

Los sistemas de energía solar fotovoltaica en el Perú

The photovoltaic solar energy systems in Peru

Víctor Cruz Ornetta¹

Resumen

Objetivos: Presentar los sistemas de energía solar fotovoltaicos y sus principales aplicaciones en el Perú.

Materiales y métodos: Se busco la información sobre los conceptos básicos de los sistemas en la literatura a nivel nacional e internacional. En cuanto a las aplicaciones se obtuvo información del Ministerio de Energía y Minas. Del ministerio de Educación y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Resultados: Se definiéron las principales características y aplicaciones de los sistemas de energía solar fotovoltaica.

Conclusiones: La energía solar fotovoltaica es una energía renovable que puede ser muy útil para proporcionar energía a zonas rurales de difícil acceso en nuestro Perú.

Palabras claves

Energía solar, radiación solar, energía renovable, energía limpia, MINEM

Abstract

Objectives: To present the solar photovoltaic energy systems and their main applications in Peru.

Materials and methods: It was looked for information about basic concepts in national and international sources. In relation with applications it was obtained information from the Ministry of Energy and Mines, Ministry of Education and Ministry of Transportes and Communications.

Results: It was defined the main characteristics and applications of the photovoltaic energy systems.

Conclusions: The photovoltaic solar energy is a renewable energy that can be very useful to provide energy to rural areas difficult to access in Peru.

Key words

Solar energy, solar irradiation, renewable energy, clean energy, MINEM

Introducción

La energía solar fotovoltaica es una energía renovable muy importante para la provisión de energía en áreas geográficas de difícil acceso y que no cuentan con energía eléctrica comercial. Debido a la disminución experimentada en los costos de los sistemas de energía fotovoltaicos en los últimos años, estos sistemas se han hecho más accesibles y son una alternativa de solución para muchos lugares con carencias de energía. En ese sentido el objetivo del presente estudio es proporcionar una visión muy sucinta de los sistemas fotovoltaicos y sus aplicaciones y el desarrollo de los mismos en nuestro país.

Para desarrollar este trabajo se ha revisado distintos documentos sobre sistemas de energía solar fotovoltaica y luego se ha buscado información en diferentes fuentes sobre las aplicaciones realizadas en el Perú desde la década de los 80.

Componentes y características de los sistemas de energía solar fotovoltaica

El sistema de energía solar fotovoltaico básicamente está conformado por un panel de módulos fotovoltaicos, un banco de baterías y unidad de control. El banco de baterías es necesario ya que las características de la carga generalmente no coinciden con las características de la generación del panel fotovoltaico. En la Fig. 1 se muestra de manera esquemática el sistema fotovoltaico básico. Los parámetros básicos del subsistema son:

- Potencia de salida: Básicamente está determinado por la potencia de salida de los paneles.
- Autonomía: Es la cantidad de días que el subsistema puede operar, satisfaciendo las necesidades de la carga, sin que exista un nivel mesurable de insolación y después de los cuales las baterías conservarán una carga mínima, igual a un porcentaje de la carga total, predeterminada de acuerdo a las características de las baterías.

