

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ELECTRIFICACIÓN RURAL CON SISTEMA
FOTOVOLTAICO DOMÉSTICO (SFD)**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

RAFAEL ERNESTO TAFUR SILVA

**PROMOCIÓN
2001 -II**

**LIMA – PERÚ
2006**

**ELECTRIFICACION RURAL CON SISTEMA
FOTOVOLTAICO DOMÉSTICO (SFD).**

Dedicatoria:

A mis Padres Ernesto y Rita, a mi esposa July y a mi hijo Emanuel, por ser ejemplo e inspiración que sostiene mis ideales.

SUMARIO

El presente Informe de Suficiencia tiene por objeto mostrar los avances efectuados con respecto a los Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFDs) y el tipo de administración que tiene por finalidad suministrar Energía Eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos a las localidades aisladas y de frontera de nuestro país.

Se efectúa la descripción del funcionamiento de la tecnología solar a base de Sistemas Fotovoltaicos para Electrificación Rural, se efectúa la descripción de los componentes de los equipos; así mismo, se resumen los avances logrados a la fecha por nuestro país.

Se detallará los cálculos justificativos, instalación y mantenimiento. Se dará a conocer la evaluación económica de los Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD) y el plan de Electrificación con los SFD.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	
ENERGÍA SOLAR Y SU CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA	4
1.1 La Energía Solar	4
1.2 Radiación	5
1.3 La Irradiancia	6
1.4 Transformación de la Energía Solar	6
1.5 Conversión Fotovoltaica	7
1.6 El Sistema Fotovoltaico	8
1.7 Sistema Fotovoltaico Doméstico (SFD)	10
CAPITULO II	
DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	13
2.1 El Módulo Fotovoltaico	13
2.1.1 Clasificación de los módulos fotovoltaicos	14
2.1.2 Diferencia entre los paneles policristalinos y los monocristalinos	15
2.1.3 Fabricación de un panel fotovoltaico	15
2.1.4 Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos en días nublados	16
2.1.5 Rendimiento de un panel fotovoltaico	17
2.1.6 Vida útil de un panel solar fotovoltaico	18
2.1.7 Resistencia mecánica de los módulos solares	18
2.1.8 Estándares para Módulo fotovoltaico en SFDs	18
2.2 Estructura de soporte	19
2.3 Acumulador (Batería)	20
2.3.1 Características Generales de los Acumuladores	21
2.3.2 Características Técnicas de los Acumuladores	23
2.3.3 Capacidad en Amperios hora	23
2.3.4 Profundidad de descarga	24

2.3.5 Bateria solar Plomo-Ácido	24
2.3.6 Sulfatación de una batería de Plomo-ácido	27
2.3.7 La densidad como medida del estado de carga de una batería	27
2.3.8 Congelación de los acumuladores	27
2.3.9 Baterías Níquel-Cadmio	28
2.4 Regulador de Carga	29
2.5 Tablero de Distribución	31
CAPITULO III	
AVANCES EFECTUADOS EN EL PAÍS	32
CAPITULO IV	
CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	36
4.1 Demanda Domiciliaria	36
4.2 Potencia del Panel (Wp)	37
4.3 Capacidad del Acumulador	39
4.4 Regulador	40
CAPITULO V	
INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	43
5.1 Principios de Operación	43
5.2 Instalación	44
5.3 Puesta en Operación	46
5.4 Mantenimiento Preventivo	47
CAPITULO VI	
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO (SFD)	49
6.1 Cálculo de la Capacidad de Pago	50
6.1.1 Iluminación	51
6.1.2 Comunicaciones	52
6.2 Costo de los SFDs	52
6.3 Conclusiones	55
CAPITULO VII	
PLAN DE ELECTRIFICACIÓN CON SISTEMA FOTOVOLTAICO A NIVEL NACIONAL	57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFIA	61

INTRODUCCIÓN

La integración de comunidades rurales, de nuestra amazonía por ejemplo, al sistema eléctrico interconectado nacional, no resulta en el mediano plazo económicamente factible. Por ello la atención de la demanda energética de sus comunidades, debe abordarse considerando la instalación de sistemas energéticos independientes.

Las tecnologías de energía renovable a pequeña escala son una alternativa económica y ambiental factible para el suministro de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados al Sistema Interconectado Nacional. El país cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa.

Todas estas alternativas tienen que ser evaluadas técnicamente, económicamente, ecológicamente, etc., cuando de electrificar determinada región se trate.

Por ejemplo, como la parte más extensa de nuestra amazonía, es selva baja y no existe en dicha zona potencial eólico ni caídas de agua aprovechables, la única alternativa factible para brindar suministro de energía eléctrica a dichas poblaciones, sin emitir gases que contribuyan al efecto invernadero, es mediante sistemas fotovoltaicos.

En los países en desarrollo, una gran parte de la población no tiene acceso a la electricidad por carecer de una infraestructura eléctrica básica, este es el caso del Perú. La energía solar fotovoltaica resulta ser, en estos países, la fuente más rentable para obtener electricidad, y en algunos lugares, la única.

En cambio en los países desarrollados, son los problemas ecológicos que el mundo enfrenta, los que los han llevado a fomentar el uso de estas fuentes de energía, y por lo tanto a incrementar la inversión en estas tecnologías, reduciendo los costes y aumentando la eficiencia de las mismas.

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye, frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.).

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales **factores ambientales** son los siguientes:

Clima: la generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología: Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo: al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características fisico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas: No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna: la repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje: los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

Ruidos: el sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

Medio social: El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los tejados de las viviendas.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica representa la mejor solución para aquellos lugares a los que se quiere dotar de energía eléctrica preservando las condiciones del entorno; como es el caso por ejemplo de los **Espacios Naturales Protegidos**.

CAPITULO I

ENERGÍA SOLAR Y SU CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

En este capítulo hacemos una introducción sobre la energía solar y sus aplicaciones, así como ciertos datos relacionados con la energía solar, como la cantidad de energía generada por el sol. Luego, definimos la radiación y las magnitudes utilizadas en su valoración, la transformación de la energía solar en eléctrica y específicamente la conversión fotovoltaica.

1.1 La Energía Solar

La radiación solar representa, una fuente de energía primaria prácticamente inagotable y disponible en menor o mayor grado en todos los sitios de la tierra, especialmente en las latitudes tropicales y subtropicales. Su utilidad depende de la posibilidad técnica y económica de convertirla en otras formas de energía, en particular en electricidad. Los **módulos fotovoltaicos** (también llamados “paneles fotovoltaicos” o “paneles solares”) representan una de las formas más atractivas de convertir la energía solar en energía eléctrica.

El sol emite constantemente enormes cantidades de energía; una fracción de ésta alcanza la tierra. La cantidad de energía solar que recibimos en un solo día resulta más que suficiente para cubrir la demanda mundial de todo un año. Sin embargo, no toda la energía proveniente del sol puede ser utilizada de manera efectiva. Parte de la luz solar es absorbida en la atmósfera terrestre o, reflejada nuevamente al espacio.

El Sol produce aproximadamente $1,1 \times 10^{20}$ kilovatios hora cada segundo (1 kilovatio hora es la energía necesaria para iluminar una bombilla de 100 Vatios durante 10 horas). La atmósfera exterior intercepta aproximadamente la mitad de una billonésima parte de la energía generada por el sol, o aproximadamente 1,5 trillones (1.500.000.000.000.000) de kilovatios hora al año. Sin embargo, debido a la reflexión, dispersión y absorción

producida por los gases de la atmósfera, sólo un 47% de esta energía, o aproximadamente 0,7 trillones (700.000.000.000.000.000) de kilovatios hora alcanzan la superficie de la tierra.

Esta energía es la que pone en marcha la "maquinaria" de la Tierra. Calienta la atmósfera, los océanos y los continentes, genera los vientos, mueve el ciclo del agua, hace crecer las plantas, proporciona alimento a los animales, e incluso (en un largo periodo de tiempo) produce los combustibles fósiles. Nosotros dependemos de la energía de las plantas, el agua, el viento y los combustibles fósiles para hacer funcionar nuestras industrias, calentar y refrigerar nuestras viviendas y para mover nuestros sistemas de transporte.

La cantidad de energía que se consume en el mundo anualmente es aproximadamente 85 billones (85.000.000.000.000) de kilovatios hora. Esto es lo que se puede medir, es decir la energía que se compra, vende o comercializa. No hay forma de saber exactamente qué cantidad de energía no comercial consume cada persona (por ejemplo cuanta madera se quema, o que cantidad de agua se utiliza en pequeños saltos de agua para producir energía eléctrica). Según algunos expertos, esta energía no comercial puede constituir como mucho una quinta parte del total de energía consumida. Aunque fuera éste el caso, la energía total consumida por el mundo significaría sólo 1/7.000 de la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra cada año.

1.2 Radiación

La intensidad de la luz solar que alcanza nuestro planeta varía según el momento del día y del año, el lugar y las condiciones climáticas. La energía total registrada sobre una base diaria o anual se denomina 'radiación' o 'irradiación' e indica la intensidad de dicha luz. La radiación se expresa en Wh/m² por día o, también, en KWh/m² por día.

Con el fin de simplificar los cálculos realizados en base a la información sobre radiación, la energía solar se expresa en equivalentes a horas de **luz solar plena**. La luz solar plena registra una potencia de unos 1000 W/m²; por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a 1 KWh/m² de energía.

Ésta es, aproximadamente, la cantidad de energía solar registrada durante un día soleado de verano, con cielo despejado, en una superficie de un metro cuadrado, colocada en perpendicular al sol.

La radiación varía según el momento del día. Sin embargo, también puede variar considerablemente de un lugar a otro, especialmente en regiones montañosas. La radiación fluctúa entre un promedio de 1000 KWh/m² al año, en los países del norte de Europa (tales como Alemania), y 2000 a 2500 KWh/m² al año, en las zonas desérticas. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar (orientación y ángulo de inclinación).

1.3 La Irradiancia

Las cantidades de radiación incidente también se pueden expresar en términos de irradiancia.

“La irradiación no es sino la energía que en forma de radiación se integra o totaliza durante cierto tiempo en una superficie o zona. Sus unidades son J/m² o cal/cm² (llamado Langley: Ly) o KWh/ m². Mientras que irradiancia se define como la potencia de la radiación o energía instantánea que se emite o incide en cierta superficie o zona. Sus unidades son W/ m² (Hernández et al., 1 991).”¹

Para los fines del Atlas de Energía solar del Perú dentro del proyecto Per98/G31: “**Electrificación Rural a base de energía fotovoltaica en el Perú**”, las referencias a la variable de irradiación se harán en términos de KWh/m².

1.4 Transformación de la Energía Solar

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

- La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de **colectores térmicos**.
- La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad (**conversión fotovoltaica**). A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

1.5 Conversión Fotovoltaica

La producción está basada en el fenómeno físico denominado "**efecto fotovoltaico**", que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados **células fotovoltaicas** (también llamada **celda solar**).

