A.T

H.A.T : Hagan asistencia técnica
M.N.V : Mejora nivel de vida

TABLA 6.10
ESTADO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EVALUADOS

DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE SISTEMAS	(%)	TOTAL SISTEMAS	TOTAL (%)
1. SISTEMAS FUERA DE SERVICIO	-	-	19	7,80
Interconectados	8	3,30	-	-
Dañado por rayos	1	0,41	-	-
Batería dañada	5	2,00	-	-
No funcionan	5	2,00	-	-
2. SISTEMAS FUNCIONANDO CON PROBLEMAS	-	-	90	36,70
Lámparas dañadas	43	17,60	-	-
Reguladores dañados	12	4,90	-	-
Mal dimensionamiento	35	14,3	-	-
3. FUNCIONANDO BIEN	-	-	139	55,5

TABLA 6.11
EVALUACIONES DE LOS SISTEMAS CARGADORES DE BATERÍAS COMUNITARIOS

DEPARTAMENTO	NÚMERO DE CARGADORES	NÚMERO DE MÓDULOS	MARCA DE MÓDULOS	EFICIENCIA DE MÓDULOS (%)	EFICIENCIA DE REGULADORES (PROMEDIO)	NÚMERO DE REGULADORES	NÚMERO DE REGULADORES DAÑADOS
GUAJIRA	11	87	SOLAREX	13,46	92,24	44	17
MAGDALENA	1	14	KYOCERA	11,34	91,00	7	2
CÓRDOBA	3	48	SOLAREX	10,31	83,00	24	4
SUCRE	1	8	KYOCERA	12,90	-	4	4
ATLÁNTICO	1	8	SOLAREX	9,70	91,9	4	3
TOTAL	17	165				83	30

TABLA 6.12

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES IDENTIFICADOS

DEPARTAMENTO	NÚMERO DE SISTEMAS	NÚMERO DE MÓDULO	MARCA DE MÓDULOS	EFICIENCIA DE MÓDULO (%)	MARCA DE REGULADOR	EFICIENCIA REGULADOR (%)	POTENCIA TOTAL PICO (kWp)
ATLÁNTICO	2	20	ISO FOTON	-	-	-	0,99
GUAJIRA	14	116	ISO FOTON	12,54	-	-	5,56
	1	152	SOLAREX	11,35	SOLAREX	-	9,12
MAGDALENA	1	1	KYOCERA	14,35	EDUARDOÑO	94,2	0,051
	2	16	ISO FOTON	-	-	-	0,80
NARIÑO	2	8	-	-	-	-	-
CAQUETÁ	2	53	KYOCERA	-	-	-	2,862
HUILA	2	58	-	-	-	-	-
TOLIMA	1	26	-	-	-	-	-
CASANARE	4	24	PHOTOWATT	-	-	-	-
BOYACÁ	2	12	PHOTOWATT	-	-	-	-
BOLÍVAR	1	6	PHOTOWATT	-	-	-	-

TABLA 6.13

RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES DE LOS SISTEMAS DE SEÑALIZACIÓN MARÍTIMA DE BARRANQUILLA

MARCA DE MÓDULOS	EFICIENCIA PROMEDIO DE LOS MÓDULOS (%)	MARCA DE REGULADORES	EFICIENCIA PROMEDIO DE REGULADORES (%)	EFICIENCIA PROMEDIO DE TRANSMISIÓN (%)	EFICIENCIA TOTAL PROMEDIO DE LOS SISTEMAS (%)
SOLAREX	13,40	LFVP	72,14	89,58	8,66
TIDELAND	11,48	LFVP	67,82	94,02	7,32

MERCADOS ACTUALES Y OPCIONALES DE LOS SFV

7.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR FOTOVOLTAICO COLOMBIANO

En Colombia no ha existido programa alguno de fomento a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos a nivel nacional. Las experiencias en las diferentes aplicaciones de estos sistemas se han desarrollado y adquirido principalmente en forma independiente de cualquier programa específico continuo para esta actividad. Han existido programas a corto plazo como el Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica PESENA, convenio colombo-alemán con vigencia entre los años 1985 y 1993, que tuvo como principal actividad la difusión y evaluación de alternativas energéticas en la Costa Atlántica colombiana. Además existen algunos programas de investigación en algunas universidades como por ejemplo la Universidad Nacional de Colombia.

La anterior situación ha implicado necesariamente la existencia de empresas privadas que atienden a los usuarios que requieren de este servicio. Por otro lado, no existen en el país normas técnicas estándares que deban cumplir los componentes construidos a nivel nacional con que se pueda controlar la calidad de los mismos. A este respecto es poco con lo que se cuenta, ya que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC sólo cuenta con las normas NTC 2775 sobre terminología y definiciones de los sistemas fotovoltaicos, NTC 2883 sobre requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los módulos fotovoltaicos y la NTC 2959 sobre guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para SFV.

Es obvio que el Gobierno Nacional hasta el momento ha hecho poco, o nada, por incentivar la difusión de esta tecnología que no necesita mucho esfuerzo para mostrar sus bondades y ventajas ante otras alternativas energéticas. Prueba de ello es que esta tecnología no cuenta con incentivos de ninguna

clase como subvenciones y programas crediticios como sí cuenta la interconexión la cual es subvencionada por presupuestos públicos. Esto último deja indiscutiblemente en desventaja la tecnología solar fotovoltaica como alternativa energética a nivel nacional. Lo anterior refleja además y confirma que la planeación nacional no obedece a un esquema de Planeación Energética de Mínimo Costo «PEMICO», donde se plantea que el sector eléctrico para su óptimo desarrollo debe elaborar un pronóstico sobre la demanda futura y las alternativas técnicas, agotando primero la opción de disminuir la demanda haciendo un uso racional de la energía en los diferentes sectores de la economía y posteriormente incrementar la oferta energética.

La actual planeación del sector eléctrico nacional concentra esfuerzos en adaptar la oferta eléctrica a la demanda, lo cual, si se logra, genera altos costos para la economía por infraestructura eléctrica por interconexión y plantas adicionales y altas deudas del sector eléctrico con el sector financiero nacional e internacional. En caso dado de no ser posible adaptar la oferta a la demanda por razones técnicas o financieras habría una demanda insatisfecha, principalmente del sector rural, o necesariamente habría racionamiento eléctrico.

Actualmente existe la creencia ampliamente generalizada de que la instalación de los SFV sólo se justifica económicamente en aquellos lugares extremadamente alejados de los grandes centros de consumo o de las líneas de interconexión regional. Quizá esa creencia ha tenido origen en los albores de la tecnología fotovoltaica, época en que las eficiencias de los incipientes sistemas eran sumamente bajas y los costos realmente excesivos. Sin embargo, con el transcurrir de varios lustros las cosas han estado cambiando aceleradamente. En efecto, hoy las eficiencias de los SFV han mejorado

ostensiblemente y los costos por vatio generado muestran una clara tendencia al declive dado que los desarrollos tecnológicos de esos sistemas han progresado en forma apreciable. La anterior situación se refleja claramente como lo muestra la **figura 1.6**, en la reducción de precios por vatio pico a nivel internacional a partir del año 1980 de aproximadamente \$US 23 a \$US 5 en el año 1994. Aunque esta tendencia no es tan palpable a nivel nacional, por lo que los módulos cada año aumentan de precio, el incremento ha sido inferior a la inflación. En Colombia actualmente el costo del vatio pico oscila entre \$US 9 y \$US 11.

El mercado actual de los SFV no es tan amplio como de verdad debiera ser. Esto es evidente al menos en el campo de la electrificación rural en el que las entidades de planeamiento energético se obstinan en utilizar la alternativa de la energización rural con SFV sólo en las áreas extremadamente alejadas de los centros de consumo y eso en el mejor de los casos.

Da angustia observar cómo las electrificadoras y demás entes de planificación energética siguen en el empeño de utilizar las redes de distribución de energía en localidades rurales, a altos costos de inversión, donde bien pudieran instalarse alternativas solares que a más bajo costo, no solo de inversión sino de mantenimiento, contribuirían con holgura a satisfacer las necesidades básicas de energía en poblaciones rurales relativamente cercanas a los centros de consumo. Estas prácticas van en contravía de lo dispuesto por la reciente Ley Eléctrica, Artículo 16, literal b, mediante el cual se establece que se deben satisfacer los requerimientos energéticos de la población teniendo en cuenta los recursos energéticos existentes, convencionales y no convencionales, según criterios económicos, sociales, tecnológicos y ambientales.

Las necesidades energéticas básicas de las poblaciones rurales bien pueden ser satisfechas mediante la utilización de los recursos energéticos no convencionales como manda la Ley, aún en poblaciones relativamente cercanas a las redes regionales de distribución de energía a unos costos de inversión altamente competitivos frente a la interconexión. Esta afirmación no es gratuita y para comprobarla se hará en este capítulo un análisis

económico utilizando el método de rentabilidad más apropiado para la comparación de varias opciones como es el Método Dinámico de Comparación de Anualidades de Gastos.