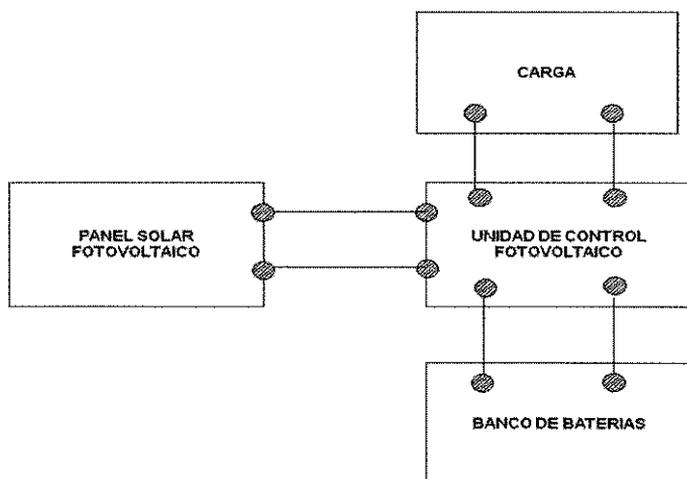


Figura 1 El sistema solar fotovoltaico

Estructura de la célula solar fotovoltaica

La célula solar fotovoltaica se deriva de una barra cristalina de silicio dopado con boro se corta en discos de una espesor aproximado de 0.3 mm.

Una de las caras del disco se dopa fuertemente con fósforo mediante difusión a alta temperatura, desde una atmósfera gaseosa rica en fósforo, de manera que el elemento penetre en el silicio con mayor concentración que la del boro que este contenía hasta una profundidad de 0.3 micras aproximadamente. Encima de esta capa se deposita una rejilla metálica y en la parte posterior de la célula una capa continua.

Ambas capas sirven para facilitar la toma de contactos eléctricos en ambas regiones. En la Fig. 2 se muestra el esquema de la estructura de una célula fotovoltaica

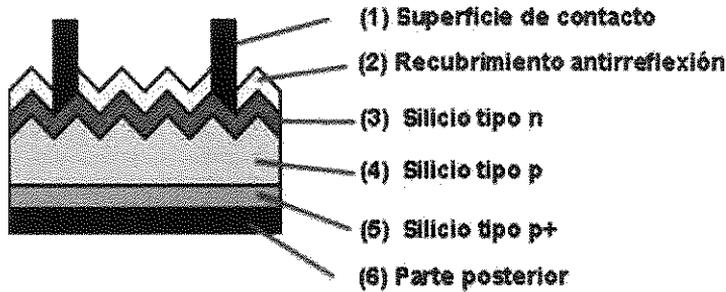


Figura 2 Esquema de la estructura de una célula solar fotovoltaica de silicio

Rendimiento de conversión fotovoltaica

$$N = \frac{\text{Maxima potencia electrica entregable por la celula}}{\text{Potencia luminosa incidente total sobre la celula}}$$

El rendimiento teórico máximo alcanzable es del 95%, que es un valor inalcanzable en la práctica si se emplea una célula de un sólo material semiconductor.

La radiación solar es policromática presentando una distribución espectral bastante amplia. En la superficie de la tierra (Espectro AM1), se extiende aproximadamente desde el ultravioleta (3.500A) hasta el infrarrojo próximo (2 um). La suma de las potencias correspondientes a cada una de esas frecuencias es lo que llamamos potencia solar incidente

Pero no todas las frecuencias son aprovechables por un determinado material fotovoltaico, ya que este se vuelve transparente a partir de una determinada longitud de onda.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio policristalino) está alrededor del 11-12%, pero según la tecnología utilizada varía

desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-19% de las células de silicio monocristalino. También existen las células multicapa normalmente de arseniuro de galio, en las cuales el espectro solar se divide en varios bloques de frecuencias y se construye una célula espectralmente adaptada para cada bloque de tal manera que se puede alcanzar eficiencias de hasta 30%. En laboratorio se ha superado el 42% con nuevos paneles experimentales

Células de silicio monocristalino

El silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son de un azul uniforme.

Ventajas:

- Buen rendimiento de 14% al 19%,
- Buena relación Wp/m^2 (~150 Wp/m^2), lo que ahorra espacio en caso necesario
- Número de fabricantes elevado.

Inconvenientes:

- Costo elevado

Células de silicio policristalino

Durante el enfriamiento de silicio en un molde se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

Ventajas:

- Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si monocristalino) que permite un mejor funcionamiento en un módulo,
- Eficiencia de conversión óptima, alrededor de 110-120 Wp/m^2 , pero un poco menor que en el monocristalino
- Lingote más barato de producir que el monocristalino.