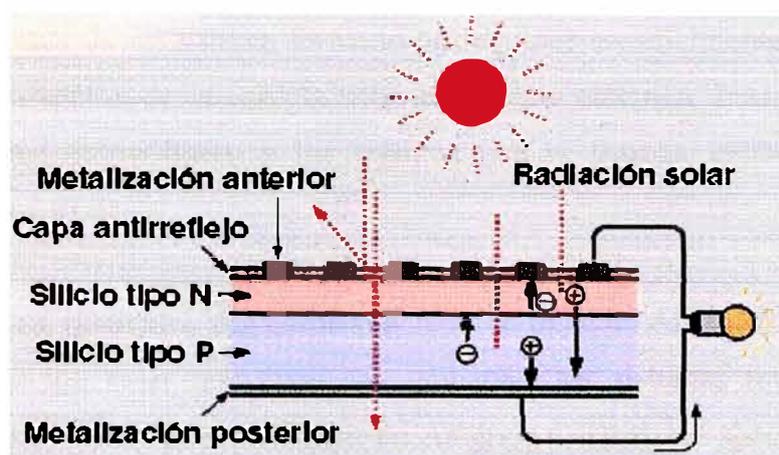


Figura 1.1 Celda Solar

Cuando la luz del sol cae sobre una celda solar, el material de la misma absorbe algunas de las partículas de luz, denominadas fotones. Cada fotón contiene una pequeña cantidad de energía. Cuando un fotón es absorbido, se da inicio a un proceso de liberación de un electrón en el material de la celda solar. Dado que ambos lados de una celda solar están eléctricamente conectados por un cable, una corriente fluirá en el momento en que el fotón es absorbido. La celda solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.

Mientras las celdas solares permanecen expuestas a la luz, este proceso de liberación de electrones continua y, por ende, el proceso de generación de electricidad.

Un panel solar puede producir energía limpia por un periodo de 20 años o más. El desgaste se debe, principalmente, a la exposición al medio ambiente. Un panel solar montado apropiadamente constituirá una fuente de energía limpia, silenciosa y confiable por muchos años.

1.6 El Sistema Fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional, es el caso de las zonas rurales.

Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de **sistema fotovoltaico** y los equipos que lo forman reciben el nombre de **componentes fotovoltaicos**.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, América Central es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico, es un conjunto de equipos contruidos e integrados especialmente para, a partir de la radiación solar, producir energía eléctrica en condiciones de ser aprovechada por el hombre. Para tal fin debe realizar cuatro funciones fundamentales:

Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica

Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada

Proveer adecuadamente la energía producida y almacenada.

Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

El sistema consta de los siguientes elementos (ver Figura 1.2):

- Un módulo solar fotovoltaico (llamado también generador solar) compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 a 48 V).
- Un **acumulador**, que almacena la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un **regulador de carga**, cuya misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- Un **inversor** (opcional), que transforma la corriente continua almacenada en el acumulador en corriente alterna de 230 V.

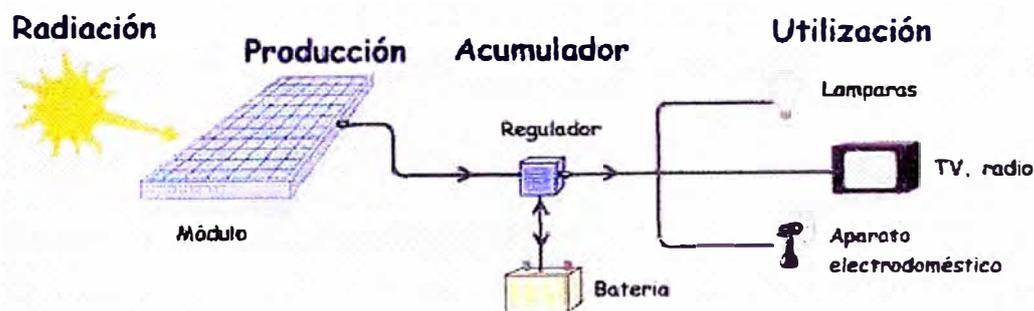


Figura 1.2 SFD

Una vez almacenada la energía eléctrica en el acumulador hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo de corriente continua (Figura 1.2) o bien transformar la corriente continua en alterna de 230 V a través de un inversor (Figura 1.3).

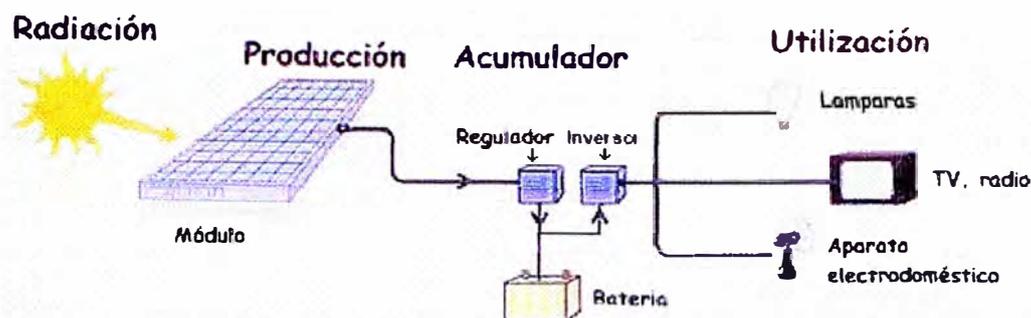


Figura 1.3 SFD con Inversor

Dadas las características de los sistemas fotovoltaicos, en los que la capacidad de acumulación de energía es limitada, los equipos de iluminación han de ser de elevado rendimiento y bajo consumo para aprovechar al máximo esa energía. Las más idóneas son las lámparas electrónicas, que dan las mismas prestaciones luminosas que las bombillas convencionales pero ahorran aproximadamente un 80% de energía y tienen una duración 8 veces superior. Esto se debe a que el 95% de la energía que consumen las lámparas incandescentes se transforma en calor y no en luz, mientras que las electrónicas irradian mucho menos calor y transforman un 30% de la energía que consumen en luz. También pueden utilizarse lámparas fluorescentes convencionales pero siempre con reactancia electrónica.

1.7 Sistema Fotovoltaico Doméstico (SFD)

Los SFDs (una aproximación a lo que en inglés se conoce como SHS – Solar Home System) son los sistemas fotovoltaicos que se emplean para electrificar viviendas donde el principal problema es que se encuentran en zonas alejadas de la red y en donde cualquier otro medio de generación de electricidad no es una mejor alternativa económica ni técnica, este es el caso de nuestra amazonía. Los SFDs cumplen con ciertas especificaciones de tamaño y magnitud que veremos mas adelante.

La amazonía esta cubierta principalmente por bosques naturales tropicales, dificilmente penetrables debido a su calidad pantanosa, y cuyas vías de comunicación se limitan principalmente a la navegación fluvial o al costoso transporte aéreo. Por tal motivo, los principales esfuerzos para electrificar en dicha zona han sido liderados por entidades del Gobierno, el cual ha dado un marco técnico para los SFD a través de la norma “Especificaciones Técnicas Generales para el Suministro de Materiales e Instalación

de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos – SFD”, que están basados principalmente en la norma “**Universal Technical Standard For Solar Home Systems, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998. Versión 2**”.

El SFD generalmente comprende los siguientes componentes:

- Un **módulo fotovoltaico** compuesto por uno o más módulos fotovoltaicos, los cuales están interconectados para conformar una unidad generadora de corriente continua, CC.
- Una **estructura de soporte** mecánica para el generador fotovoltaico (panel solar).
- Una **batería de plomo-ácido** compuesta de varios vasos, cada uno de 2 V de voltaje nominal.
- Un **regulador** de carga para prevenir excesivas descargas o sobrecargas de la batería.
- Las **cargas** (2 luminarias, radio o televisor blanco y negro, etc.).
- El **cableado** (cables, interruptores y cajas de conexión).
- Un tablero de distribución.

Por ejemplo en el marco del proyecto de Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú, del Ministerio de Energía y Minas, se considera que un SFD a usarse en las comunidades rurales de Nauta y Parinari, Provincia de Loreto, Departamento de Loreto, se debe dimensionar tomando: un consumo diario del usuario de 120 Wh a 12 VDC como mínimo y una Radiación Solar diaria de 3.6 KWh/m², sobre superficie horizontal².

El sistema debe tener una autonomía de funcionamiento de tres días consecutivos, es decir deberá ser capaz de funcionar durante tres días seguidos sin recibir la radiación solar especificada, siendo capaz de satisfacer la carga mínima prevista.

El suministro diario de energía generado por el SFD atenderá el siguiente consumo típico:

Tabla N° 1.1 Consumo Típico

Servicio	Funcionamiento diario	Observaciones
Iluminación con luminaria de 15 W	04 horas	Balastro para 12 V y tubo fluorescente comercial
Televisor blanco y negro, o radio grabadora, de 15 W	04 horas	con alimentación de 12V

Es de esta manera que nosotros trataremos a los SFD, teniendo en cuenta que es lo típico (y lo mínimo) para electrificación rural en nuestro país y que en todo caso el redimensionamiento, aunque sencillo, resulta en mayor costo (de aumentarse las cargas).

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1 El Módulo Fotovoltaico

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas, protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. Dado que una sola celda solar no produce energía suficiente para la mayor parte de aplicaciones, se les agrupa en paneles solares, de modo que, en conjunto, generan una mayor cantidad de electricidad.

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico, que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena, que es dióxido de silicio (SiO_2), también llamado cuarcita. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un vatio a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos consta de 36 celdas fotovoltaicas.

El marco de vidrio y aluminio tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una

frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno).

El vidrio frontal es antirreflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

Los paneles solares (también denominados módulos fotovoltaicos) son fabricados en diversas formas y tamaños. Los más comunes son los de 50Wp (**Watt pico**), que producen un máximo de 50 Watts de electricidad solar bajo condiciones de luz solar plena, y que están compuestos por celdas solares de silicio. Dichos paneles miden 0,5m² aproximadamente. Sin embargo, se puede escoger entre una amplia variedad de paneles más grandes y más pequeños disponibles en el mercado. Los paneles solares pueden conectarse con el fin de generar una mayor cantidad de electricidad solar (dos paneles de 50Wp conectados equivalen a un panel de 100Wp).

2.1.1 Clasificación de los módulos fotovoltaicos

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos. Por ejemplo: Sanyo Hit 180-190 (180 – 190 w) el módulo de mayor eficiencia de célula del mercado en altas temperaturas, 17,8%. Tolerancia de -0+10% y potencia máxima de -0,3(% /°C).³
- Módulos de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor. Por ejemplo: Los módulos Kyocera KC50 (50w) se caracterizan por su altísima eficiencia, por encima del 14%, que lo han convertido en el estándar de la industria fotovoltaica.³
- Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared. Por ejemplo: Kaneka CEA-211, estos módulos de silicio amorfo poseen un gran rendimiento a altas temperaturas y gran estabilidad de eficiencia a bajo costo gracias a sus materiales y fabricación.³

Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururo de cadmio). Estas están comenzando a ser comercializadas.

2.1.2 Diferencia entre los paneles policristalinos y los monocristalinos

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas de silicio monocristalino o policristalino. La diferencia entre una y otra radica en el procedimiento de fabricación. Las células de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro.

Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, que se va haciendo crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene una monocristal dopado, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizar la serigrafía para las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento antirreflexivo de bióxido de titanio o zirconio.

En las células policristalinas, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas.

2.1.3 Fabricación de un panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización.

Corte transversal de un panel fotovoltaico:

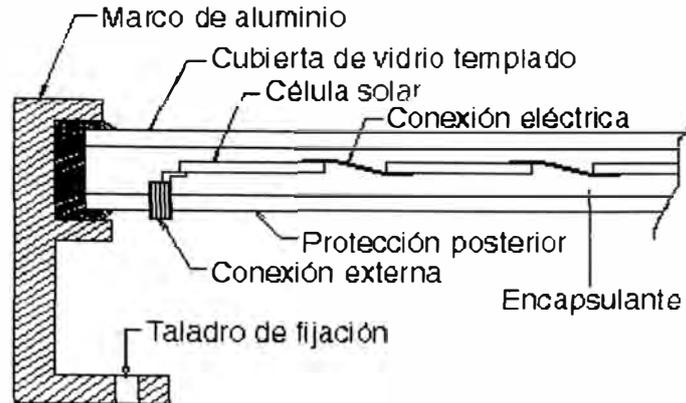


Figura 2.1 Corte transversal de un Panel Fotovoltaico.

Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan. Los elementos son los siguientes:

- **Encapsulante**, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- **Cubierta exterior** de vidrio templado, que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- **Cubierta posterior**, constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- **Marco de metal**, normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- **Caja de terminales**: incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- **Diodo de protección**: impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

2.1.4 Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos en días nublados

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel; un día totalmente nublado equivale aproximadamente a un 10% de la

intensidad total del sol, y el rendimiento del panel disminuye proporcionalmente a este valor.

2.1.5 Rendimiento de un panel fotovoltaico

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende fundamentalmente de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares.

Variación de intensidad y tensión con la radiación y la temperatura según potencia nominal:

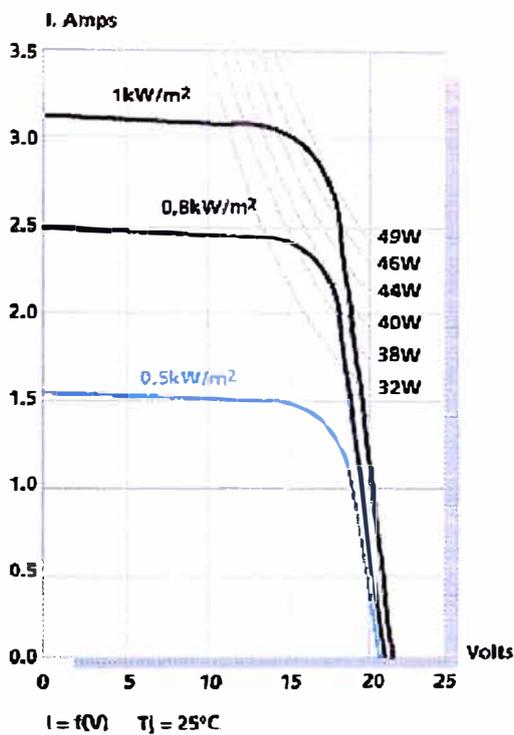


Figura 2.2 $I=f(V)$ $T_j=25^\circ\text{C}$

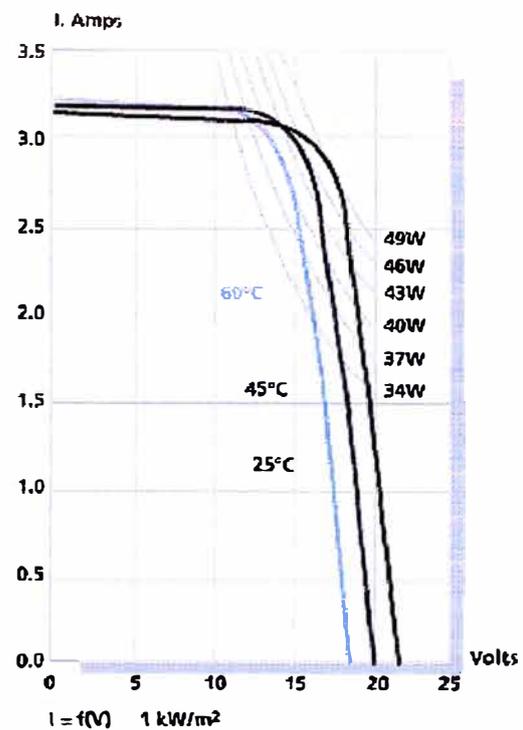


Figura 2.3 $I=f(V)$ 1 kW/m^2

La intensidad de corriente que genera el panel aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje aproximadamente constante. En este sentido tiene mucha importancia la colocación de los paneles (su orientación e inclinación respecto a la horizontal), ya que los valores de la radiación varían a lo largo del día en función de la inclinación del sol respecto al horizonte.

El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. El efecto global es que la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del

mismo. Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un panel unos 30 grados por encima de la temperatura del aire circundante, lo que reduce la tensión en 2 mV/ (célula * grado) * 36 células * 30 grados = 2,16 Voltios y por tanto la potencia en un 15%. Por ello es importante colocar los paneles en un lugar en el que estén bien aireados.

2.1.6 Vida útil de un panel solar fotovoltaico

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que las células y los contactos van encapsulados en una robusta resina sintética, se consigue una muy buena fiabilidad junto con una larga vida útil, del orden de 30 años o más. Además si una de las células falla, esto no afecta al funcionamiento de las demás, y la intensidad y voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo células.

2.1.7 Resistencia mecánica de los módulos solares

Los paneles van protegidos en su cara exterior con vidrio templado, que permite aguantar condiciones meteorológicas muy duras tales como el hielo, la abrasión, cambios bruscos de temperatura, o los impactos producidos por el granizo. Una prueba estándar para su homologación consiste en lanzar (con un cañón neumático) una bola de hielo de dimensiones y consistencia preestablecidas al centro del cristal.

2.1.8 Estándares para Módulo fotovoltaico en SFDs

Los módulos fotovoltaicos son certificados de acuerdo con la norma internacional IEC-61215 o con la norma nacional para módulos fotovoltaicos utilizada en el país de interés. Este requisito actualmente excluye los módulos fotovoltaicos de capa delgada, aunque existen procedimientos de certificación para estos módulos (IEC-61646, SERI/TR-213-3624). Los módulos de capa delgada se permiten en algunos proyectos financiados por el Banco Mundial, y nuevos y prometedores módulos están surgiendo en los mercados internacionales. Pero hasta ahora las experiencias de campo con los módulos de capa delgada disponibles comercialmente han sido bastante desalentadoras. Su uso en programas de electrificación a gran escala se considera todavía muy arriesgado, y se recomienda que sean aceptados solamente si están avalados por adecuadas garantías a largo plazo.⁴

Algunos fabricantes incluyen sistemáticamente diodos de paso (by-pass) en sus módulos fotovoltaicos, para protegerlos contra el fenómeno de “**punto caliente**”. Sin embargo, debe señalarse que la probabilidad de que un módulo fotovoltaico sea dañado por efecto de “punto caliente” es prácticamente despreciable en los sistemas de CC que funcionen a menos de 24 V. Es por esto que el uso de tales diodos es irrelevante en los SFDs.⁴

2.2 Estructura de soporte

Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables.

Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 Km./h, como mínimo.

Se pueden utilizar muchos materiales para las estructuras de soporte, entre ellos acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado con una capa protectora de 30 μm , madera tratada, etc.

En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes sólo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.

Es importante mencionar que la alternativa de módulos fotovoltaicos sin marco unidos a la estructura de soporte con un producto adhesivo adecuado, aunque todavía poco utilizada en el mercado de los SFD, está teniendo un comportamiento satisfactorio en otras aplicaciones generales y puede también ser aceptada.

El ángulo de inclinación debe optimizar la captación de energía solar durante el peor mes, es decir el mes con la peor relación entre los valores diarios de la irradiación y el consumo, ambos en media mensual. Generalmente puede suponerse que la demanda de los usuarios es constante, lo que lleva a la fórmula:

Inclinación ($^{\circ}$) = $\max \{|\Phi| + 10^{\circ}\}$; donde Φ es la latitud del lugar de instalación.

Esta fórmula conduce a un ángulo mínimo de inclinación de 10° , el cual es suficiente para permitir el drenaje del agua de lluvia. Es útil señalar que pequeñas desviaciones acimutales ($\pm 30^{\circ}$) y/o de inclinación ($\pm 10^{\circ}$) tienen una influencia relativamente pequeña sobre la captación de radiación y, en consecuencia, sobre la producción del panel fotovoltaico.

La mayoría de los expertos que fueron consultados, para la elaboración de la norma, se oponen a los sistemas con seguimiento manual, porque significan riesgo de daño de los

módulos y riesgo de perder energía, por falta o mal ajuste de la orientación. Sin embargo, ha sido usado en algunos lugares con resultados positivos, no sólo en términos de ganancia de energía sino también en términos de participación de los usuarios. Naturalmente, es necesaria una adecuada capacitación, y los dispositivos necesarios para permitir el movimiento y ajuste de los módulos también deben ajustarse a los requisitos especificados más arriba. Por lo tanto:⁴

- Estructuras de soporte estáticas son generalmente preferibles a las de seguimiento.
- En caso de que se utilicen sistemas de seguimiento manual (2 a 3 posiciones por día moviéndose de este a oeste), todos sus componentes deberán satisfacer los requisitos especificados anteriormente para las estructuras de soporte.

2.3 Acumulador (Batería)

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar, tanto, lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente

constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

2.3.1 Características Generales de los Acumuladores

- En su apariencia externa, una batería para aplicaciones fotovoltaicas no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con **ciclos de carga/descarga lentos**.
- Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de **ciclo profundo**, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.
- Aunque el costo inicial es más bajo, algunos expertos recomiendan no utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:
 - a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente,
 - b) los procesos de carga / descarga se hacen ineficientemente.Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.
- La **capacidad de la batería** se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una **tasa de descarga** en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C_{100}).

- La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías.
- Durante el **proceso de carga** se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de **orificios de ventilación** ubicados en la parte superior de la habitación. Por ello se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo.
- Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.
- Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.
- En cuanto al mantenimiento y vida útil de los acumuladores podemos adelantar que los diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libre de mantenimiento', no lo necesitan.
- Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

- Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15-30 % del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga.

2.3.2 Características Técnicas de los Acumuladores

Las baterías para uso fotovoltaico pueden ser de uno de estos tipos:

- Clásica: batería típica de automóviles (SLI Starting, Lighting, Ignition), 130Ah.
- Modificada: conocida también como solar, 100 Ah.
- Bajo mantenimiento, a menudo con aleación de plomo y calcio en las rejillas, 130Ah.

Las características que definen el comportamiento de una batería son fundamentalmente dos:

- La capacidad en Amperios-hora y
- La profundidad de la descarga.

2.3.3 Capacidad en Amperios hora

Los Amperios-hora de una batería son simplemente el número de Amperios que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente.

Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuanto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los **días de autonomía** es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Teóricamente, por ejemplo, una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, ó 50 A durante 4 horas, ó 4 A durante 50 horas, o 1 A durante 200 horas.

No obstante esto no es en la práctica exactamente así, puesto que algunas baterías, como las de automoción, están diseñadas para producir descargas rápidas en cortos períodos de tiempo sin dañarse. Sin embargo, no están diseñadas para largos períodos de tiempo de baja descarga. Es por ello que las baterías de automoción no son las más adecuadas para los sistemas fotovoltaicos.

Existen factores que pueden hacer variar la capacidad de una batería:

- **Ratios de carga y descarga.** Si la batería es cargada o descargada a un ritmo diferente al especificado, la capacidad disponible puede aumentar o disminuir. Generalmente, si la batería se descarga a un ritmo más lento, su capacidad aumentará ligeramente. Si el ritmo es más rápido, la capacidad se reducirá.
- **Temperatura.** Otro factor que influye en la capacidad es la temperatura de la batería y la de su ambiente. El comportamiento de una batería se cataloga a una temperatura de 27 grados. Temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente. Temperaturas más altas producen un ligero aumento de su capacidad, pero esto puede incrementar la pérdida de agua y disminuir el número de ciclos de vida de la batería.

2.3.4 Profundidad de descarga

La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga.