En este capítulo se mostrará con valores actuales de costos cuan competitivas son las alternativas solares de energización en el área rural frente a diferentes opciones como son la interconexión, las plantas de gasolina y las plantas Diesel aún para poblaciones cercanas a las líneas de interconexión lo que ampliaría considerablemente el mercado de los SFV en el país.

7.2 AMPLIACIÓN DEL MERCADO DE LOS SFV

Tal como se anotó arriba, no tiene ninguna presentación que a los SFV se los relegue sólo a satisfacer el mercado de las poblaciones situadas geográficamente en sitios extremadamente lejanos. Existen dos razones que combinadas amplían significativamente el área de cubrimiento de los SFV, esas dos razones son:

En primer lugar, la distancia; en efecto, como ya ha quedado dicho en este capítulo, aún las poblaciones que están situadas cerca de las líneas de conducción de energía tradicional pueden perfectamente beneficiarse de los SFV. En otras palabras, la excesiva distancia de las poblaciones aisladas no es condición única para justificar la instalación de esos sistemas.

Segundo, de acuerdo con lo anotado en el capítulo dos, existen al menos tres alternativas de energización mediante SFV en las áreas rurales: Los sistemas individuales, las estaciones solares comunitarias para carga de baterías y las centrales solares. Con cada una de ellas también se amplía el cubrimiento de los SFV. Con cada uno de estos arreglos tecnológicos es perfectamente posible ampliar el abanico de posibilidades de atención a una gran gama de poblaciones rurales.

Por otro lado existe en Colombia un gran mercado para la tecnología solar fotovoltaica en el cual no se ha penetrado o si se ha hecho ha sido poco. Tal es el caso, por ejemplo, de la telefonía celular y de la Aeronáutica Civil. La Aeronáutica Civil ha realizado recientemente dos proyectos con SFV, el primero de ellos se encuentra en la isla Providencia en proceso

de carga; el segundo, está localizado en el cerro El Cabrito, departamento del Magdalena, se utiliza para alimentar a un sistema de microondas.

En relación con la telefonía celular, se tiene conocimiento que a pesar del interés de algunas empresas dedicadas a la prestación de este servicio, solo se han comenzado a instalar algunos SFV que van a ser utilizados para alimentar sistemas de telefonía celular en carreteras.

7.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LOS SFV

La energización de poblaciones rurales puede realizarse mediante la alternativa tradicional del tendido de redes de conducción de electricidad, también puede darse con la utilización de las alternativas aisladas como son las plantas de gasolina y las plantas Diesel o bien puede realizarse mediante la utilización de los SFV en cualquiera de sus tres alternativas tecnológicas que son: los sistemas individuales, las estaciones solares comunitarias para la carga de baterías o las centrales solares de reciente aplicación en el país.

Desde un comienzo la alternativa de los sistemas individuales solares (Solar Home System -SHS-) fueron los más difundidos, muy probablemente porque se pagaban en corto tiempo. Siempre se ha dicho que los sistemas fotovoltaicos reemplazan en los hogares rurales a las velas, las pilas secas, el kerosene utilizado para la iluminación y reduce el costo por carga de baterías, elementos estos comunes también en los hogares rurales. En efecto, en promedio una familia en el área rural utiliza alrededor de 10 velas al mes (\$100 cada

una) precios de hoy, alrededor de 12 pilas grandes al mes para radiograbadora (\$800 cada pila seca), para iluminación con «mechones» utilizan 750 cm³ de kerosene diariamente y sólo para el televisor utilizan las baterías automotrices cuya recarga les cuesta en promedio incluido el transporte \$1000. La frecuencia de carga de baterías es de dos veces al mes. Lo anterior quiere decir que en términos reales los egresos mensuales por usuario por concepto de energía son de \$35.100, esto significa que al año la cifra supera los \$420000. Teniendo en cuenta que un sistema solar individual cuesta aproximadamente \$940000, el costo se amortizaría en menos de tres años.

No obstante, la falta de facilidades de financiación a las que pudieran tener acceso los usuarios rurales influyó negativamente en la utilización masiva de esos sistemas individuales.

Se estudiaron varias alternativas así: Poblaciones con 10, 20, 50 y 100 usuarios localizadas a 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros de distancia de las redes regionales de conducción de energía eléctrica. Para cada uno de los casos se realizó el análisis económico utilizando el método dinámico de comparación de anualidades de gastos, método que consiste en identificar el proyecto de inversión que trabaja a menores costos anuales cuando se trata de comparar proyectos de diferentes vidas útiles como en los casos que nos ocupan. En efecto, una planta solar tiene una vida útil de 20 años, una planta de gasolina escasamente 3 años (4000 horas con una utilización de 4 horas diarias) y una planta Diesel 5 años. En los cuadros siguientes se describen los costos de inversión de cada una de las alternativas estudiadas.

COSTOS SISTEMA INDIVIDUAL (S.H.S.)

CTDAD	DESCRIPCIÓN	VLR UNID.\$	VLR TOTAL \$
1	MÓDULO DE 53 VATIOS	470000	470000
1	BATERÍA ESTACIONARIA Ah	95000	95000
1	REGULADOR NACIONAL	86000	86000
4	LAM. FLUORESC. DE 20W	27000	108000
70	M. DE CABLE DUPLEX	785	55000
1	KIT DE INSTALACIÓN	25000	25000
	INSTALACIÓN	100000	100000
	TOTAL	939000	

ESTACIÓN SOLAR COMUNITARIA PARA CARGA DE BATERÍAS CUATRO USUARIOS

CTDAD	DESCRIPCIÓN	VLR UNID. \$	VLR TOTAL \$
2	MÓDULOS DE 53 VATIOS	470000	940000
4	BATERÍAS	95000	380000
1	REGULADOR RCS	98000	98000
1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	22000	22000
1	KIT DE INSTALACIÓN	25000	25000
8	LAM. FLUORESC. DE 20W	27000	216000
80	Mt. DE CABLE DUPLEX	785	62800
4	KIT DE INSTALACIÓN	20000	80000
	INSTALACIÓN	100000	100000
	TOTAL	1'923800	

CENTRAL SOLAR PARA 20 VIVIENDAS

CTDAD	DESCRIPCIÓN	VLR UNID. \$	VLR TOTAL \$
46	MÓDULOS DE 60 VATIOS	564000	25'944000
1	BANCO BAT. ESTAC. 1060Ah	5'000,000	5'000000
2	INVERSORES 1500 W C/U	1'098000	2'196000
1	UNI. ELECTRÓNICA INFINITY	3'000000	3'000000
	ALUMB. PUB. + INST. DOMCIL.		7'020000
42	LÁMPARAS DE 18 VATIOS	20000	840000
	TOTAL		44'000000

PRECIOS A MAYO DE 1995

Para el análisis económico de las plantas de gasolina y Diesel se tuvieron en cuenta las siguientes suposiciones:

1. Los precios base de los combustibles gasolina corriente y Diesel fueron los fijados para la ciudad

de Barranquilla \$842/gal y \$793/gal respectivamente, incrementados en un 20% por transporte. No se consideraron para ninguna de las dos opciones (Plantas de gasolina y Diesel) los costos por concepto de operador. Tampoco se tuvieron en cuenta las pérdidas técnicas de energía (I²R).

PLANTAS DE GASOLINA Y DIESEL

TIPO DE COMBUSTIBLE	CAPACIDAD (KW)	MARCA	COSTO MILES \$	RENDIMIENTO (LIT/KWh)	VIDA ÚTIL (AÑOS)
GASOLINA	3,5	HONDA	1900	0,6	3
GASOLINA	6,5	HONDA	2800	0,6	3
DIESEL	15,0	OLYMPIAN	9760	0,3	5
DIESEL	30,0	OLYMPIAN	11600	0,3	5

PRECIOS A MAYO DE 1995

2. Para los casos de 10 y 20 usuarios se utilizaron plantas de gasolina de 3,5 y 6,5 kW que se encuentran en el mercado. Ya para potencias mayores se utilizan las plantas Diesel como en los casos de 50 y 100 usuarios.
3. La utilización de las plantas de gasolina y Diesel es sólo de cuatro (4) horas por día, esto significa que durante las restantes 20 horas del día los usuarios no cuentan con el servicio. Esta circunstancia pone en evidencia la desventaja, en cuanto a disponibilidad del servicio, de estos sistemas frente a la interconexión y frente a la alternativa solar.

Para realizar una comparación entre sistemas solares y plantas de gasolina y Diesel en igualdad de condiciones de operación habría dos opciones: La primera sería poner a trabajar las plantas de combustible durante las 24 horas del día cosa que desborda de hecho los límites técnicos de la mismas plantas. La otra opción sería incluir un banco de baterías con inversores para suministrar la energía requerida a 110 volt.