Inconvenientes:

- Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

En la Fig. 3 se muestran ejemplos de células de silicio monocristalino y policristalino comerciales

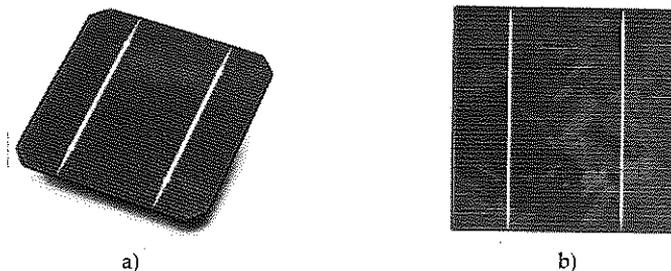


Figura 3 Célula de silicio a) monocristalino y b) policristalino

Módulos fotovoltaicos

Las células se interconectarán mediante conexiones dobles de cobre de acuerdo a la corriente y voltaje que se necesitan.

Una vez interconectadas, todas las células que construirán el módulo se encapsularan mediante película de goma de silicona o de butiral de polivinilo en un sándwich de vidrio o entre una lámina de vidrio y una capa posterior de goma de silicona, Tedlar u otros productos similares.

La lámina de vidrio deberá permitir el paso de la luz solar a las células y será realizado a partir de vidrio templado con bajo contenido de hierro y pequeño coeficiente de reflexión.

Los terminales para conexión deberán alojarse en una caja de conexión en cuyo interior estén situados los terminales de conexión y donde puede alojarse el diodo de bloque. Esta caja deberá ser hermética.

El sándwich de vidrio o vidrio y silicona, que contiene el conjunto de células solares integrantes del módulo, se alojará en un marco metálico que podrá ser de acero inoxidable o de aluminio.

El marco que tiene por finalidad dar rigidez y solidez mecánica al módulo y facilitar su sujeción a la estructura que lo soporta, deberá poseer la configuración adecuada para que su unión con el sándwich sea elástica.

Las juntas de estas uniones se sellaran adecuadamente con silicona o algún producto similar.

Las figuras 4 y 5 muestran la estructura de un módulo fotovoltaico y las versiones comerciales de módulos de silicio monocristalino y policristalino.

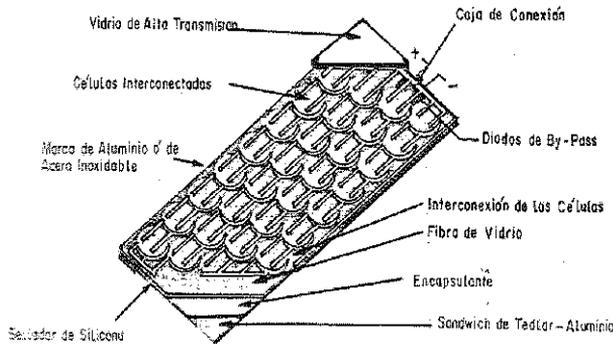


FIG. 5

Figura 4 Estructura de los módulos fotovoltaicos

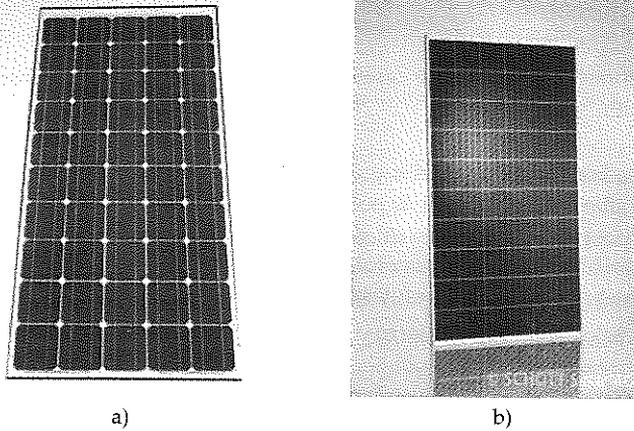


Figura 5 Módulo fotovoltaico de silicio a) monocristalino y b) policristalino

Acumulador eléctrico

Célula secundaria o acumulador eléctrico, es un conjunto de dos generadores electroquímicos con una solución común, que recupera las sustancias originales de sus electrodos, que fueron consumidas en la alimentación de energía eléctrica.