Las baterías de "ciclo poco profundo" se diseñan para descargas del 10 al 25% de su capacidad total en cada ciclo. La mayoría de las baterías de "ciclo profundo" fabricadas para aplicaciones fotovoltaicas se diseñan para descargas de hasta un 80% de su capacidad, sin dañarse. Los fabricantes de baterías de níquel-cadmio aseguran que pueden ser totalmente descargadas sin daño alguno.

La profundidad de la descarga, no obstante, afecta incluso a las baterías de ciclo profundo. Cuanto mayor es la descarga, menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener.

2.3.5 Batería solar Plomo-Ácido

Estas baterías se componen de varias **placas de plomo** en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una **rejilla** con una pasta de óxido de plomo incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina **electrolito**.

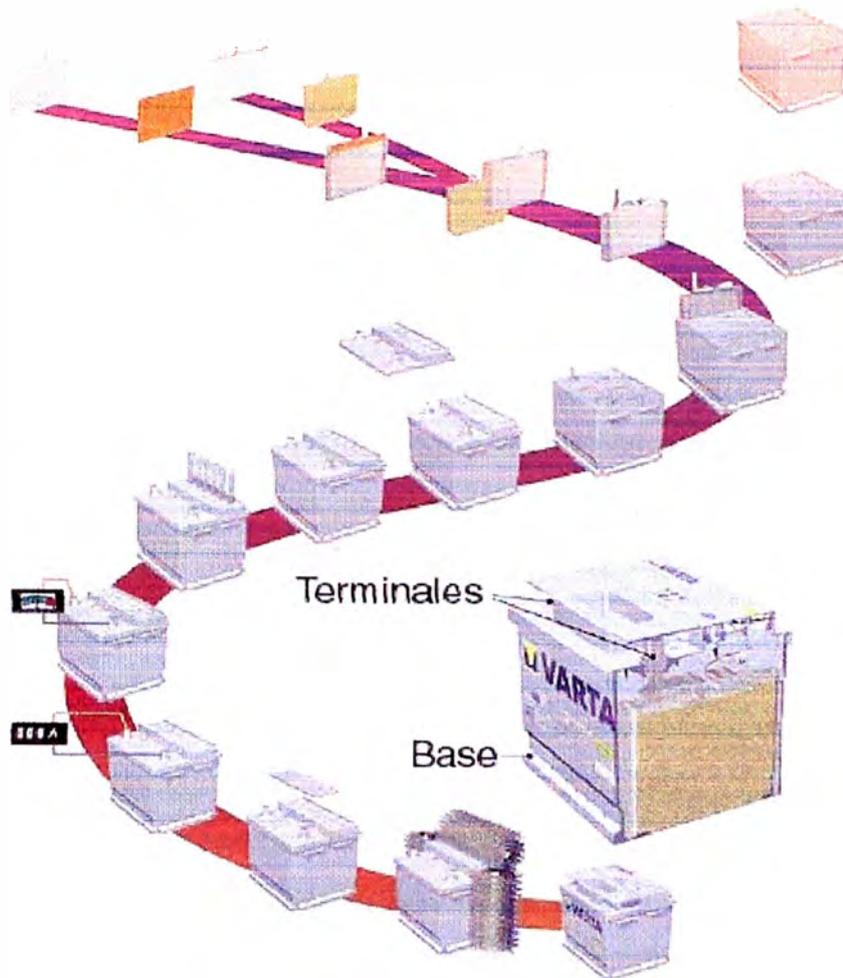


Figura 2.4 Batería solar Plomo-Ácido

- El material de la rejilla es una aleación de plomo porque el plomo puro es un material físicamente débil, y podría quebrarse durante el transporte y servicio de la batería.
- Normalmente la aleación es de plomo con un 2-6% de antimonio. Cuanto menor es el contenido en antimonio, menos resistente será la batería durante el proceso de carga. La menor cantidad de antimonio reduce la producción de hidrógeno y oxígeno durante la carga, y por tanto el consumo de agua. Por otra parte, una mayor proporción de antimonio permite descargas más profundas sin dañarse las placas, lo que implica una mayor duración de vida de las baterías. Estas baterías de plomo-antimonio son del tipo de "ciclo profundo".

- El cadmio y el estroncio se utilizan en lugar del antimonio para fortalecer la rejilla: ofrecen las mismas ventajas e inconvenientes que el antimonio, pero además reducen el porcentaje de autodescarga que sufre la batería cuando no está en uso.
- El calcio fortalece también la rejilla y reduce la autodescarga. Sin embargo, el calcio reduce la profundidad de descarga recomendada a no más del 25%, por lo que las baterías de plomo-calcio son del tipo de "ciclo poco profundo".
- Las placas positiva y negativa están inmersas en una solución de ácido sulfúrico y son sometidas a una carga de "formación" por parte del fabricante. La dirección de esta carga da lugar a que la pasta sobre la rejilla de las placas positivas se transforme en dióxido de plomo. La pasta de las placas negativas se transforman en plomo esponjoso. Ambos materiales son altamente porosos, permitiendo que la solución de ácido sulfúrico penetre libremente en las placas.

- Las placas se alternan en la batería, con separadores entre ellas, que están fabricados de un material poroso que permite el flujo del electrolito. Son eléctricamente no conductores. Pueden ser mezclas de silicona y plásticos o gomas.
- Los separadores pueden ser hojas individuales o "sobres". Los sobres son manguitos, abiertos por arriba, que se colocan únicamente sobre las placas positivas.
- Un grupo de placas positivas y negativas, con separadores, constituyen un "**elemento**". Un elemento en un contenedor inmerso en un electrolito constituye una "**celda de batería**".
- Placas más grandes, o mayor número de ellas, suponen una mayor cantidad de Amperios hora que la batería puede suministrar.
- Independientemente del tamaño de las placas, una celda suministrará sólo una tensión nominal de 2 voltios (para plomo-ácido). Una batería está constituida por varias celdas o elementos conectados en serie, interna o externamente, para incrementar el voltaje a unos valores normales a las aplicaciones eléctricas. Por ello, una batería de 6 V se compone de tres celdas, y una de 12 V de 6.
- Las placas positivas por un lado, y las negativas por otro, se interconectan mediante terminales externos en la parte superior de la batería.

2.3.6 Sulfatación de una batería de Plomo-ácido

Si una batería de Plomo-ácido se deja en un estado de descarga profunda durante un período prolongado de tiempo, se producirá su sulfatación. Parte del sulfuro del ácido se combinará con plomo procedente de las placas para formar sulfato de plomo. Si la batería no se rellena con agua periódicamente, parte de las placas quedarán expuestas al aire, y el proceso se verá acelerado.

El sulfato de plomo recubre las placas de forma que el electrolito no puede penetrar en ellas. Esto supone una pérdida irreversible de capacidad en la batería que, incluso con la adición de agua, no se puede recuperar.

2.3.7 La densidad como medida del estado de carga de una batería

La forma más sencilla de medir el estado de carga de una batería es a través de la medida de la densidad o gravedad específica del líquido contenido en el acumulador (electrolito). La densidad expresa cuanto pesa el electrolito en comparación con la misma cantidad de agua, y se mide con un densímetro o hidrómetro. El densímetro más común es el utilizado para automoción, que indica la carga en porcentaje. Presenta el inconveniente de que está calibrado para el electrolito utilizado en acumuladores de arranque y no estacionarios, por lo que marcará siempre menos de lo real (50% para un acumulador estacionario completamente cargado).

Cuanto mayor es la gravedad específica del electrolito, mayor es el estado de carga. El voltaje de cada vaso, y por tanto el de la batería, es también mayor. La medida de la densidad durante el proceso de descarga nos dará una buena indicación del estado de carga. Durante el proceso de carga, la densidad retrasará la medida del estado de carga debido a que la mezcla completa del electrolito no se producirá hasta el comienzo de la gasificación, cerca del final del período de carga. En todo caso, esto no debe ser considerado como una medida absoluta de la capacidad de la batería y debe ser combinado con otras técnicas.

2.3.8 Congelación de los acumuladores

Puesto que los acumuladores de plomo-ácido utilizan un electrolito que lleva agua, pueden llegar a congelarse. Sin embargo, el ácido sulfúrico que lleva actúa como un anticongelante. Cuanto mayor es el porcentaje de ácido en el agua, más baja es la

temperatura de congelación. No obstante, incluso un acumulador plenamente cargado a una temperatura extremadamente baja se congelará.

Según se muestra en la tabla adjunta, un acumulador de plomo-ácido, al 50% de carga, se congelará a una temperatura de unos -25 grados.

Tabla N° 2.1 Congelación de los acumuladores

Estado	Densidad	Voltios/vaso	Voltios/conjunto	Congelación
cargada	1,265	2,12	12,70	-57°C
75%	1,225	2,10	12,60	-38°C
50%	1,190	2,08	12,45	-25°C
25%	1,155	2,03	12,20	-16°C
descargada	1,120	1,95	11,70	-10°C

Como se puede observar, el acumulador debe mantenerse por encima de -10 grados, si va a estar totalmente descargado. Si no se va a poder mantener a una temperatura más elevada, deberá mantenerse el estado de carga a un nivel lo suficientemente alto para evitar la congelación. Esto se puede conseguir de forma automática con un regulador de carga capaz de desconectar el consumo cuando la tensión de la batería cae por debajo de un nivel preestablecido.

En departamentos como Puno donde la temperatura puede descender muchos grados bajo cero, se debe tener en especial consideración este fenómeno de congelación.

2.3.9 Baterías Níquel-Cadmio

Las baterías de níquel-cadmio tienen una estructura física similar a las de plomo-ácido. En lugar de plomo, se utiliza hidróxido de níquel para las placas positivas y óxido de cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de potasio.

El **voltaje nominal de un elemento** de batería de Ni-Cd es de 1,2 V, en lugar de los 2 V de los elementos de batería de plomo-ácido.

- Las baterías de Ni-Cd aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de plomo-ácido. Los valores de **autodescarga** oscilan entre 3 y 6% al mes.

- Les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. No tienen peligro de sulfatación. Su capacidad para aceptar un ciclo de carga es independiente de la temperatura.
- El coste de una batería de Ni-Cd es mucho más elevado que el de una de plomo-ácido; no obstante tiene un mantenimiento más bajo y una vida más larga. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso.
- Las baterías de Ni-Cd no pueden probarse con la misma fiabilidad que las de plomo-ácido. Por tanto, si es necesario controlar el estado de carga, las baterías de Ni-Cd no son la mejor opción.
- El Ni-Cd presenta el llamado "efecto memoria": la batería "recuerda" la profundidad de descarga y reduce su capacidad efectiva. Esto se debe a que el compuesto químico que se forma en una placa cargada tiende a cristalizar, por lo que si se le deja el tiempo suficiente queda inutilizada, perdiéndose capacidad. Este proceso no es irreversible pero si de difícil reversión.

2.4 Regulador de Carga

La función primaria de un regulador de carga en un sistema fotovoltaico es proteger a la batería de sobrecargas o descargas excesivas. Cualquier instalación práctica requiere un regulador de carga. La falta del mismo puede ocasionar una reducción de la vida útil de la batería y una pérdida de disponibilidad de uso.

Los sistemas con cargas pequeñas, predecibles y continuas pueden diseñarse para funcionar sin necesidad de regulador. Si el sistema lleva un acumulador sobredimensionado y el régimen de descarga nunca va a superar la profundidad de descarga crítica de la batería, se puede prescindir del regulador.

En pocas palabras el trabajo del regulador consiste en, si la batería ya está cargada, interrumpir el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, interrumpir el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con

indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

Idealmente la regulación de carga debería atender directamente al estado de carga de la batería, y en la actualidad hay sofisticados reguladores de carga en el mercado que funcionan bajo este principio. Sin embargo, son aún muy complejos y caros, por lo que su uso es difícil de justificar en SFDs. En consonancia con ello, normalmente sólo se consideran en los SFD reguladores de carga que atiendan al voltaje de la batería.