Esta opción incrementaría la capacidad de las plantas consideradas puesto que durante las cuatro horas de operación además de atender la carga instalada deberían también recargar el banco de baterías. Se presentará un análisis económico para esta opción utilizando como datos de entrada los precios del banco de baterías y del inversor de la central solar.

Los costos asociados a las líneas de interconexión son:

- * KILÓMETRO DE LINEA A 13,8 KV $10,5 \times 10^6$ \$
- * KILÓMETRO DE RED SECUNDARIA $9,5 \times 10^6$ \$
- * TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN $0,7 \times 10^6$ \$
- * CARGA POR USUARIO RURAL 0,7 KVAI
- * VIDA ÚTIL DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN 8 AÑOS

El costo del kilómetro de línea a 13,8 KV incluye planificación, diseño, construcción, montaje y

suministro de materiales. Se hace la observación de que este costo se refiere a kilómetro de línea en terreno plano costo evidentemente más barato que el costo unitario en terreno quebrado.

Con base en la información anterior se calcularon los costos de inversión y mantenimiento para electrificar a cuatro grupos de localidades según el número de usuarios, 10, 20, 50 y 100, atendidas cada una de ellas con las cuatro alternativas posibles como son interconexión, sistemas individuales (S.H.S.), estaciones solares comunitarias y central solar. Adicionalmente, para el caso de la interconexión, se calculó también la inversión necesaria para llevar las redes a esas poblaciones bajo el supuesto de que estuviesen situadas a 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros de distancia de las redes de conducción de energía, esto con el objeto de comparar económicamente hasta donde es viable la energización con alternativas solares de comunidades rurales pequeñas situadas a 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros de distancia de las redes.

Se supuso que la venta de energía, para el caso de la interconexión, cubre los costos de generación de la misma. **En sentido estricto, esto no acontece en la realidad puesto que en términos generales las comunidades rurales atendidas con redes eléctricas escasamente pagan el servicio de energía.**

Una vez calculados los costos anuales por el método de comparación de anualidades de gastos (dinámico) se calculó el costo por usuario para cada una de las alternativas. Los resultados de estos cálculos se describen en las **figuras 7.1, 7.2, 7.3 y 7.3'**

En la **figura 7.1** se muestran los costos de inversión y mantenimiento por usuario para cada una de las alternativas estudiadas según número de usuarios, situados éstos a 5 kilómetros de distancia de la red. Se observa que la estación solar es competitiva para un número aproximado de 60 viviendas, lo mismo que lo es la planta Diesel en el rango de las 50 a 100 viviendas, con las limitaciones anotadas arriba.

¹ Es en promedio lo establecido por las electrificadoras para proyectos de electrificación rural. Se llega a este valor porque en el cálculo de la potencia instalada en los hogares rurales se presume la utilización por ejemplo de bombillas incandescentes de 60 vatios en el mejor de los casos.

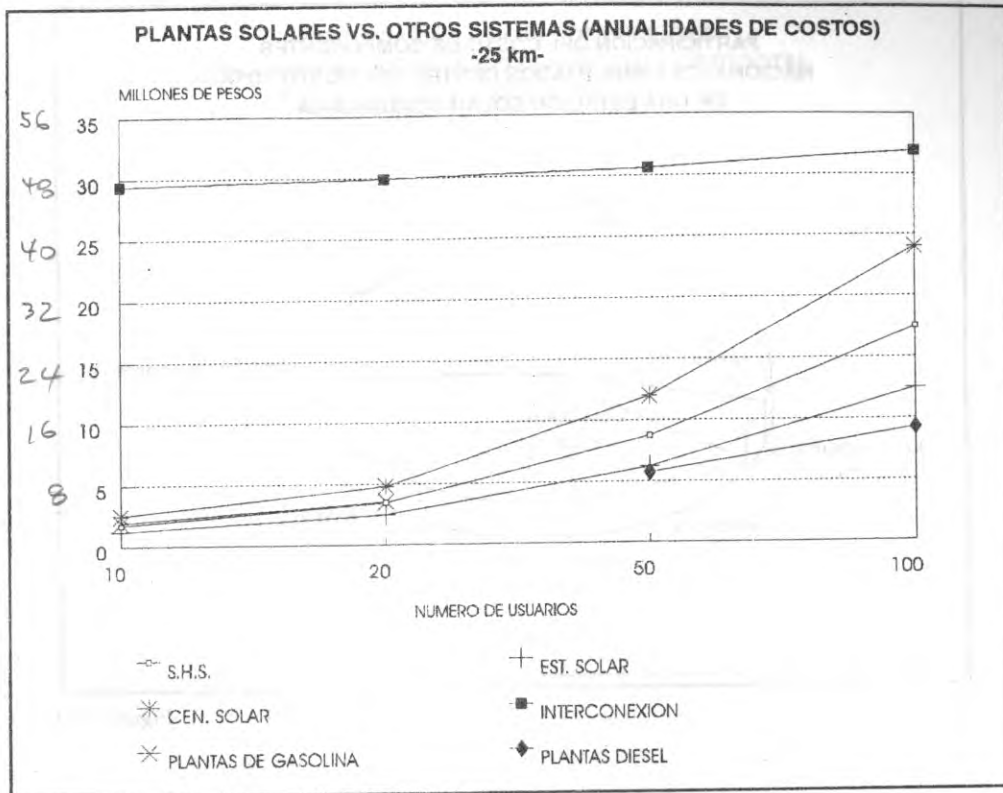


Figura 7.8

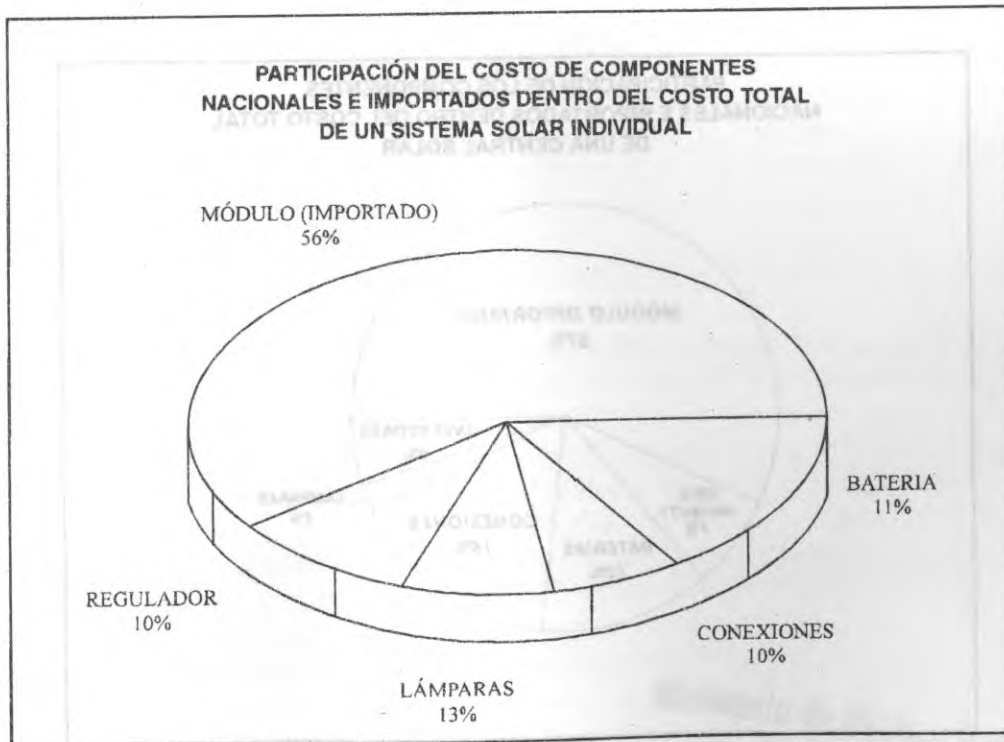


Figura 7.9

**PARTICIPACIÓN DEL COSTO DE COMPONENTES
NACIONALES E IMPORTADOS DENTRO DEL COSTO TOTAL
DE UNA ESTACIÓN SOLAR COMUNITARIA**