El acumulador es, por lo tanto, una célula reversible capaz de alimentar energía eléctrica, liberada por reacciones químicas, a un circuito externo y acumular cargas eléctricas por el proceso de recomposición de las sustancias componentes de sus electrodos, causada por una corriente eléctrica aplicada entre ellos.

Baterías de acumuladores

Los términos "batería de acumuladores" o simplemente "batería" son usados para definir en lenguaje técnico la asociación en serie de varios acumuladores eléctricos.

Baterías para aplicaciones fotovoltaicas

Los mismos parámetros definidos para caracterizar el comportamiento eléctrico de los acumuladores son usados para las baterías, considerándose que el análisis ahora debe ser hecho, no para un acumulador aislado, sino, para un asociación de acumuladores en serie. De esta forma son definidos los siguientes parámetros para las baterías:

- Capacidad de corriente
- Tiempo de descarga
- Tensión final de descarga
- Tensión final de carga
- Tensión de gasificación

Capacidad

La capacidad de la batería es la cantidad de carga en Ah que es capaz de alimentar en régimen de descarga, permaneciendo la variación de su f.e.m. dentro de límites especificados.

Para cada tipo de batería su capacidad depende del régimen de descarga, esto es, dependiendo del valor de la corriente, de la temperatura y de la densidad del electrolito, en función del grado de ionización. La capacidad es proporcionada por el fabricante bajo la forma de tablas, con valores referidos a la temperatura de 25°C y normalizados para cada régimen de descarga. La indicación de la capacidad de los acumuladores en Ah es denominada capacidad nominal, o sea es la máxima cantidad de carga que debe ser extraída del acumulador. Generalmente para cada tipo de acumulador, el fabricante provee la capacidad nominal y las diversas corrientes de régimen de descarga para un valor de tensión, con los respectivos tiempos de descarga.

Para evitar que el acumulador sufra averías por corrientes elevadas, el fabricante estipula su tiempo mínimo de descarga.

Tiempo de descarga

El tiempo de descarga representa el periodo dado por el fabricante para que el acumulador alcance una tensión final de descarga, en un determinado régimen de descarga de corriente.

Tensión final de descarga

La tensión final de descarga define el valor límite de la tensión del acumulador, permitida durante la alimentación de corriente al circuito externo, que garantiza la reversibilidad del proceso del acumulador.

Esta particularidad es exigida por los fabricantes, debido a las modificaciones estructura que ocurren en las sustancias de los electrodos, imposibilitando su recomposición durante el proceso de electrolisis, cuando la tensión se reduce en demasía.

Tensión final de carga

La tensión final de carga representa el valor máximo de tensión alcanzado en los termina les del elemento cuando recibe energía CC, en el proceso de carga, para readquirir su capacidad total, pérdida por descarga. Esta tensión es típica para cada tipo de batería.

Tensión de gasificación

En el proceso de carga de la batería, a partir del instante en que la corriente pasa de su valor máximo hasta el instante en que ella se vuelve a estabilizar, la formación de gases en el interior del electrolito alcanza su valor máximo.

La tensión en este instante es un valor bien característico, típico para cada acumulador, denominada tensión de gasificación.

Tensión final de carga

La tensión final de carga representa el valor máximo de tensión alcanzado en los termina les del elemento cuando recibe energía CC, en el proceso de carga, para readquirir su capacidad total, pérdida por descarga. Esta tensión es típica para cada tipo de batería.