Típicamente el costo del regulador de carga representa sólo el 5 % de la inversión inicial en un SFD. Sin embargo, su impacto sobre el costo a largo plazo de un SFD es mucho más grande que ese porcentaje, porque las baterías pueden ser el componente mayor del coste total a lo largo de la vida útil del sistema, y la vida de la batería está directamente ligada a la calidad del regulador de carga. Por esta razón, deben usarse reguladores de carga de buena calidad, los cuales deberían estar diseñados para una vida útil de por lo menos 10 años.

Con el fin de proteger las baterías contra descargas excesivas, el suministro de electricidad a las cargas debe interrumpirse cuando el voltaje de la batería cae por debajo de un cierto umbral, llamado “**voltaje de desconexión de carga**”. Y no debe reanudarse hasta que el voltaje de la batería no haya superado otro umbral más alto, llamado “**voltaje de reconexión de carga**”. Las normas existentes son bastante inconsistentes en lo que respecta a los valores concretos de estos umbrales, pero esto no es sorprendente, porque el comportamiento eléctrico de las baterías no sólo depende del diseño particular de cada batería y del proceso de fabricación, sino también de la edad de la misma.

En la práctica, la selección del voltaje de desconexión debe buscar una solución de compromiso entre un usuario satisfecho (valores bajos de desconexión que maximizan la disponibilidad de energía) y la protección de la batería y otros componentes del SFD (valores altos de desconexión que alejan el riesgo de sobrecarga). La experiencia de campo

ha demostrado que los algoritmos muy protectores tienden a alentar prácticas indeseables, como por ejemplo el puenteo de los reguladores. A la luz de estas experiencias, es atrayente considerar el uso de luces de aviso, alarmas, rearmes, etc., para alertar al usuario del riesgo de desconexión, con el fin de que modere su consumo y pueda evitar la interrupción del suministro eléctrico. En el mercado de reguladores existe una amplia variedad de combinaciones de sistemas de alarma y protección contra descargas profundas.

2.5 Tablero de Distribución

La caja de conexiones o tablero de distribución debe tener las características técnicas siguientes:²

- Material: Acero comercial, con accesorios PVC para conexiones.
- N° de ingresos: 01
- N° de salidas: 02
- Protección: 01 Porta fusible y fusible de 10 A.
- Con accesorios para fijarla a superficie de madera, mediante tornillos.
- Dos manos de pintura anticorrosivo y una de esmalte.

CAPITULO III

AVANCES EFECTUADOS EN EL PAÍS

El avance más importante se dio en el marco del proyecto “Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú” de la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas, se aprobó su ejecución a partir del 21 de Abril de 1999.

El Objetivo del proyecto es “eliminar las barreras para electrificación rural sostenida utilizando tecnología fotovoltaica (PV por sus siglas en inglés PhotoVoltaic) en áreas rurales remotas, reduciendo de esta manera el crecimiento de largo plazo de las emisiones de gases de efecto invernadero”.

El proyecto debe cumplir con las siguientes tareas:

- La creación del marco favorable a la participación de pequeñas empresas privadas en la administración de los sistemas PV y su comercialización, instalación y mantenimiento, en consonancia con la Ley de Concesiones y con su aplicación a la generación de energía renovable.
- Incrementar el número de sistemas fotovoltaicos instalados, para permitir que las empresas capten economías de escala, y establecer esquemas razonables de financiamiento o crédito para los usuarios y/o empresas de servicio eléctrico rural puedan extender sus plazos de reembolso.
- Desarrollo y publicación de una base de datos sobre recursos, mercado y equipo fotovoltaico.
- Elaboración de pautas para garantizar la calidad de los componentes de los sistemas PV, y de las instalaciones.
- Capacitación a usuarios, técnicos y profesionales en las prácticas de empleo, instalación y mantenimiento de sistemas PV, así como en el conocimiento de los

requerimientos de certificación para suministrar componentes confiables de sistemas PV.

El proyecto contempla la instalación de 12500 SFD beneficiando al mismo número de familias en 250 comunidades rurales principalmente de la amazonía.

El proyecto tiene 7 componentes a saber:

- **Componente 1:** Desarrollo de la información y de una base de datos sobre energía renovable. Cabe destacar que este componente incluye la elaboración del “Atlas de Energía Solar”, que contiene información de la irradiación promedio en los diferentes departamentos.
- **Componente 2:** Elaboración de estándares para sistemas fotovoltaicos y certificación de instalaciones. Los proyectos pilotos anteriores a este proyecto demostraron la necesidad de la creación de un estándar para garantizar la calidad y vida útil de los SFDs. Es así que se ha elaborado las especificaciones técnicas para SFD.
- **Componente 3:** Creación de concesiones eléctricas rurales y empresas locales modelo. En este sentido se tiene un convenio con ADINELSA que es la encargada de la administración de los SFD instalados por el MEM.
- **Componente 4:** Fortalecimiento de las instituciones financieras para la electrificación con energía renovable.
- **Componente 5:** Instalación de 12500 sistemas fotovoltaicos en 250 comunidades rurales de la amazonía.
- **Componente 6:** Creación e implementación de un programa de capacitación para desarrollar las habilidades de las partes interesadas en la instalación, mantenimiento y operación de sistemas fotovoltaicos.
- **Componente 7:** Coordinación y monitoreo.

En cuanto a la instalación de SFDs (componente 5) la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas- DEP/MEM, instaló en el período 1997-2000, 1535 SFDs, como un adelanto de la contraparte peruana en el Proyecto PER/98/G31: “Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú” (constituyendo un aporte en especie reconocido por el Proyecto por US\$ 1’302 768), suscrito entre el Gobierno Peruano y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. De estos SFDs en el periodo

1998-2000 fueron instalados 1226 SFDs, en su mayoría en departamentos de la amazonía. La distribución de ellos se detalla en los anexos.

Dado que una de las premisas básicas del Proyecto reside en “asegurar la sostenibilidad de los sistemas que se instalen, independientemente de su número”, como parte de las acciones emprendidas por la DEP/MEM, han sido encargados trabajos de consultoría, que comprenden la evaluación técnica in situ de sistemas fotovoltaicos domiciliarios –SFDs (componente 7) – con el objetivo de determinar el estado de funcionamiento de sus componentes y operación del sistema como un todo.

El año 2003 se inicio la licitación LPI, a cargo de PNUD-UNOPS, para la adquisición de 1000 SFD (las primeras 1000 instalaciones empleando fondos en efectivo del proyecto) que debían instalarse el 2004, y en la cual resulto ganadora TOTAL Energie.

En electrificación rural la mayoría de las comunidades implicadas son de bajos recursos, por lo tanto uno de los principales problemas es la capacidad de pago de la inversión requerida para la instalación de los SFD, es por ello que el estado es el principal promotor y trata de dar todas las facilidades para que las empresas privadas incursionen en dicho rubro. Es en el marco de este proyecto que se han liderado los avances en nuestro país en la electrificación rural con sistemas fotovoltaicos, por tal motivo no hemos considerado las iniciativas privadas que están fuera de este proyecto (representan un pequeño porcentaje con respecto a este proyecto del Estado Peruano).

En lo que respecta al monto de la inversión considerado en este proyecto se tiene que, el presupuesto total es de **US\$ 10' 949 112**, desagregado en la siguiente forma:

Tabla N° 3.1 Inversión del Proyecto

Aporte en efectivo	US\$ 7'776 093
GEF en efectivo	US\$ 3' 930 093
Gobierno en efectivo	US\$ 3' 846 000
Aporte del Gobierno en especie	US\$ 1'796 768
Se prevé un aporte de los usuarios por	US\$ 1'376 251

GEF es el acrónimo de **Global Environmental Facility**.

En lo que respecta al componente 3 (Creación de concesiones) “se han seleccionado dos modelos de gestión, uno desarrollado por al UNI en Taquille, que “transfiere la propiedad de los equipos al usuario”, que puede ser adaptado a las condiciones de las comunidades de la amazonía, con la incorporación de un componente de subsidio. Para ello se está trabajando para compatibilizar el modelo propuesto y la legislación de electrificación rural. Otro modelo de “concesión de servicios”, se ha priorizado en el corto plazo y está en curso, para instalar y administrar durante 24 meses 1000 sistemas fotovoltaicos en el departamento de Loreto. Se busca así racionalizar gastos, asegurar el cumplimiento de garantías y evitar que se diluyan las responsabilidades por problemas presentados durante los primeros meses de operación, como ha venido ocurriendo en experiencias anteriores. En este segundo modelo, las instalaciones al cabo de los 24 meses de prueba del modelo de gestión, serán transferidas a ADINELSA, previo período de administración conjunta con el postor ganador.”

CAPITULO IV

CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

4.1 Demanda Domiciliaria

Para el cálculo de la energía de consumo necesaria diariamente (Wh/día), E_t , basta con multiplicar la potencia (W) de cada una de los equipos de que se dispone (luces, televisores, etc.) por el número de horas de su utilización respectivamente (h/día). Este último dato se debe estimar en base a la experiencia, u otras consideraciones, en el caso del proyecto que lleva a cabo el Perú ha sido estimado por la DEP/MEM en base a los objetivos del proyecto (que los beneficiados tengan “luz”, que puedan estar informados a través de los medios de comunicación y que a la vez resulte económico para llegar a más beneficiarios, es decir lo mínimo necesario). Para estimar la carga de consumo diaria (Ah/día), L_t , únicamente se deberá dividir la energía de consumo diaria (Wh/día) por la tensión nominal del sistema (V_n).

El SFD que objeto de nuestro análisis, considerado en las especificaciones técnicas peruanas, tiene las siguientes cargas (a una tensión nominal de 12V):

Iluminación: 2 luminarias de 15 W de consumo máximo del conjunto balastro-lámpara, utilizado durante 4 horas/día, usados excluyentemente, lo cual totaliza 60Wh.

Tomacorrientes: un radio o un televisor blanco y negro de 15 W, utilizados durante 4horas/día, que también da 60Wh.

Tabla N° 4.1 Demanda Domiciliaria

Descripción	Potencia	Horas de uso al día	Energía al día (Wh)
Luminarias	15 W	04	60 Wh/día
Radio o TV B/N	15 W	04	60 Wh/día
Total (E_t)			120 Wh/día

Lo que significa $L_t = 120 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 10 \text{ Amp-hora}$

4.2 Potencia del Panel (Wp)

La potencia pico de un panel es la potencia de salida, en Vatios, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1 KW/m^2 (la que se produce en un día soleado al mediodía solar).

Para nuestro caso las especificaciones peruanas requieren como mínimo un panel de 50Wp.

La radiación solar se puede dar en KWh/m^2 o en Langleys/día.

Con una radiación de $3,6 \text{ KWh/m}^2$ que sería el caso de las comunidades rurales del Departamento de Loreto, que estamos usando como ejemplo, se tiene que en todo el día la radiación es de 3,6 Horas de luz Plena u Horas de Pico Solar.

Es decir el panel va a producir todo el día como si hubiese producido 3,6 horas a su máxima potencia.

Un panel de 53 Wp que es la potencia nominal dará una corriente nominal aproximada 4,42 A ($53/12 \text{ A}$). Por lo tanto todo el día el panel producirá:

$$3,6 \text{ HPS} * 4,42 \text{ Amp} = 15,912 \text{ Amp-hora.}$$

En caso de que la radiación este medida en Langleys/día ($1 \text{ Langley} = 1 \text{ caloría/cm}^2$). Los Langleys son convertidos en Horas Pico Solar (HPS). Se trata de las horas de luz solar por día equivalentes a unas condiciones definidas (radiación solar de 100mW/cm^2 ; a la cual está siempre medida la potencia del panel).