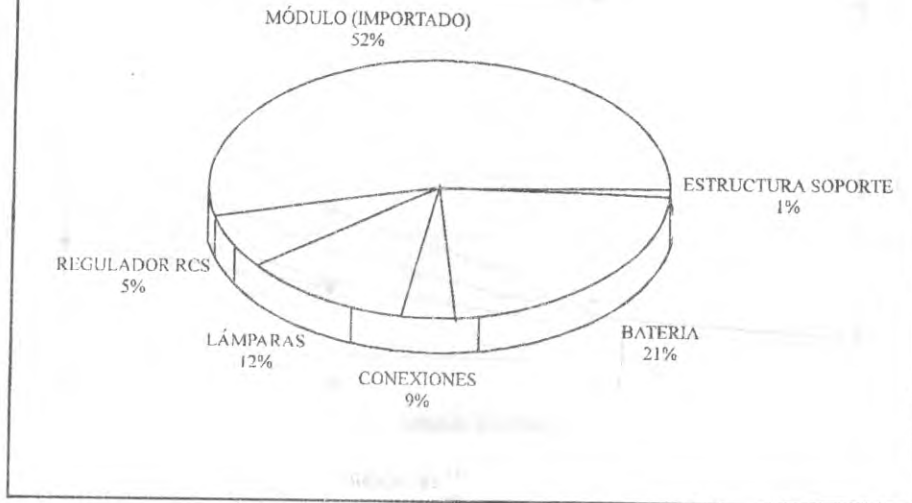


Figura 7.10

**PARTICIPACIÓN DE LOS COMPONENTES
NACIONALES E IMPORTADOS DENTRO DEL COSTO TOTAL
DE UNA CENTRAL SOLAR**

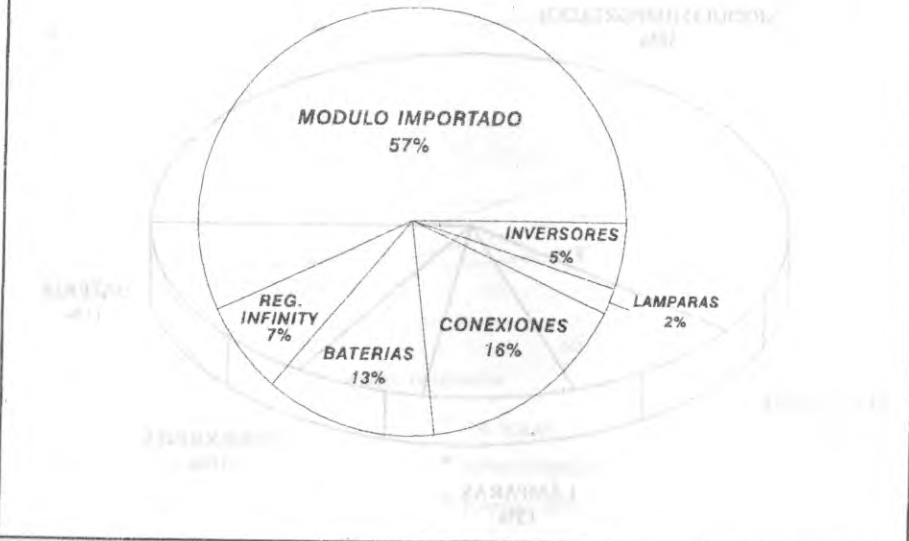


Figura 7.11

**PARTICIPACIÓN DE LOS COMPONENTES
NACIONALES E IMPORTADOS DENTRO DEL COSTO TOTAL
DE UNA CENTRAL SOLAR**



Figura 7.11

Ministerio de Minas y Energía
BIBLIOTECA

RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 RESUMEN

El sol es la fuente de energía más potente con la cual cuenta la humanidad al final del segundo milenio. El sol está irradiando una energía de $3,87 \times 10^{26}$ Joule en cada segundo. Esta energía alcanzaría para abastecer a toda la humanidad durante un millón de años.

Colombia geográficamente se encuentra ubicada en un lugar de privilegio en la zona ecuatorial; es así que con referencia a la energía solar diaria promedio anual máxima a nivel mundial de $6,8 \text{ kWh/m}^2$ en Arabia Saudita, el potencial de Colombia varía entre el 84% en la Guajira y 58% de este valor máximo en la Costa Pacífica, situación que la hace ideal para aprovechar este recurso para obtener energía eléctrica a través de los sistemas fotovoltaicos.

Actualmente en Colombia los sistemas fotovoltaicos alimentan principalmente estaciones repetidoras de microondas y televisión, radiofaros, faros, boyas, sistemas de comunicación rural, servicios de iluminación pública, escuelas rurales, sistemas de protección catódica de oleoductos, iluminación residencial, televisión, radio, cercas eléctricas, pequeñas neveras para vacunas y pequeños sistemas de bombeo de agua.

La difusión de los sistemas fotovoltaicos en Colombia se inició en el año 1979 con la alimentación de sistemas de telecomunicaciones de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones. A finales de 1994, como lo muestra las **figuras 2.1 y 2.2**, con aproximadamente 48499 módulos fotovoltaicos instalados de diversas marcas, alcanzando una potencia pico de 2054 kW, se generan anualmente en promedio unos 2385,15 MWh principalmente en sistemas de telecomunicaciones y residenciales. Si esta energía tuviera que ser suministrada por el sistema eléctrico colombiano teniendo en cuenta las

pérdidas del 22% en transmisión, habría necesidad de disponer del 12,59% del embalse Playas, el más pequeño del país, propiedad de Empresas Públicas de Medellín.

Del total de módulos instalados en el país, aproximadamente el 43,8% se encuentran instalados en sistemas de telecomunicaciones, el 0,2% en sistemas de protección catódica, el 0,3% en sistemas de señalización marítima y radioyudas, y el 42,9% en sistemas de electrificación rural. El 12,8% restante corresponde a sistemas de telecomunicaciones y residenciales, sólo que no fue posible identificar exactamente la cantidad correspondiente a cada uno. En la **tabla 2.2** se desglosa lo dicho anteriormente.

En el país hay instalados principalmente módulos fotovoltaicos marca ARCO SOLAR, SIEMENS, SOLAREX, AEG TELEFUNKEN, KYOCERA, ISOFOTON, BP SOLAR y TIDELAND. Las marcas anteriores corresponden a los nombres de las empresas fabricantes. La **figura 2.4** muestra el grado de penetración en porcentaje de dichas marcas de módulos en el mercado nacional.

Aunque en Colombia en los últimos años ha incrementado la demanda de los módulos fotovoltaicos, el comportamiento de los precios por vatio pico no es el mismo que en los países productores. En ellos, a medida que se ha incrementado a nivel mundial la demanda de los módulos fotovoltaicos, ha aumentado el número de fábricas productoras, lo que ha conllevado a realizar esfuerzos en el campo de la investigación con el objeto de fabricar módulos mucho más eficientes y reducir precios por vatio pico. La anterior situación se refleja claramente, como lo muestra la **figura 2.6**, en la tendencia a bajar los precios por vatiopico a nivel internacional a partir del año 1980 de aproximadamente \$US 23 a \$US 5 en el año 1994.

Actualmente en Colombia existen principalmente seis empresas que importan y distribuyen módulos y componentes de sistemas fotovoltaicos que atienden diferentes mercados. Dichas empresas son: ENERSSIN LTDA, MULTIELECTRÓNICA S.A., ENERGÍA INTEGRAL ANDINA, SOLAR CENTER, DURESCO S.A. y EDUARDOÑO. Ha habido otras empresas que se han desempeñado en este campo y que han desaparecido, tal es el caso de Energía Solar y Tecnología de Aguas «ENERTECH» y COLFOTON S.A..

ENERSSIN es la empresa hasta el momento la más antigua a nivel nacional que labora en el campo solar fotovoltaico y la que ha distribuido mayor número de sistemas para diferentes aplicaciones.

Las empresas anteriores, a excepción de MULTIELECTRÓNICA S.A. que atiende exclusivamente al mercado profesional, atienden el mercado del usuario residencial principalmente a través de redes de distribuidores. ENERSSIN LTDA, ENERGÍA INTEGRAL ANDINA y SOLAR CENTER atienden también el mercado profesional.

Existen otras empresas colombianas que laboran en el campo fotovoltaico pero son distribuidores directos de algunas de las empresas antes mencionadas o fabricantes de algunos de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, tal es el caso de Compañía Central Electrónica CICEL Ltda que fabrica lámparas, balastos, reguladores e inversores, y Granja Providencia que ensambla módulos en forma artesanal. Igualmente existen empresas que distribuyen baterías importadas y de fabricación propia.

En Colombia se pueden clasificar tres grandes grupos destinatarios para los sistemas fotovoltaicos:

El primero de ellos corresponde al sector residencial en el área rural del país. Este sector puede satisfacer, como de hecho se empieza hacer, las necesidades energéticas básicas representadas en iluminación, radio y televisión normalmente ésta en blanco y negro. Este grupo lo conforman las rancherías indígenas y campesinas.

El segundo grupo lo conforman aquellos usuarios que además de disponer de los artefactos anteriores, utilizan los SFV para energizar cercas eléctricas,

radioteléfonos, licuadoras y en general los consumidores que tienen fincas tecnificadas y cabañas turísticas.

El tercer grupo lo conforman empresas y entidades que los utilizan para sistemas de telecomunicaciones, seguridad, protección, señalización y otros.