Tensión de gasificación

En el proceso de carga de la batería, a partir del instante en que la corriente pasa de su valor máximo hasta el instante en que ella se vuelve a estabilizar, la formación de gases en el interior del electrolito alcanza su valor máximo.

La tensión en este instante es un valor bien característico, típico para cada acumulador, denominada tensión de gasificación.

Estos gases, normalmente una mezcla de hidrógeno y oxígeno, son resultantes principalmente de la electrólisis del agua del electrolito y las cantidades formadas dependen de la intensidad de la corriente de carga utilizada.

Por ser una mezcla altamente explosiva, una de las precauciones, que debe ser tomada durante la carga de la batería es la provisión de conductos que permitan la evacuación de dichos gases del compartimiento donde están instaladas las baterías. Esto requiere de un sistema de ventilación adecuado, pudiendo ser natural o mecánico con auxilio de extractores de aire.

Otra precaución es evitar que estos gases lleguen hasta los equipos de la instalación, principalmente en los casos de las baterías ácidas, debido al peligro de corrosión.

La unidad de control

Es la encargada de proveer un régimen de carga eficiente y efectivo para las baterías y tendrá como funciones básicas:

- Evitar la sobrecarga de la batería.
- Evitar la descarga excesiva. Reducirá la pérdida del electrolito.

Estas funciones básicas extenderán la vida de las baterías y minimizarán su mantenimiento.

Para poder cumplir con este objetivo las unidades de control fotovoltaicas deberán tener entre otras características:

- Voltajes regulados por compensación de temperatura.
- Protección contra inducción electrostática.
- Diodo de protección por bloqueo.
- Protección contra inversión de polaridad.
- Protección contra sobrecarga.

Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos

La energía conseguida mediante generadores fotovoltaicos y sus aplicaciones son de una gran diversidad.

- ✓ Telecomunicaciones
- ✓ Electrificación rural.
- ✓ Aplicaciones agrícolas
- ✓ Aplicaciones ganaderas
- ✓ Iluminación Pública
- ✓ Señalización
- ✓ Control
- ✓ Desarrollo Rural

Telecomunicaciones

- Telefonía móvil.
- Repetidores de radio y televisión.
- Postes S.O.S. de carreteras.
- Telemando
- Telecontrol para redes de riego.
- Telemetría
- Radares
- Radiotelefonía en general y para militares o puestos de vigilancia forestal.
- Telefonía rural vía satélite
- Teleondas
- Cabinas telefónicas de uso público.
- Centrales de conmutación.
- Radioenlaces
- Sistemas troncalizados
- Cobertura de radio y comunicaciones en túneles del Ferrocarril.

Electrificación rural

- Viviendas de uso temporal y uso permanente.
- Electrificación centralizada con control individual de consumos por vivienda, en núcleos rurales
- Electrificación de refugios y albergues de montaña.

- Postas sanitarias. (iluminación, conservación de medicamentos y vacunas con frigoríficos)
- Escuelas y centros comunales.
- Puestos de policía y fronteras.
- Instalaciones religiosas (ermitas, misiones, etc.).
- La electrificación rural actualmente dispone de todas las comodidades que se puedan tener en un sistema de electrificación convencional mediante la utilización de inversores de onda senoidal

Aplicaciones agrícolas

- Bombeos de agua, tanto en c/c como en c/a, (con batería).
- Bombeos de agua de accionamiento directo (sin batería).
- Electrificación de naves.
- Controles de riego.
- Invernaderos (automatización de ventanas e iluminación).

Aplicaciones ganaderas

- Bombeos de agua para proporcionar agua al ganado.
- Electrificación de granjas. (iluminación, motores, esquiladoras, etc...)
- Sistemas de ordeño y refrigeración de leche.
- Electrificación de cercas.

Iluminación

- Carteles publicitarios.
- Farolas de alumbrado público.
- Paradas de autobuses.
- Iluminación de túneles, cuevas, etc.