La conversión se hace multiplicando los Langleys/día por 0,0116. Así, si tuviéramos 348 Langleys/día $\times 0,0116 = 4 \text{ HPS}$.

Esto quiere decir que el panel produce una energía durante todo el día como si hubiera trabajado sólo 4 horas a su potencia máxima, la cual viene indicada en el catálogo del panel. (Ej. $4 \text{ h.} \times 2,1 \text{ Amp.} = 8,4 \text{ Amp} \times \text{Hora}$).

Dimensionado del campo solar. El campo solar se compone de paneles conectados en serie y en paralelo. Mientras se coloquen más paneles en serie se obtendrá más tensión, y si se colocan más paneles en paralelo se obtendrá más corriente.

Paneles en serie: Se obtiene dividiendo la tensión necesaria por 12 (normalmente se trabaja a 12, 24 y 48 V.)

Paneles en paralelo: Se obtiene dividiendo el consumo diario en AmpHora/día por la potencia máxima obtenida por las Horas Pico Solar por panel y lugar (calculadas como más arriba).

En nuestro caso la norma requiere que se usen paneles con 36 celdas como mínimo y un tiempo de vida de 25 años. Evidentemente el diseño solo incluirá un panel con la capacidad suficiente.

Formulando matemáticamente lo anterior tenemos:

$$N = Nps \times Npp$$

siendo

$$Nps = Vng / Vnp$$

$$Npp = L / Nps$$

Donde:

Nps : Número de módulos asociados en serie para trabajar a la tensión nominal del sistema.

Npp : Número de módulos asociados en paralelo para entregar la intensidad adecuada de suministro.

Vng : Tensión nominal de la instalación.

Vnp : Tensión nominal del módulo: 12V (24V en casos especiales).

L : Energía real que se desea suministrar (Ah)

Im : Valor medio que toma la intensidad en el rango de tensión de trabajo, desde el punto de máxima potencia al de corto circuito.

$Gdm(\beta)$: Media mensual de la radiación global diaria sobre el plano inclinado, en el "mes peor", con base $1.000W/m^2$.

g : Rendimiento global del generador fotovoltaico: 0.9 (90%). Este factor ha sido contrastado en aplicaciones de electrificación rural, y ratificado por normas internacionales (Universal Standard for Solar Home Systems-SHS, Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998). Incluye pérdidas por dispersión de parámetros, suciedad de los módulos, efecto de la temperatura, pérdidas en el cableado y el regulador, etc.

b : Rendimiento faradaico de la batería (eficiencia media de carga/descarga de la batería en Amperios hora).

4.3 Capacidad del Acumulador

La capacidad nominal de la batería en 20-horas expresada en Ah (medida a 20 °C y hasta que el voltaje de un vaso llegue a 1,8 V/vaso) no debe exceder CR veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico (medida en las denominadas condiciones estándar: irradiancia igual a 1000 W/m² y temperatura de célula igual a 25° C). En la tabla siguiente se dan los valores de CR propuestos para cada tipo de batería.

Tabla N° 4.2 Capacidad del Acumulador

Tipo de Batería	CR	
	Obligatorio	Recomendado
Tubular	20	15
SLI:		
Clásica	40	30
Modificada	40	35
Bajo-mantenimiento	40	30

La máxima profundidad de descarga, PD_{MAX} , (referida a la capacidad nominal de la batería en 20-horas) no debe exceder los valores propuestos en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.3 Profundidad de Descarga

Tipo de Batería	$PD_{MAX}(\%)$	
	Obligatorio	Recomendado
Tubular	80	70
SLI:		
Clásica	50	30
Modificada	60	40
Bajo-mantenimiento	30	20

La capacidad útil de la batería, CU, (la capacidad nominal en 20 horas, como se definió anteriormente, multiplicada por la máxima profundidad de descarga) deberá permitir entre tres y cinco días de autonomía (R).

El valor de CR debe ser lo suficientemente bajo para asegurar que los módulos fotovoltaicos son capaces de recargar adecuadamente la batería. Los valores propuestos de CR (relación entre la capacidad nominal de la batería, CB, y la corriente de cortocircuito del generador) dependen del tipo de batería, como se muestra en la Tabla, y buscan evitar corrientes de carga que resulten excesivamente bajas para el tipo de batería considerado. La capacidad útil de la batería, CU, debe también tomar en cuenta las condiciones

meteorológicas locales. Obviamente cuanto más grande sea la cantidad de días nublados esperados, más grande deberá ser el valor de CU.

A modo de ejemplo:

En nuestro caso el SFD compuesto por un módulo fotovoltaico, cuya corriente de cortocircuito en condiciones estándar es igual a 6A, y por una batería SLI modificada.

Entonces:

$CB = 40 \times 6 = 240$ Ah es el valor obligatorio.

$CB = 35 \times 6 = 210$ Ah es el valor recomendado.

Supongamos además que el SFD debe proveer 10 Ah al día, en un lugar bastante seco.

Entonces:

$CB = 10 \times 3/0.6 = 50$ Ah es el valor obligatorio.

$CB = 10 \times 3/0.4 = 75$ Ah es el valor recomendado.

Por lo tanto CB debe ser elegido en los siguientes rangos:

Obligatorio $50 \text{ Ah} < CB < 240 \text{ Ah}$.

Recomendado $75 \text{ Ah} < CB < 210 \text{ Ah}$.

En nuestro caso podemos usar una batería de tipo modificada de 100 Ah de capacidad como indican las especificaciones técnicas.

4.4 Regulador

El regulador deberá ser adecuado a las características de módulo y batería a ser suministrados. Pudiendo ser electromecánico o de estado sólido de tipo “On - Off” o con “modulación por ancho de pulso” (PWM).

Deberá contar con protección contra descargas profundas.

El regulador protegerá a la batería cuando ésta se encuentre en un estado de carga excesivamente bajo, desconectando automáticamente las cargas; y cuando el estado de carga de la batería lo permita, volverá a reconectar las cargas automáticamente.

La tensión de “desconexión de carga” deberá corresponder a una profundidad de descarga de la batería del 40%, para una corriente de descarga de 2 A. Cuando las cargas hayan sido

desconectadas por el regulador debido a un estado de carga de la batería excesivamente bajo, el regulador lo indicará con una señal analógica o luminosa de color rojo.

La “tensión de reconexión de carga” deberá ser 1 V superior a la “tensión de desconexión de carga”. Cuando las cargas se encuentren conectadas, debido al estado de carga de la batería suficientemente elevado, se indicará con una señal analógica o luminosa de color verde.

Las tensiones de desconexión y reconexión, en ambos casos, deberán tener una precisión de 60 mV y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente.

El regulador protegerá a la batería cuando ésta se encuentre en un estado de carga excesivamente alto, finalizando la carga de energía desde el módulo hacia la batería, automáticamente; y cuando el estado de carga de la batería lo permita repondrá la carga de energía desde el módulo hacia la batería automáticamente. Las Tensiones de “Fin de carga” y de “reposición de carga” se especifican en la tabla de datos técnicos garantizados. Si se utiliza reguladores electromecánicos, la reposición de carga deberá retardarse entre 1 y 5 minutos.

El regulador de carga deberá resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, con cualquier condición de carga permitida, operando en condiciones estándar. En este caso, también debe proteger a las cargas, limitando el voltaje de salida a un máximo de 15,6 V.

El regulador de carga deberá resistir sin daño la siguiente condición de operación: Temperatura ambiente de 45°C, corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico suministrado, en condiciones estándar de medida y corriente de descarga de 2,8 A. por una hora (1) continua.

El regulador de carga deberá estar protegido contra polaridad inversa tanto en la línea del módulo como en la de la batería.

El regulador de carga deberá contar con protección contra sobretensiones por medio de dos supresores de sobretensiones de 1000 V o mayores, uno de ellos instalado entre ambos polos (+ y -) de la entrada correspondiente al generador fotovoltaico, y otro instalado entre ambos polos (+ y -) de la salida correspondiente a las cargas.

El regulador de carga no deberá producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación.

Todos los terminales del regulador, deberán poder acomodar fácilmente cables de por lo menos 6 mm² de sección.

La geometría de los reguladores, deberá permitir el acceso con cierta facilidad a los fusibles y terminales de cables.

El diseño del regulador deberá permitir su reparación local; no deberá ser sellado.

Los reguladores deberán suministrarse con elementos de soporte y fijación adecuados para su montaje. La instalación deberá ser relativamente simple.

Los terminales de conexión del regulador hacia los otros equipos, deberán estar claramente identificados con su respectiva polaridad, según el circuito que corresponda.

Los reguladores deberán permitir que los umbrales de tensión puedan ajustarse por el personal técnico siguiendo instrucciones proporcionadas por el fabricante.

CAPITULO V

INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1 Principios de Operación

Para maximizar la vida útil de las baterías de plomo-ácido, hay que evitar las siguientes condiciones operativas:

- Altos voltajes durante la carga (para prevenir la corrosión y la pérdida de agua).
- Bajos voltajes durante la descarga (corrosión)
- Descargas profundas (sulfatación, crecimiento de dendritas)
- Periodos extensos sin recargas totales (sulfatación)
- Temperaturas altas de la batería (todos los procesos de envejecimiento se aceleran)
- Estratificación del electrolito (sulfatación)
- Corrientes de carga muy bajas (sulfatación)

Los sistemas fotovoltaicos, están diseñados para satisfacer la demanda de energía de la carga por un determinado tiempo de uso diario.

Se debe recomendar al usuario a cuidar y obtener el mejor aprovechamiento del sistema, vigilando frecuentemente el estado de la batería en el medidor de voltaje del controlador.

Al utilizar el sistema diariamente, si se llega a exceder el tiempo de uso diario, la batería se descargaría y el controlador de carga desconectaría las lámparas como protección de la batería (zona roja del medidor de voltaje).

Si en esos momentos si se tiene una emergencia, se puede colocar la palanca de “Emergencia”, para que utilice sus lámparas un poco mas de tiempo. Una vez transcurrido ese periodo, las lámparas volverán a desconectarse y se reconectaran automáticamente hasta que su batería recupere su carga. Es muy importante regresar la palanca a la posición de “Normal”, de lo contrario dañaría la batería.

5.2 Instalación

A continuación se detalla las especificaciones de instalación del Proyecto PER/98G31 Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú, del Ministerio de Energía y Minas, el cual da el marco para este tipo de proyectos (SFDs).

- La fijación de los módulos a los soportes sólo podrá realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.
- El ángulo de inclinación de los módulos instalados en su soporte deberá ser igual a 15°C.
- El montaje de las estructuras de soporte deberá preservar su resistencia a la fatiga, corrosión y efectos del viento.
- Los módulos con su soporte deberán estar montados sobre los postes de forma tal que el módulo fotovoltaico esté libre de sombras durante 8 horas al día a lo largo de todo el año.
- Las baterías deberán ser instaladas completamente cargadas y su capacidad inicial, puesta en operación, no deberá diferir en más del 5% del valor nominal.
- La batería deberá ser instalada en un espacio bien ventilado y con acceso restringido.
- Deberán tomarse las precauciones del caso, para evitar el cortocircuito accidental de los terminales de la batería.