El mayor usuario en el país de la tecnología solar fotovoltaica en proyectos de telecomunicaciones es la Empresa Nacional de Telecomunicaciones debido a que maneja los diferentes proyectos que contempla el Plan Nacional de Telefonía Rural. La **tabla 4.7** muestra un resumen de estos proyectos. A este usuario le sigue el sector residencial rural que no cuenta aún con la interconexión.

Otros usuarios de la tecnología solar fotovoltaica a nivel nacional son por ejemplo: Promigás S.A., Señalización Marítima de Barranquilla, British Petroleum, Hocol, Elf Aquitaine Colombie, Texas Petroleum Company, Oxidental de Colombia, Policía Nacional, Ejército Nacional, Intercor, Transmigán, Anditel, CVC, Electro-Sucre, Electro Cesar, Banco de la República e ISA, entre otros.

Entre los últimos principales proyectos realizados en el país se encuentra la primera Central Solar y el primersistema híbrido.

La Central Solar está ubicada en la vereda La Venturosa, municipio de Puerto Carreño en el departamento del Vichada. Beneficia las diez viviendas que conforman la Vereda, incluyendo además el alumbrado público, el internado, la inspección de policía, el puesto de salud y la casa comunal. Esta consta de 46 módulos fotovoltaicos marca SOLAREX de 60 vatios para un total de 2,76 kWp. Los módulos cargan un banco de baterías estacionarias de 1060 Ah a 24 voltios. Para generar corriente a 110 voltios se utilizan dos inversores TRACE de 1500 vatios cada uno.

El primer sistema híbrido solar fotovoltaico - Diesel en Colombia es de 12 kWp y se encuentra ubicado en el hospital del corregimiento de Nazareth, municipio de Uribia, departamento de La Guajira. De la potencia pico total, el 50% es suministrada por plantas Diesel y el restante 50% lo suministran 80 módulos fotovoltaicos marca SIEMENS de 75 Wp cada uno.

A pesar de que los sistemas fotovoltaicos son muy utilizados a nivel nacional, el sector fotovoltaico colombiano adolece de problemas que no permiten que haya una mayor difusión de éstos.

Las evaluaciones a nivel de campo de los sistemas fotovoltaicos permitió establecer las características y estado actual de los mismos además de las fortalezas y debilidades del campo fotovoltaico colombiano.

La **tabla 6.1** muestra los resultados de la evaluación técnica de los módulos fotovoltaicos comercializados en Colombia. Como se observa hay una leve tendencia a que los módulos SOLAREX y BP SOLAR tengan eficiencia promedio un poco mayores que los demás. Se observa además que no hay variaciones significativas en las eficiencias de los módulos instalados hace varios años y los instalados recientemente.

La **figura 6.1** muestra por marcas la cantidad de módulos fotovoltaicos evaluados a nivel de campo en los sistemas residenciales. Los módulos son los componentes que menos presentan fallas técnicas.

La **tabla 6.2** muestra que los reguladores contruidos nacionalmente presentan eficiencias mucho menores que las estandares internacionales (95%). Se observa además que los reguladores importados, BP SOLAR en este caso, tienen mayores eficiencias que los fabricados en el país.

En la **tabla 6.3** se muestra una relación de los sistemas fotovoltaicos residenciales evaluados a nivel de campo.

La **tabla 6.4** presenta los resultados de las evaluaciones de los sistemas comercializados por las diferentes empresas a nivel nacional. Se observa que la eficiencia total de los sistemas se encuentra entre 9,3% y 11,3%, la cual la afecta principalmente las eficiencias de los reguladores. Se observa además que algunas empresas, como es el caso de EDUARDOÑO, no utilizan reguladores en los sistemas instalados, justificando esta situación con la utilización de módulos autorregulados que no requieren de ellos.

La **tabla 6.5** muestra la tendencia del estado de los sistemas fotovoltaicos residenciales instalados en el

país. Se confirma en ella la existencia de una gran cantidad de sistemas que no tienen reguladores. Las razones de ello es que muchos usuarios optan por retirarlos del sistema debido a fallas técnicas argumentando además que los sistemas funcionan mucho mejor sin ellos, y, como se dijo anteriormente, algunos distribuidores los consideran innecesarios para el tipo de módulos fotovoltaicos utilizados.

La Tabla muestra además porcentajes relativamente altos de reguladores y lámparas dañadas, situación que hace necesaria la investigación en cuanto a utilización de materiales y componentes de mejor calidad o en el mejoramiento de los actualmente utilizados.

Los daños en las lámparas se deben principalmente a la utilización de balastos de mala calidad. Se ha detectado que hace pocos años los balastos marca CICEL y algunos reguladores para cargadores solares de baterías y plantas individuales fabricados nacionalmente eran de mejor calidad que los fabricados recientemente. Tal situación parece deberse a que los componentes con que se fabrican actualmente son de calidad inferior y a que se ejerce poco control de calidad a las producciones en serie.

En las evaluaciones de campo se estableció que la empresa CICEL ha hecho modificaciones en los balastos producidos en el sentido de utilizar un disipador mayor, con lo que se ha logrado aumentar un poco la vida útil de las lámparas.

Las **tablas 6.6, 6.10** y la **figura 6.2** resumen el estado de los sistemas residenciales evaluados en Colombia. Se observa que en algunos departamentos se encuentran algunos sistemas fuera de servicio debido a que en el momento las baterías se encontraron dañadas o a que ya son beneficiados con el servicio de energía eléctrica. Existe también la tendencia a instalar los sistemas sin ningún tipo de protección contra descargas eléctricas, situación que atenta contra el buen estado de los sistemas conformados por varios módulos y aquéllos que son utilizados para mover cercas eléctricas.

Se encontraron además sistemas subdimensionados, situación que se presenta principalmente por el uso inadecuado de los consumidores, especialmente por utilizarlos muchas horas y al incremento del consumo

de energía por utilizar bombillos incandescentes a cambio de las lámparas fluorescentes retiradas por mala calidad.

En la **tabla 6.9** se muestra en forma resumida el concepto de los usuarios sobre la tecnología solar fotovoltaica. Se observa el alto porcentaje de satisfacción de la demanda energética de los usuarios a pesar de que algunos manifestaron que los sistemas deberían tener mayores aplicaciones. Se muestra además cómo la mayoría de los usuarios concuerdan que esta tecnología es muy beneficiosa, a pesar de los aún altos costos de inversión, debido a que ahorran dinero y se les mejora las condiciones de vida y trabajo.

La gran mayoría de los usuarios sienten la necesidad de que se haga asistencia técnica postventa, se fabriquen consumidores de mejor calidad, principalmente lámparas, se amplíe el mercado de los repuestos y se brinde mayor capacitación.

En cuanto a los cargadores de baterías comunitarios alimentados con sistemas fotovoltaicos, se detectó que las fallas se presentan en los reguladores a pesar de tener eficiencias promedio un poco mayores que la de los reguladores de los sistemas residenciales. Las principales fallas que presentan son por daños en los interruptores y frecuentes quemas de los fusibles. La **tabla 6.11** muestra un resumen de las evaluaciones de los mismos, de la cual se deduce que el 39,7% del total de los reguladores evaluados se encontraron dañados.

En relación con los sistemas de telecomunicaciones, como se explicó repetidas veces en el informe, por múltiples razones, entre ellas por seguridad, no se permitió una evaluación completa de los mismos y muchos de ellos sólo se lograron observar de lejos. No obstante, como lo muestra la **tabla 6.12**, se lograron estos sistemas evaluar 116 módulos marca ISOFOTON, 152 módulos SOLAREX y 1 marca KYOCERA. La Tabla muestra además que se visitaron múltiples sistemas en diferentes Departamentos del país.

La **tabla 6.13** resume los resultados de las evaluaciones de algunos sistemas de señalización marítima.

La energización de poblaciones rurales en Colombia puede realizarse mediante la alternativa tradicional del tendido de redes de conducción de electricidad, también puede darse con la utilización de las alternativas aisladas como son las plantas de gasolina y las plantas Diesel o bien puede realizarse mediante la utilización de los SFV en cualquiera de sus tres alternativas tecnológicas que son: los sistemas individuales, las estaciones solares comunitarias para la carga de baterías o las centrales solares de reciente aplicación en el país.

Con base en los costos de inversión y mantenimiento para electrificar a cuatro grupos de localidades según el número de usuarios, 10, 20, 50 y 100, atendidas cada una de ellas con las cuatro alternativas posibles como son interconexión, sistemas individuales (S.H.S.), estaciones solares comunitarias y central solar, se realizó una evaluación económica de cada una de estas alternativas. Adicionalmente, para el caso de la interconexión, se calculó también la inversión necesaria para llevar las redes a esas poblaciones bajo el supuesto de que estuviesen situadas a 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros de distancia de las redes de conducción de energía, esto con el objeto de comparar económicamente hasta donde es viable la energización con alternativas solares de comunidades rurales pequeñas situadas a 5, 10, 15, 20 y 25 kilómetros de distancia de las redes.