Señalización

- Faros y boyas de uso marítimo.
- Radiofaros y radiobalizas de uso aéreo.
- Señalización viaria para señalización de curvas, obstáculos, rotondas, etc. en ciudades y carreteras mediante led's.
- Indicadores de hora y temperatura en vías publicas.
- Pasos a nivel de Ferrocarriles.
- Plataformas petrolíferas.

Control

- Caudalímetros y anemómetros.
- Accionamiento de válvulas (electroválvulas)
- Controles y estaciones meteorológicas y sísmicas.
- Cámaras de TV para control y medida de tráfico.
- Motorización y automatización de puertas.
- Repetidores de señal con fibra óptica
- Estaciones de medida medioambiental.
- Control en gasoductos y oleoductos
- Toma de datos.
- Control y operación remota de presas.
- Protección catódica.

Los sistemas fotovoltaicos en el Perú

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. De acuerdo al Atlas solar peruano la gran mayoría de localidades del Perú, cuentan con disponibilidad de la energía solar bastante grande y uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m² día en la costa y selva y de 5-6 kWh/m² día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia a un costo razonable mediante sistemas fotovoltaicos y térmicos.

En los años 70 Entel Perú S.A. ya instalaba sistemas fotovoltaicos para alimentar los sistemas de comunicaciones secundarios como el caso de la estación en el Cerro Marcahuamachuco -La Libertad. Por los años 80 Panamericana Televisión S.A. durante la implementación de su plan de expansión a nivel nacional instaló sistemas en Huasa Huasi -Junin, en Cerro Palomapata -Cajamarca y en Cerro Huaricangana -Ica entre otros lugares.

El primer proyecto de electrificación rural FV en el Perú fue el Proyecto CER-UNI que se implementó en los años 1986 -96 en el departamento Puno incluyendo 427 (SFD), en un marco "pre-comercial" (subsidiados).

Posteriormente, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha instalado entre 1995 y 1998 un total de 1500 SFD en diferentes regiones del Perú, mayormente en comunidades de la selva y muy dispersa. Inicialmente el MEM planteó que el proyecto debía incentivar a empresarios privados para invertir en proyectos fotovoltaicos bajo un esquema de mercado. Finalmente se optó de dar al proyecto un objetivo social, pidiendo al beneficiario solamente una contribución para los costos de mantenimiento del SFD a su disposición. Estos SFD están ahora propiedad de la empresa estatal ADINELSA, quién la administra con un modelo tarifaria y, para facilitar la administración, ha creado en cada comunidad una asociación de usuarios.

Posteriormente el proyecto GEF – MEM “Electrificación rural en base a energía fotovoltaica en el Perú en el 2006 se realizó una licitación por un total de 4500 SFV

De acuerdo a un estudio realizado por el MINEM en el 2004 en el Perú se tenía una potencia instalada de alrededor de 3.73 (MEM-OGP, 2004). Entre las aplicaciones principales se tenían 44 772 sistemas SFV en comunicaciones 17 448 sistemas SFV para uso domiciliario (electrificación Rural, iluminación, uso comunal). La mayoría de los SFV usados para electrificación rural son del tipo “Sistema Fotovoltaico Domiciliario”, SFD (en inglés: “solar home system”, SHS), con potencias típicas de 50 – 60 Wp, operando junto con una batería de plomo ácido, un regulador de carga, y 2 – 4 lámparas fluorescentes de 9 – 11 W, teniendo un costo del orden de US\$ 600 (incluyendo impuestos e instalación). Un SFD satisface las necesidades usuales de electricidad de una familia en el campo.

El proyecto ILZRO Raps ha instalado un sistema híbrido fotovoltaico – grupo térmico en la selva peruana (afueras de Iquitos. Dicho sistema consta de un Grupo Térmico de 250 kVA y 60 kWp de potencia en paneles fotovoltaicos de 80 Wp. Las aplicaciones de la energía solar para bombeo mediante bombas solares utilizando paneles fotovoltaico tiene bastante uso en el norte y en la selva de nuestro país.