Se emplearán los siguientes conductores:

- Entre módulo y regulador : 6 mm² tipo RHW
- Entre regulador y batería : 6 mm² tipo THW
- Entre regulador a caja de conexiones : 6 mm² tipo THW
- Entre caja de conexiones y cargas : 2,5 mm² tipo THW
- Del módulo a tierra : 16 mm² tipo THW
- De regulador a tierra: Según especificación del fabricante del regulador.

Las instalaciones interiores (regulador-batería, regulador-tablero, tablero-cargas) llevarán conductores protegidos con tubos PVC. Se permite no usar tuberías PVC si se emplean conductores bipolares con cubiertas de protección mecánica indoprene TM (tipo TWT), dichos conductores no requieren de tubería y deben fijarse a las paredes con grapas adecuadas.

La instalación entre módulo-regulador usará tubería dentro de la vivienda, salvo se emplee cable bipolar tipo RHW-2 entre módulo-regulador.

- La polaridad de los conductores para interior, deberá ser de fácil identificación.
- Los conductores al interior de la vivienda deberán ser protegidos con tubos PVC-SAP, del diámetro apropiado, los cuales deben asegurarse adecuadamente a las estructuras de soporte o a las paredes para evitar esfuerzos mecánicos sobre otros elementos de la instalación eléctrica (tablero de distribución, batería, controlador, balastos, interruptores, etc.). Si las paredes de vivienda fueran de madera, los tubos PVC deberán fijarse con grapas a las paredes, a intervalos adecuados, para asegurar su posición vertical u horizontal. De no ser así, deberán embutirse en las paredes y recubrirse con yeso o similar.
- Los conductores deberán mantenerse fuera del alcance de los niños y estar dispuestos disponerse horizontal o verticalmente, nunca oblicuamente.
- Los extremos de los cables de sección igual o mayor de 4 mm² deberán estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección menor o igual a 2,5 mm² podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada.
- Todos los terminales de los cables deberán permitir una conexión segura y mecánicamente fuerte. De igual forma, deberán contar con una pequeña resistencia interna, que impida caídas de tensión superiores al 0,06 V. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente. En las cajas de paso tanto para el circuito de luz y tomacorrientes los empalmes deberán ser realizados con elementos mecánicos de ajuste o presión.
- Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos.
- Se efectuará una puesta a tierra desde el negativo o positivo (dependiendo del tipo de controlador) de la batería, empleando cable de 16 mm², con una varilla de cobre de ½" x 1 m enterrada bajo tierra. Se colocarán grapas adecuadas para fijar el conducto batería -tierra.
- Se instalará dos interruptores de cuchilla (10 Amperios) o llaves térmicas (20 Amperios) al interior de la vivienda, uno para aislar manualmente los polos positivo y negativo entre el controlador y el tablero de distribución además de facilitar trabajos de

instalación y mantenimiento. El otro para aislar eléctricamente el módulo solar del regulador.

- La instalación incluirá dos salidas desde el tablero de distribución, una para el circuito de luminarias y otra para el circuito de tomacorrientes.
- La instalación incluirá la adaptación de dos enchufes de aparatos de propiedad del usuario (TV, radio o radio grabadora), que puedan ser alimentados con una tensión de 12 V en corriente continua, así como la colocación de dos tomacorrientes adecuados a dichos enchufes, que eviten problemas de inversión de polaridad al desconectarse y volver a conectarse. Igualmente incluirá la colocación de un convertidor de tensión que permita al usuario el empleo de uno de sus aparatos (radio o radio grabadora), que trabaje a tensión diferente a 12 V en corriente continua.
- El fusible deberá instalarse en la línea de polaridad positiva.
- Deberá proveerse un cartel plastificado, con espacio suficiente para indicar en forma clara la fecha de instalación, así como instrucciones al usuario para actividades de operación y mantenimiento, y penalidades en caso de manipuleo indebido de componentes del SFD.
- El proveedor deberá proteger las conexiones de cables y bornes de los componentes del SFD, en forma tal que puedan identificarse en forma evidente los casos en los que el usuario sea responsable de manipuleo indebido de componentes, lo cual estará expresamente prohibido en los sistemas instalados (al respecto, el proveedor puede usar cubiertas de silicona en las uniones, cajas con candados, etc.). Sólo el administrador de los SFD, puede manipular cables y bornes para atender actividades de mantenimiento y/o reparación del SFD).

5.3 Puesta en Operación

Una vez instalado el sistema es recomendable mantenerlo sin uso por lo menos 3 días para que la batería logre cargarse al 100%.

Para la operación del sistema, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- Coloque el “switch” de (Normal/Emergencia) del controlador de carga en “Emergencia” e inmediatamente en “Normal” (esto “reseteará” el sistema).
- Encienda el interruptor de la carga que desee (cualquiera de las lámparas compactas de 9 watts).

- Verifique el estado de su sistema:
 - Si el día, el LED amarillo de “Módulo” debe encender.
 - El LED verde de batería “Normal” debe encender.
 - El voltímetro debe marcar en la zona verde.

5.4 Mantenimiento Preventivo

Las instalaciones fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

- Paneles: requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración: no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año: asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente utilizar agua y algún detergente no abrasivo. Quite el exceso de tierra o polvo notable en los módulos con un paño húmedo. Recuerde que mientras más limpio se encuentre el vidrio, mejor captación solar obtendremos.
- Regulador: la simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas. Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación del conexionado y cableado del equipo; observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro: dan un índice del comportamiento de la instalación.
- Acumulador: es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones usuales que deben realizarse son las siguientes:
 - Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente): debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "Máximo" y "Mínimo". Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben rellenar con agua destilada o desmineralizada. No debe rellenarse nunca con ácido sulfúrico.

- Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de los terminales de la batería; debe limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.
- Medida de la densidad del electrolito (si se dispone de un densímetro): con el acumulador totalmente cargado, debe ser de 1,240 +/- 0,01 a 20 grados Celsius. Las densidades deben ser similares en todos los vasos. Diferencias importantes en un elemento es señal de posible avería.
- la batería deberá reemplazarse cada 3 a 5 años aproximadamente, dependiendo de su uso y cuidados anteriores. La batería requiere reemplazarse cuando su capacidad es tan baja que no respalda un período de nublados de varios días.
- Limpie los tubos de las lámparas compactas para una mejor iluminación. Para ello puede extraerles de su receptáculo jalando y “cabeceando” el tubo ligeramente. Limpiarlo con un paño húmedo.

CAPITULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DOMICILIARIO (SFD)

El aspecto más importante en la puesta en marcha de proyectos de electrificación rural a base de SFDs es sin duda el económico. Es importante determinar la **Capacidad de Pago** de los usuarios finales pues de ello dependerá el éxito de cualquier programa. Si no es posible cubrir los costos de mantenimiento los equipos que fallen y queden fuera de servicio estarán condenados a convertirse en chatarra rápidamente, muchas de las personas al ver que los equipos fallan (como cualquier máquina) pueden optar por dejar de pagar, como en el caso documentado por la DEP-MEM en la que todo un pueblo se negaba a pagar si no se reemplazaban todas las baterías, a pesar que sólo algunas de ellas eran las que habían fallado (y esto debido a las contingencias no previstas en cualquier proyecto piloto.)

Esto también da una excusa para no pagar a los realmente morosos, como resultado no hay dinero para seguir realizando inversiones y el proyecto se detiene.

Dado que, como ya mencionamos este tipo de sistemas en nuestro país esta dirigido a personas de bajos recursos principalmente, que viven alejados de los centros poblados “importantes”, tampoco se puede esperar que tengan una capacidad de pago elevada, este es uno de los factores del porqué la empresa privada esta poco motivada a invertir en este tipo de proyectos. El estado, sin embargo, en su papel promotor, esta buscando los mecanismos adecuados de administración que permita a las empresas que se aventuren en esta área recuperar su inversión y así incentivar a que otros incursionen, al final esto significa que mas gente tendrá electricidad y elevará su nivel de vida.

En el marco del proyecto **Proyecto Per/98/G31- Energía Solar**, para el cálculo de la capacidad de pago de los beneficiarios se emplea el enfoque de “**Sustitución de Costos**” cuyos criterios generales son los siguientes:⁵

- Los pobladores rurales para satisfacer sus demandas de energía (en iluminación, acceso a las comunicaciones, etc.) requieren adquirir ciertos insumos (como velas, kerosene, pilas, etc.) denominados también fuentes o insumos tradicionales.
- Para obtenerlos los pobladores incurren en costos, tanto de adquisición de los insumos como los costos operativos.
- Para que SFDs sean usados para reemplazar los insumos tradicionales de energía y resulten convenientes en este escenario, deben entonces demostrar sus mejores condiciones técnicas por lo menos al mismo costo.
- El ahorro correspondiente, en costos de adquisición y operativos con insumos tradicionales, al reemplazarlos con SFDs, puede ser usado para pagar los costos relevantes de los SFDs. Este ahorro define la **Capacidad de Pago** que tendrán los pobladores rurales.
- Los costos relevantes por el SFD son 2: (1) el costo de inversión (que incluye la compra e instalación) en el activo, y (2) los costos por la operatividad y mantenimiento durante su vida útil económica.
- La adquisición de la información necesaria se realiza a través de encuestas a las autoridades de las poblaciones rurales objetivo (250 comunidades en el marco del proyecto Per/98/G31) y se validan algunas muestras dentro de la población.
- La determinación de la capacidad de pago para cada población objetivo, implicaría elevados costes en los estudios de mercado, y por ende se toma algunas muestras estadísticas para diversos segmentos y luego se extrapola a las demás poblaciones dentro de aquel segmento, en cuya clasificación se tiene en cuenta variables como las actividades productivas típicas (ya sean ganadería, agricultura o ambas), tamaño de población, entre otros.

6.1 Cálculo de la Capacidad de Pago

La lógica del cálculo se puede establecer a partir del siguiente ejemplo:⁵ “una familia de una determinada localidad utiliza 8 litros de kerosene al mes en la lámpara y consume 20 velas. Si el precio de mercado del kerosene es S/.1,5 por litro (al año 2001 para el ejemplo) y el de cada vela S/.0,5 por unidad; entonces se puede decir que dicha familia incurre en un gasto total en iluminación que asciende a S/.22 al mes. De los dos componentes que determinan este costo, el primero es más complicado de obtener debido a que las familias pueden no tener interiorizada esta información, ya que el insumo en

cuestión puede tener mas de un uso. Por ejemplo se usa el kerosene para la lámpara y para cocinar.”

A través de este cálculo se determinó que en la mayoría de casos estas poblaciones objetivo podían aceptar un compromiso de pago promedio de 15 a 20 nuevos soles, lo que representa el 50% del costo operativo de un SFD, pero puede compensar la venta de la energía generada. Es por ello que las características de un SFD alcanzan solo niveles de consumo básico.