Se supuso que la venta de energía, para el caso de la interconexión, cubre los costos de generación de la misma. **En sentido estricto, esto no acontece en la realidad puesto que en términos generales las comunidades rurales atendidas con redes eléctricas escasamente pagan el servicio de energía.**

Una vez calculados los costos anuales por el método de comparación de anualidades de gastos (dinámico) se calculó el costo por usuario.

Para cada una de las alternativas. Los resultados de estos cálculos se describen en las **figuras 7.1, 7.2, 7.3 y 7.3'**.

En la **figura 7.1** se muestran los costos de inversión y mantenimiento por usuario para cada una de las alternativas estudiadas según número de usuarios, situados éstos a 5 kilómetros de distancia de la red.

Se observa que la estación solar es competitiva para un número aproximado de 60 viviendas, lo mismo que lo es la planta Diesel en el rango de las 50 a 100 viviendas, con las limitaciones anotadas arriba.

Es necesario anotar que en el cálculo de los costos de mantenimiento correspondientes a las opciones solares se tuvieron en cuenta las reposiciones de equipos cuyas vidas útiles son inferiores a 20 años, por ejemplo, en el cálculo de los costos se tuvo en cuenta el cambio de baterías cada dos años, lo propio se hizo para el caso de la interconexión cuyos transformadores de distribución tienen una vida útil de 8 años.

La **figura 7.2** muestra los costos unitarios en el caso de que las poblaciones se encuentren a 10 kilómetros de distancia de las redes de conducción de electricidad. Allí se aprecia también que las opciones solares y las plantas de combustibles son mucho más competitivas que la alternativa de la interconexión al menos hasta los 50 usuarios y desde 50 a 100 siguen siendo más favorables las opciones estación solar y planta Diesel. Finalmente, en la **figura 7.3** se hace más evidente y significativa la ventaja de las opciones frente a la interconexión a causa del incremento en costos que ésta sufre con la distancia.

De esta manera se muestra con costos de inversión y mantenimiento que las alternativas solares son altamente atractivas para satisfacer las necesidades energéticas de poblaciones rurales situadas a distancias también relativamente cortas de las líneas de conducción de electricidad. También se desprende que las plantas de gasolina son una alternativa para comunidades de 10 y 20 usuarios, no obstante encontrarse en desventaja frente a las opciones SHS y estación solar, desventaja que se hace mucho más notoria si se tienen en cuenta los bancos de baterías y los inversores con los que habría que dotar a las plantas de gasolina y Diesel para que los usuarios puedan beneficiarse las 24 horas del día. Esta situación queda reflejada en la **figura 7.3**.

Por lo anterior se sugiere que las opciones solares deben ser consideradas seriamente como alternativas competitivas frente al tendido tradicional de redes de conducción e incluso frente a las opciones de combustible por razones de carácter

no solo económico como se muestra en la **Figura 8.3** sino ambiental.

A continuación se mencionan algunas fortalezas y debilidades del sector fotovoltaico en Colombia.

La Empresa Nacional de Telecomunicaciones, mayor usuario de esta tecnología en Colombia, ha utilizado estos sistemas desde hace 16 años para sus programas de telefonía rural y últimamente como alternativa de suministro confiable de energía aún en sitios interconectados eléctricamente. Como prueba de ello, a raíz de los apagones de hace pocos años se optó, por ejemplo, en el proyecto de telefonía rural Caribe II cambiar los rectificadores de las estaciones de telecomunicaciones por sistemas fotovoltaicos.

Se ha detectado además que TELECOM tiene altos costos de mantenimiento de los sistemas dado lo apartado de los mismos, lo que implica costos elevados por transporte y viáticos de las comisiones que realizan esta labor.

La empresa PROMIGAS S.A. con la utilización de los sistemas fotovoltaicos en sus estaciones de comunicación, es otro ejemplo de lo ventajosa que es esta tecnología por lo que ha logrado obtener grandes ahorros por la reducción de los costos de mantenimiento de los mismos comparativamente con los de los sistemas Diesel que utilizaban inicialmente. A los sistemas fotovoltaicos les hacen mantenimiento cada tres meses y sólo se han presentado fallas técnicas ocasionadas por descargas eléctricas en las tempestades.

A pesar que muchas empresas nacionales utilizan los sistemas fotovoltaicos, existe en Colombia un gran mercado para esta tecnología en el cual no se ha penetrado y si se ha hecho ha sido poco. Tal es el caso, por ejemplo, de la Aeronáutica Civil y las empresas dedicadas a la telefonía celular. La primera sólo ha aprovechado los SFV hasta el momento en dos proyectos.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, también existe una cantidad considerable de sistemas fotovoltaicos residenciales instalados en Colombia que presentan fallas comunes principalmente en los reguladores y lámparas.

En los sistemas fotovoltaicos colombianos no sólo se presentan fallas de tipo técnico por la utilización de componentes de mala o regular calidad, también se presentan algunas fallas ocasionadas por mala operación de los mismos como producto principalmente del poco entrenamiento y la falta de asistencia técnica prestada a los usuarios.

El problema de la falta de asistencia técnica postventa a los sistemas fotovoltaicos instalados en el país no es un asunto fácil de resolver sólo con la participación del usuario final y del proveedor, ya que si este último le recarga al costo del sistema los de asistencia técnica se encarecerían aún más de tal forma que serían menos asequibles para los usuarios.

En Colombia no ha existido programa alguno de fomento a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos a nivel nacional. Las experiencias en las diferentes aplicaciones de estos sistemas se han desarrollado y adquirido principalmente en forma independiente de cualquier programa específico continuo para esta actividad. Han existido programas a corto plazo o regionales como el Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica PESENCA, convenio colombo-alemán con vigencia entre los años 1985 y 1993, que tuvo como principal actividad la difusión y evaluación de alternativas energéticas en la Costa Atlántica colombiana. Además existen algunos programas de investigación en algunas universidades como por ejemplo la Universidad Nacional de Colombia. La anterior situación ha implicado necesariamente la existencia de empresas privadas que atienden a los usuarios que requieren de este servicio. Además no existen en el país normas técnicas estándares que deban cumplir los componentes contruidos a nivel nacional con que se pueda controlar la calidad de los mismos. A este respecto es poco con lo que se cuenta, ya que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (CONTEC sólo cuenta con las normas NTC 2775 sobre terminología y definiciones de los sistemas fotovoltaicos, NTC 2883 sobre requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben someterse los módulos fotovoltaicos y la NTC 2959 sobre guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para SFV.

8.2 CONCLUSIONES

La alta confiabilidad de la tecnología solar fotovoltaica, su capacidad de pequeña generación eléctrica con el potencial de crecer con la simple instalación de un mayor número de módulos fotovoltaicos, su fácil manejo, la facilidad para ser aceptada por los usuarios colombianos que en su gran mayoría ya están utilizando baterías son aspectos que hacen factible la utilización masiva de los sistemas fotovoltaicos en Colombia tanto por razones técnicas como socioculturales y sirven de soporte para ser viable cualquier programa de difusión.

Si bien es cierto que más del 80% de la energía requerida por los hogares rurales está representada en la cocción, actividad para la cual la energía fotovoltaica no es apropiada, no es menos cierto que el 20% restante representa una componente muy importante relacionada con la calidad de vida en el área rural, componente para la cual los SFV aportan la energía necesaria para asegurar esa calidad de vida.

Existen en los departamentos de la Costa Atlántica y en los de los Llanos Orientales vastas áreas rurales no atendidas con el servicio tradicional de energía eléctrica, lo que significa que hay un gran potencial para los SFV.

El ahorro por la sustitución de las velas, las pilas secas, el kerosene cuando se utiliza para la iluminación y el costo del transporte cuando se mandan a cargar las baterías automotrices, es de tal magnitud que bien puede en poco tiempo alcanzar a recuperar la inversión en un sistema solar individual para una vivienda rural.

La utilización de los SFV no es sólo para los lugares excesivamente apartados de las redes de suministro de energía eléctrica, ya que se demuestra que económicamente las opciones solares se constituyen en una seria competencia en comunidades rurales cercanas a las líneas de conducción de electricidad. La **tabla 8.1** resume las ventajas de la tecnología solar fotovoltaica que la hacen una alternativa factible de aplicar en Colombia.

No obstante las debilidades actuales del sector fotovoltaico nacional, los sistemas tienen gran aceptación entre los usuarios, es así por ejemplo para los usuarios del sector rural lo más significativo está

representado sin duda en la posibilidad de contar con una iluminación clara, con buena comunicación y en general obtener un mejor nivel de vida en el campo. Puesto que el manejo de la tecnología realmente no representa para ellos ningún obstáculo, puede decirse que el manejo normal de los elementos de cada sistema está perfectamente asimilado.