Las ONG, los ministerios (Transportes, Telecomunicaciones, Educación, Energía y Minas, Salud), FONCODES, Gobiernos Regionales y la Universidad Nacional de Ingeniería han desarrollado proyectos utilizando paneles fotovoltaicos, en proyectos vinculados a telecomunicaciones, electrificación rural, equipos de refrigeración de vacunas, iluminación, entre otros.

Departamento	Paneles fotovoltaicos	Cocinas solares	Termas Solares	Secadores Solares
Arequipa	2 499	1		58
Arcach	3 515	242	11	
Apurimac	1 334	5	1	
Arequipa	3 256	20	7831	24
Ayacucho	1 740	13	44	
Cajamarca	5 273	14		59
Cusco	9 423	39	12	93
Huancavelica	1 357	2	12	
Huanuco	2 594	1		90
Ica	512	2		
Junin	2 193	79	1	134
La Libertad	1 645	3	9	
Lambayeque	1 864		5	
Umas	2 495	57	21	16
Loreto	5 368	1		
Madre de Dios	413			
Moquegua	396		14	
Passo	1 352	5	2	43
Piura	4 124	9	1	9
Puno	3 793	129	52	4
San Martín	2 954	1	1	175
Tacna	562	18	25	1
Tumbes	345			
Ucayali	3 651			
Total	82 290	640	8045	764

Fuente: Diagnóstico del Uso de la Energía Solar y Eólica en el Perú – MINEM, 2004

Tabla 1. Equipos instalados que hacen uso de energía solar fotovoltaica en el Perú

CONCLUSIONES

Las perspectivas de desarrollo de la energía solar fotovoltaica son muy buenas en el corto y mediano plazo. Por ej. a nivel internacional Alemania ha planificado cambiar su matriz energética a energías renovables hasta el 2020 incluyendo fuentes de energía fotovoltaica. En nuestro país las instituciones vinculadas con el uso de la energía solar para la electrificación de regiones rurales consideran que esta energía tendrá un uso masivo a mediano plazo en el Perú; sin embargo, es difícil predecir en qué magnitud y con qué velocidad ocurrirá esto. Una barrera, a parte del costo, es la falta de conocimiento de la potencialidad real del uso de la energía solar: son relativamente pocas personas en el Perú que conocen realmente estas posibilidades y, por el otro lado, sus limitaciones y dificultades. Por lo tanto urgen programas de capacitación, sea a nivel técnico (uso de equipos) o profesional (diseño de equipos). Asimismo urgen políticas claras del Estado sobre la utilización de energías renovables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA SOLAR; Universidad Nacional de Educación a Distancia. Curso de experto profesional en energía fotovoltaica. Sevilla (España): Universidad Nacional de Educación a Distancia; 2009.
- GARCÍA H. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA EN EL PERÚ. Actas del I Congreso sobre Biocombustibles y Energías Renovables; 17 - 19 de mayo de 2007, Lima, Perú; disponible en http://www.minag.gob.pe/portal/.../bioenergia/...Peru/12_Garcia_Henry.pdf
- HORN M.. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. Perú Económico, Nov. 2006; Los retos energéticos del Perú, pag 10 - 11
- HORN M. POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA EN EL PERÚ. Actas del I Congreso sobre Biocombustibles y Energías Renovables; 17 - 19 de mayo de 2007, Lima, Perú; disponible en http://www.minag.gob.pe/.../bioenergia/Congreso.../05_Horn_Manfred.pdf
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. Atlas de energía solar del Perú. [Internet]. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología; 2003 [visitado 2012 Jun 26]. Disponible en: http://www.institutodelperu.org.pe/descargas/pedro_gamio_290311.pdf