La información necesaria luego de ser procesada puede ser resumida en las siguientes tablas:⁶

Iluminación

Tabla N° 6.1 Instrumentos de Iluminación

Instrumentos de Iluminación					
Lámpara a Kerosene		Velas		Otros	
Uso	Horas-Sem	Uso	Horas-Sem	Usa	Horas-Sem

Tabla N° 6.2 Variables

Rendimiento de Fuente de Energía			Precio de compra de Fuentes de Energía tradicional		
Kerosene (en horas por litro/galón)	Velas (en horas por unidad)	Otro (en horas por unidad)	Kerosene (litro/galón) (*)	Velas	Otro

Tabla N° 6.3 Cantidades

Cantidad mensual usada de Fuentes de Energía en instrumentos de iluminación			Costo operativo mensual de las Fuentes de Energía para iluminación			
Kerosene	Velas	Otro	Kerosene	Velas	Otro	Total

6.1.2 Comunicaciones

Tabla N° 6.4 Comunicaciones

Artefactos de Comunicación				Fuentes de Energía tradicional para artefactos	
Uso	Horas-Sem	Uso	Horas-Sem	Pilas	Batería

Tabla N° 6.5 Consumo y Precio

Consumo de Fuentes de Energía de los artefactos			Precio pagado por las Fuentes de Energía		
Tiempo que le dura la batería en años	Veces que recarga la batería al año	Compra mensual de pilas	Pilas	Precio de las baterías	Recargar baterías

Tabla N° 6.6 Costo Operativo Mensual

costo operativo mensual de las fuentes de energía para comunicaciones				costo total promedio mensual (capacidad de pago)
Pilas	Recargar baterías	Compra de baterías	Total	

Estas tablas reflejan la cantidad de información que se requiere así como los cálculos necesarios para hallar la Capacidad de Pago (mensual) para los pobladores de la población objetivo X.

6.2 Costo de los SFDs

Como mencionamos en el acápite anterior los costos implicados en la utilización de SFDs son tanto los propios a la adquisición del equipo, y los de mantenimiento. En la tabla siguiente podemos observar una estructura de los costos en SFDs realista.

Tabla N° 6.7 Costos de los SFDs

Estructura de costos sistema solares domésticos (ssd)						
(Preliminar)						
Item	Descripción	Cant.	Precio Unit. US\$	Precio Total US\$	% Costo Inv	Vida útil en años
1	Panel Fotovoltaico y soporte	1	210.00	210.00	37.48	20
2	Batería de 100Ah, 12 VCC	1	61.00	61.00	10.89	4
3	Controlador de Carga	1	42.00	42.00	7.50	12
4	Conductores	1	20.00	20.00	3.57	20
5	Equipo de Iluminación de 9 W	3	18.16	54.48	9.72	4
6	Interruptores de un polo	3	0.50	1.50	0.27	12
7	Caja de Conexiones	1	6.53	6.53	1.17	20
	TOTAL PRECIO FOB			395.51	70.59	
	TRANSPORTE Y SEGURO (5%)			19.78	3.53	
	INTERNAMIENTO			0	0.00	
	TOTAL PRECIO CIF			415.29	74.12	
	INSTALACION			145	25.88	
	TOTAL INVERSIÓN			560.29		

	Costo Operación y Mantenimiento por mes					
	Honorarios de un técnico local	30	35	1050		
	Desplazamientos por vía fluvial	20	60	1200		
	Viáticos	20	20	400		
	Herramientas, instrumentos	1	30	30		
	TOTAL MENSUAL			2680		
	Inspección y Mantenimiento diario			25		SFD
	Inspección y Mantenimiento mensual (20 días * 25)			500		SFD
	COSTO UNITARIO POR SFD			5.36	0.96	
	COSTO ANUAL O&M POR SSD (dos visitas anuales)			10.72		

Fuente: Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas.

Al margen de la actualidad de los datos, se puede apreciar la importancia relativa de cada ítem, en el costo total. Vemos que la instalación representa aproximadamente la tercera parte de lo que cuesta el equipo. Los paneles y el soporte significan el 50 por ciento del costo en equipos (37% de la inversión total) y las baterías, aunque son relativamente baratas (aproximadamente un 10% de la inversión total) su tiempo de vida es de sólo 4 años versus los 20 años del panel, y por lo tanto si no se diseña y opera correctamente se puede convertir en el principal costo del SFD al poco tiempo de instalarse. Por último el costo de mantenimiento es de cerca al 2% por SFD anualmente, con dos visitas de 5\$ cada una.

Los precios variaran por cierto dependiendo de la marca así como de la capacidad de los equipos. Algunas de las marcas de paneles solares son:

- ASTROPOWER
- BP SOLAR
- SOLAREX
- SIEMENS
- SHARP
- SHELL
- KYOCERA
- UNISOLAR
- EVERGREEN.
- PHOTOWATT, una de las marcas usadas por Total Energi SAC (ganadora de la licitación LP1 del proyecto Per/98/G31).

Por ejemplo para una marca conocida los precios según la capacidad de los paneles (precio sin considerar el transporte y los otros gastos) muestra la siguiente distribución:⁷

Tabla N° 6.8 W vs Precio

Wattage Pico (watts)	Precio US \$
10	152.40
20	267.56
30	338.33
40	385.57
60	467.87
65	507.49
75	583.69
85	667.51

**Figura 6.1 Grafica Precio vs Watts pico**

Aquí, en Perú, dos empresas que ofrecen equipos para SFDs son, al momento de escribir estas líneas (Sep 2005), SCHONIMEX S.A.C y TOTAL ENERGIE PERU S.A.C.

6.3 Conclusiones

- Los proyectos se desarrollan en base a venta de energía, por lo que las instalaciones pueden ser reubicadas, mejoradas o renovadas sin costos para el usuario y constituyendo un bien del estado posible de ser utilizado en nuevos proyectos.
- La experiencia en el uso de los SFD nos demuestra que las mejoras de las condiciones de vida de las poblaciones beneficiadas facilita:
- la concentración poblacional
 - nuevos hábitos de consumo
 - crecimiento comercial
 - desarrollo social
 - apertura a nuevas alternativas de salud, industria y educación
- Existe la posibilidad de utilizar SFD como sistemas de pre-electricificación en donde el logro de las condiciones anteriores estimule, garanticen y faciliten el ingreso de la energía eléctrica convencional.
 - La ejecución de proyectos de esta naturaleza, debe estar acompañado de un programa de monitoreo y control de las instalaciones, ya que se ha registrado casos de

aplicaciones muy importantes en el oriente peruano que sencillamente no han prosperado debido a la pérdida, deterioro o mal uso de los SFD.

- La política del MEM, es abarcar la mayor cantidad de usuarios beneficiados pero de acuerdo al método de evaluación no siempre puede calificar un usuario, dándose el caso del traslado de ubicación de las instalaciones desde la ubicación de un usuario que abandona el servicio hacia la ubicación de otro que acepta realizar los pagos.

CAPITULO VII

PLAN DE ELECTRIFICACIÓN CON SISTEMA FOTOVOLTAICO A NIVEL NACIONAL

El proyecto “Electrificación Rural a Base de Sistemas Fotovoltaicos” contempla la instalación de 12500 SFDs en comunidades de nuestra amazonía principalmente, y para ello, la selección de las comunidades donde se ejecutará el proyecto debe cumplir con ciertas condiciones:

- Encontrarse lejos de los Sistemas interconectados y no figurar en el ámbito de los planes de ampliación de estos sistemas por los próximos 10 años.
- Dar preferencia a los centros poblados de poblaciones con un mínimo de 100 familias; a partir de este tamaño las comunidades han desarrollado experiencia organizacional y administrativa.
- Sobre esta base es posible insertar sistemas de gestión.
- Ser propietarios de sus tierras en extensiones mínimas de 2 Ha en poblaciones de la Sierra y 20 Ha en Selva.
- La población de la comunidad elegida debe combinar actividades de ganadería y agricultura como fuentes de ingresos, tanto en sierra como selva.
- La comunidad debe haber probado su capacidad organizativa, mostrando algún proyecto o gestión exitosa a favor de su comunidad."

El proyecto además contempla la promoción de la inversión privada a través del “Programa de Promoción de la Participación Privada en la inversión en el servicio eléctrico rural”, que contempla el modelo de dar en concesión la administración de los SFDs instalados por el MEM, la emisión de bonos para el financiamiento de una parte del proyecto, entre otros.

En cuanto a lo que queda por hacer, empezaremos por las cifras. El **Presupuesto Total Desagregado del Proyecto** es:

Tabla N° 7.1 Presupuesto

COMPONENTE	GEF	GOBIERNO (US\$)			OTROS (usuarios) (US\$)	TOTAL (US\$)
	(US\$)	Efectivo	Especie	Total		
1.- Información	140 000		144 000	144 000		284 000
2.- Estándares	253 000					253 000
3.- Concesiones	275 000		50 000	50 000		325 000
4.- Financieras	300 000		150 000	150 000		450 000
5.- Instalaciones	1'827 625	3'733 981	1'302 768	5'036 749	1'376 251	8'240 625
6.- Capacitación	450 000					450 000
7.- Monitoreo	570 000		150 000	150 000		720 000
Apoyo administ.	114 468	112 019		112 019		226 487
Sub-totales	3'930 093	3'846 000	1'796 768	5'642 768	1'376 251	10'949 112
Total efectivo	7 776 093					

y con lo cual existía un saldo a Diciembre del 2003 de:

Tabla N° 7.2 Saldo

COMPONENTE	GEF	GOBIERNO (US\$)			OTROS (usuarios) (US\$)	TOTAL (US\$)
	(US\$)	Efectivo	Especie	Total		
1.- Información	4 359					4 359
2.- Estándares	231 074					231 074
3.- Concesiones	210 713		50 000	50 000		260 713
4.- Financieras	295 829		150 000	150 000		445 829
5.- Instalaciones	1 823 454	3 733 981		3 733 981	1'376 251	6 933 686
6.- Capacitación	428 341					428 241
7.- Monitoreo	402 376		30 000	30 000		432 376
Apoyo administ.	101 884	112 019		112 019		213 903
Sub-totales	3 498 030	3'846 000	230 000	240 000		8 950 281

Lo que nos da una idea de lo que todavía se puede seguir haciendo en los próximos años del proyecto puesto que para instalaciones queda aun una fuerte cantidad, la parte del GEF sólo se podrá disponer de acuerdo a la inversión que haga el estado en ese rubro en el marco del proyecto, en forma de porcentaje. Con los saldos en algunos rubros piensan instalar más SFDs.

De funcionar el plan de promoción como se espera, las empresas privadas tomarán la batuta en la instalación en masa de SFDs en el futuro. El financiamiento será privado, la administración será privada, para ello se formaría un Banco Fiduciario, que administra un “Fondo Intangible y Fideicometido” el cual con la emisión de bonos por ejemplo financia la instalación de SFDs, la empresa privada que los administre cobra a los usuarios por mantenimiento y operación y además en la tarifa de los usuarios del SINAC con consumo mayor a 150 KW-hr/mes y que se encuentren en el sector típico 1, se pondrá un adicional. Con este último y el dinero que sobre en el primer caso que regresa al fondo, se usará para pagar los compromisos de los bonos y los otros tipos de financiamientos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Es evidente que los requerimientos ambientales actuales incentivan la aplicación de los Sistemas Fotovoltaicos, ello debe ir acompañado de una política adecuada que permita canalizar los esfuerzos tanto del sector privado como en el caso del sector público.
2. Debido a las múltiples alternativas existentes en el mercado internacional, la implementación de la reglamentación correspondiente a la aplicación y uso de los SFD de acuerdo a las necesidades y exigencias geográficas, climáticas y sociales en el Perú.

Recomendaciones

1. Es importante incentivar la participación Privada mediante el aporte de capitales y tecnología, así como la captación de experiencias a nivel internacional.
2. La participación comprometida de las poblaciones es un proceso que debe ser impulsado por el Estado y las Instituciones Regionales, ello permitirá asegurar la conservación y aprovechamiento de los SFD.

BIBLIOGRAFIA

1. DEP – MEM, “Manual de uso de la energía solar” Energía Renovable Proyecto Per/98/G31, 1998
2. “Universal Technical Standard for Solar Home Systems”, Universidad Politecnica de Madrid – España, 1998.
3. Sergio Bravo, “Metodología para la Determinación de la Capacidad de Pago de la Población Rural por los Sistemas Solares Domésticos”, DEP – MEN, 2001