A pesar de las ventajas de la tecnología solar fotovoltaica, ésta tiene sus desventajas y existen además problemas en el mercado colombiano que no han permitido una mayor difusión de los SFV a nivel nacional. Una prueba de ello es que, aunque desde hace aproximadamente 16 años se están difundiendo los sistemas fotovoltaicos en Colombia, la potencia eléctrica actual instalada con los mismos (2,05 MW) es muy baja, representando sólo el 0,02% del total de la capacidad efectiva instalada en el país, la cual asciende a 10245,4 MW.

Hasta el momento es prácticamente nula la capacidad instalada en SFV en el país frente a los sistemas tradicionales de energía, circunstancia que no se compadece bajo ningún punto de vista cuando el país cuenta con una excelente radiación solar durante todo el año y considerando además que existe una gran cantidad de poblaciones rurales no atendidas con el servicio eléctrico.

La **tabla 8.2** resume las desventajas de esta tecnología y los problemas del sector fotovoltaico colombiano en la actualidad.

Si bien existen algunas empresas privadas nacionales dedicadas a la difusión de los sistemas fotovoltaicos, éstas se encuentran ubicadas en las principales ciudades del país lo que dificulta la solución de problemas ocasionados por falta de asistencia técnica postventa. La difusión de componentes de los SFV de regular o mala calidad, obedece principalmente a que no existen en el país normas técnicas estándares de calidad de los mismos, ni mucho menos una entidad que se haya abanderado para realizarlas y hacerlas cumplir.

El Gobierno Nacional hasta el momento ha hecho poco, o nada, por incentivar la difusión de esta tecnología que no necesita mucho esfuerzo para mostrar sus bondades y ventajas ante otras

alternativas energéticas. Es así que no cuenta con programas masivos de difusión ni con incentivos como subvenciones y programas crediticios. En cambio sí existen para la interconexión eléctrica que es la principal competidora de esta alternativa.

8.3 RECOMENDACIONES

1. HACER OBLIGATORIA LA PLANEACIÓN ENERGÉTICA DE MÍNIMO COSTO

Con base en las ventajas de los sistemas fotovoltaicos, el Gobierno Nacional, a través de sus entidades competentes, debe tomar en cuenta la importancia de esta solución tecnológica en el marco de una Planeación Energética de Mínimo Costo. La **figura 8.1** esboza este esquema.

Se recomienda implantar la obligación para el sector eléctrico que en todos los proyectos de electrificación rural deben plantearse y evaluarse diferentes alternativas para el suministro de electricidad incluyendo soluciones con base en energías renovables, especialmente para este caso la energía solar fotovoltaica.

Igualmente debe abligarse al sector eléctrico a considerar en el cálculo del costo de la interconexión no sólo el costo de la energía en el último punto electrificado, sino también los costos que implica la generación, transmisión y subtransmisión del fluido eléctrico.

2. ELIMINACIÓN DE ARANCELES PARA LOS COMPONENTES DE LOS SFV

Considerando que los costos de los módulos es la componente más importante dentro del costo total de una solución solar se recomienda eximirlos de aranceles de importación, que entre otras cosas estos impuestos sólo tienen fines fiscales ya que por varias razones no se puede contar a corto y mediano plazo con una producción nacional de módulos fotovoltaicos.

3. CREACIÓN DE LINEAS DE CRÉDITO ESPECIALES

Como las deficiencias en la financiación para la adquisición de los sistemas fotovoltaicos se han mostrado como uno de los frenos de mayor

importancia para lograr una mayor difusión de esta tecnología, se recomienda implantar o crear con urgencia líneas de créditos específicos (créditos

blandos) con intereses bajos, no necesariamente subvencionados, para períodos de amortización de por lo menos cinco (5) años.

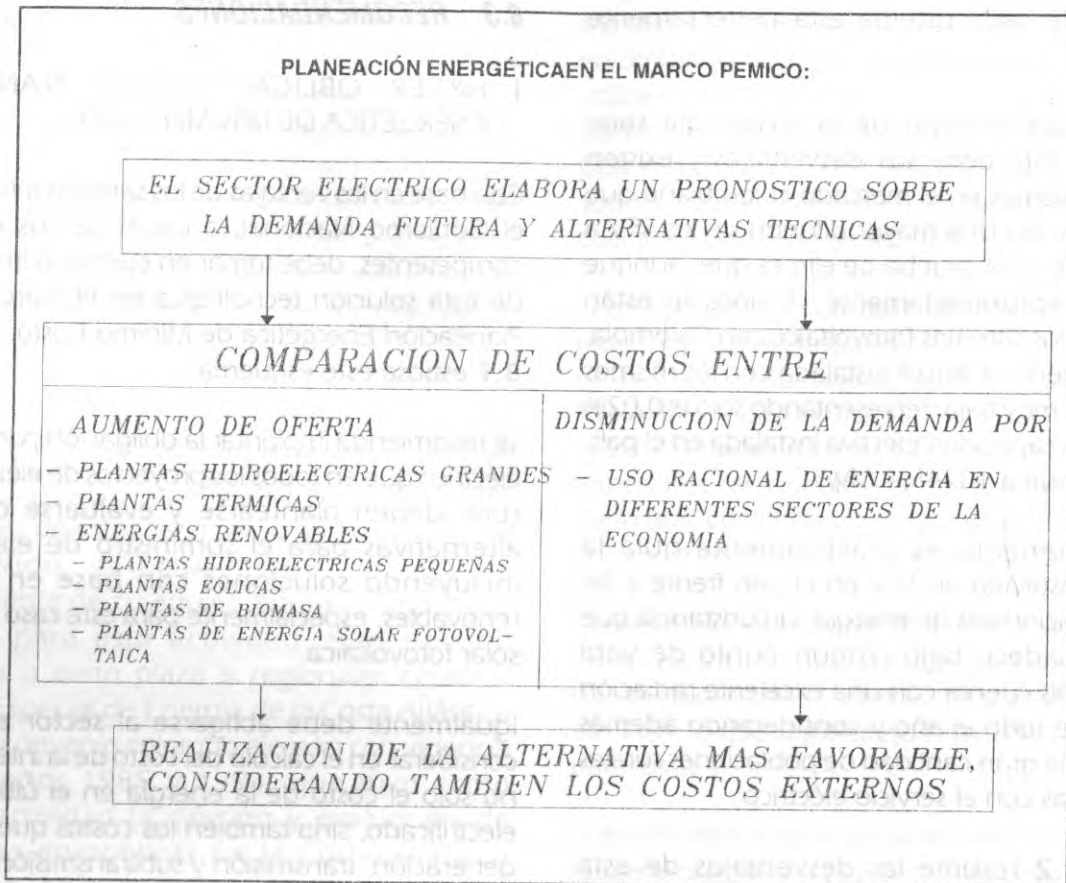


Figura 8.1

4. DEFINICIÓN DE NORMAS TÉCNICAS Y CONTROL DE CALIDAD EN LOS COMPONENTES FABRICADOS NACIONALMENTE

Un problema notable de los sistemas fotovoltaicos sigue siendo la comercialización de componentes de regular y mala calidad en el mercado colombiano. Las normas técnicas existentes actualmente en el país son insuficientes, lo que implica necesariamente la formulación y estandarización de normas y la creación de mecanismos para ejercer controles de calidad en los componentes.

Esta tarea, que podría ser ejecutada por el INEA e ICONTEC, debe concentrarse con prioridad en los reguladores, lámparas y balastos.

Adicionalmente se recomienda la realización de proyectos específicos para solucionar problemas tecnológicos en cuanto a los diferentes componentes, en los cuales las universidades e institutos especializados con apoyo financiero de COLCIENCIAS podrían dar un respaldo eficiente y notable a las empresas del sector en sus esfuerzos por mejorar la calidad de sus productos.

5. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE EMPRESAS DEL SECTOR FOTOVOLTAICO

Se recomienda, en estrecha cooperación con las empresas del sector, la realización de frecuentes cursos de capacitación al personal de éstas en cuanto a diseño e instalación de sistemas. Lo anterior es

necesario para minimizar los casos de mal dimensionamiento y de instalaciones inadecuadas.

Sería muy útil incluir en esta capacitación también al personal de las electrificadoras y empresas consultoras con miras a su adiestramiento como interventores para proyectos con esta tecnología.

6. CREACIÓN DE UNA ENTIDAD PARA PRESTACIÓN DE SERVICIO POSTVENTA

Considerando el tamaño del territorio nacional, la potencia de las plantas instaladas, las grandes distancias entre éstas y las sedes de las empresas proveedoras y el todavía muy reducido número de sistemas fotovoltaicos en el país, es obvio que ninguna de las empresas que actualmente opera en este sector por sí sola podrá instalar y mantener un servicio de postventa eficiente.

Por lo anterior, reconociendo la importancia que tiene un buen servicio postventa para la futura difusión de esta tecnología, se recomienda la creación de un ente encargado de la prestación de este servicio **para todos los sistemas instalados en el país**. Este ente deberá financiarse en parte con cobros al usuario por la prestación del servicio y en parte con aportes de las empresas del sector con

base en un porcentaje del valor de las ventas de los sistemas que se inscriben en el servicio. El faltante debería ser aportado por el Gobierno Nacional, por ejemplo a través del presupuesto del INEA.

Los funcionarios que prestarían este servicio deben ser capacitados no sólo para la realización de trabajos de mantenimiento y corrección de fallas, sino también para asesorar a los usuarios en el correcto manejo de los sistemas.

7. REALIZACIÓN DE PROGRAMAS DE DIFUSIÓN

El INEA, en estrecha cooperación con las empresas del sector, debería planear, preparar y realizar programas de amplia difusión de esta tecnología aprovechando los medios de comunicación más importantes para este fin.

Programas de difusión llamativos como lo ha sido, por ejemplo, el «Programa de los 1000 Techos Solares» en Alemania ha causado un amplio efecto publicitario en ese país.

Programas similares adecuados a las condiciones nacionales podrían ser muy útiles para lograr una mayor difusión de esta tecnología.

La **Tabla 8.3** resume las recomendaciones expuestas anteriormente.

TABLA 8.1 VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

VENTAJAS	COMENTARIOS
<ul style="list-style-type: none"> - Existe un gran potencial solar en Colombia - Es una tecnología limpia - Se manejan amplios rangos de potencia - Los sistemas fotovoltaicos (SFV) son modulares - Los SFV son móviles - Los SFV son de fácil manejo - Los SFV requieren de poco mantenimiento - Larga vida útil de los módulos - Tienen costos de mantenimiento y operación bajos - Es cada vez más rentable frente a otras alternativas 	<ul style="list-style-type: none"> - El potencial de energía solar en Colombia varía entre el 84% y 58% del valor promedio anual máximo en el mundo (6,8 kWh/m² en Arabia Saudita) - Los sistemas generadores no producen ningún tipo de contaminación ambiental - Desde un (1) vatio hasta cientos de Megavatios - Permiten fácilmente incrementar o disminuir la potencia, dependiendo como varíe la demanda, y corregir problemas de sub o sobredimensionamientos - Permiten su fácil traslado, transporte e instalación. Podrían servir para abrir mercado a la futura interconexión cuando la demanda lo justifique - Permiten una fácil aceptación por parte de todo tipo de usuario con un entrenamiento básico - Se limita a la limpieza de módulos y mantenimiento de instalaciones y baterías de acuerdo con el tipo utilizado - Esta oscila entre 20 y 30 años. En la actualidad algunos fabricantes están garantizando una vida útil de 20 años para módulos industriales y 10 años para rurales - Se limita a la compra de agua destilada para las baterías y al pago en comparación con otras alternativas energéticas de máximo un operario cuando el sistema lo amerite - El número de casos en que la alternativa fotovoltaica es más rentable depende de las diferentes condiciones de potencia instalada, número de usuarios y distancia a la red de interconexión. Ha crecido en los últimos años debido a la reducción de los costos de los módulos

TABLA 8.2
DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA Y PROBLEMAS DEL SECTOR FOTOVOLTAICO COLOMBIANO

DESVENTAJAS Y/O PROBLEMAS	COMENTARIOS
<ul style="list-style-type: none"> - Baja eficiencia de los módulos y SFV 	<ul style="list-style-type: none"> - En la actualidad se han logrado obtener eficiencias máximas de los módulos entre 15 a 16%
<ul style="list-style-type: none"> - Los módulos disponen de pocas horas de generación (máximo 12 horas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Implica necesariamente la utilización de acumuladores o bancos de baterías que encarecen los sistemas
<ul style="list-style-type: none"> - Los costos de inversión son altos 	<ul style="list-style-type: none"> - Sin embargo la tendencia a nivel internacional es a una reducción considerable de los costos de aproximadamente \$US 23 en 1980 a \$US 5 en 1994
<ul style="list-style-type: none"> - Oferta nacional centralizada 	<ul style="list-style-type: none"> - Existen pocas empresas distribuidoras y se encuentran ubicadas en las principales ciudades del país
<ul style="list-style-type: none"> - En el mercado existen componentes de regular y mala calidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Es una consecuencia de la falta de control de calidad de los componentes
<ul style="list-style-type: none"> - Existen fallas técnicas en los componentes y en la operación de los sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> - Es una consecuencia de la falta de entrenamiento del usuario y de asistencia técnica postventa
<ul style="list-style-type: none"> - Existen casos de dimensionamientos incorrectos y con fallas en las instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Causados muchas veces por la utilización de componentes y consumidores con baja eficiencia y por la falta de entrenamiento del personal instalador
<ul style="list-style-type: none"> - No existe apoyo estatal al sector fotovoltaico 	<ul style="list-style-type: none"> - Esto pone en desventaja esta alternativa frente a la interconexión eléctrica que es altamente subvencionada

TABLA 8.3 RECOMENDACIONES PARA LOGRAR UNA MAYOR DIFUSIÓN DE LOS SFV EN COLOMBIA

1. HACER OBLIGATORIA LA PLANEACIÓN ENERGÉTICA DE MÍNIMO COSTO
2. ELIMINACIÓN DE ARANCELES A EQUIPOS FOTOVOLTAICOS
3. CREACIÓN DE LINEAS DE CRÉDITO ESPECIALES
4. DEFINICIÓN DE NORMAS TÉCNICAS Y EJERCER CONTROL DE CALIDAD EN LOS COMPONENTES FABRICADOS NACIONALMENTE
5. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL DE EMPRESAS
6. CREACIÓN DE UNA ENTIDAD PARA PRESTACIÓN DE SERVICIOS POSTVENTA
7. REALIZACIÓN DE PROGRAMAS DE DIFUSIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- AEG Aktiengesellschaft. Bombas fotovoltaicas de inmersión y de potencia. Wedel, 1986.
- Asociación de la Industria de la Energía Solar. Aplicaciones de la energía FV y un Directorio de la Industria Fotovoltaica Estadounidense.
- Bundesverband Solarenergie. Producción Eléctrica descentralizada con sistemas fotovoltaicos. Essen, 1992.
- Centro de Estudio de la Energía Solar. La Energía Solar, Aplicaciones Prácticas. España, 1993.
- Concheiro, Antonio A. y Rodríguez Luis. Alternativas Energéticas. México, 1985.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ (GmbH). Fact Sheets of Selected PHOTOVOLTAIC Applications.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GTZ (GmbH). Rural Energy Supply. Federal Republic of Germany, 1992.
- Díaz-Santanilla, G. Technik der Solarzelle: physikal. Grundlagen, Eigenschaften u. Applikationen. München, 1984.
- INEA e HIMAT. Atlas de Radiación Solar de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C. Colombia, 1993.
- Jany, José Nicolás. Issues of PV Development: the Colombia Case. Santafé de Bogotá D.C. Colombia, 1992.
- Photocomm. Inc. Solar Electric Power Systems. Scottsdale, AZ, 1991.
- Rodríguez, Humberto. Issues of PV Development: the Colombia Case. Santafé de Bogotá D.C. Colombia, 1992.
- Rodríguez, Humberto y González, Fabio. Manual de Radiación Solar en Colombia. Santafé de Bogotá, 1992.
- Solarex Corporation. Resumen y Especificaciones de los Módulos Solarex. USA, 1992.
- Weik, H. y Engelhorn H. Wärme und Strom aus Sonnenenergie. Altlußheim, 1986.

BIBLIOGRAFIA

Daszewska, Z. Inżynieria i Technologia Przemysłu Chemicznego, Warszawa 1984

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Jan, J. i K. Inżynieria i Technologia Przemysłu Chemicznego, Warszawa 1973

Photocopying the text of this document is permitted by the publisher for personal or internal use, on the sole basis that requests for copying are referred directly to the publisher.

Rodriguez, H. Inżynieria i Technologia Przemysłu Chemicznego, Warszawa 1973

Rodriguez, H. Inżynieria i Technologia Przemysłu Chemicznego, Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

Właściwości fizyczne i chemiczne związków wodorowodorowych. Zeszyt 1. Warszawa 1973

000204

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01001667

BIBLIOTECA

Censo y evaluación de sistemas solares
fotovoltaicos instalados en Colombia /Instituto
de Ciencias Nucleares y Energias Alternativas.

333.7923 IN59c Ej. 1

FECHA
PEDIDO

PRESTADO A

FECHA
DEVUELTO



9 789589 523353

en Colombia

