

EVALUACIÓN DE CAMPO DEL PROYECTO “ELECTRIFICACIÓN RURAL FOTOVOLTAICA- II ETAPA” EN EL PERÚ

María Camino Villacorta – maria.camino@ies-def.upm.es

Miguel Ángel Egido Aguilera – egido@ies-def.upm.es

Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid (España)

Edgar Nina Eduardo – enina@uni.edu.pe

Centro de Energías Renovables – Universidad Nacional de Ingeniería (Perú)

Ivo Salazar – isalazar@deuman.com

Deuman (Perú)

Resumen. El presente artículo expone los resultados de la evaluación técnica del proyecto Electrificación Rural Fotovoltaica- II Etapa en el Perú. La evaluación ha sido llevada a cabo tras dos años de operación de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios sobre una muestra de 127 sistemas de 46 comunidades en 2 departamentos del Perú. Los resultados se presentan en cuatro ámbitos: la calidad de las instalaciones, el protocolo de gestión y mantenimiento, los usos de los sistemas y la percepción de los usuarios.

Durante la fase de diseño y ejecución del Proyecto se aplicaron las especificaciones y procedimientos recogidas en el Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural” publicado en el Diario Oficial El Peruano en enero de 2007. En base a este reglamento, antes de la instalación de los sistemas se llevaron a cabo pruebas de certificación sobre más de 500 componentes fotovoltaicos – entre módulos, baterías, reguladores, convertidores y lámparas –de los distintos lotes suministrados. Estas pruebas fueron realizadas por el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI). Se resumen en el artículo los antecedentes del proyecto así como los principales resultados de los procedimientos de calidad implementados en las fases previas.

Asimismo, se resumen y analizan los principales resultados de la fase de supervisión de sistemas durante la cual se visitaron las 4200 instalaciones y se formularon recomendaciones para la mejora en la administración y la sostenibilidad del proyecto.

El artículo concluye con las principales conclusiones de la evaluación seguidas por algunas recomendaciones útiles tanto para la mejora de la sostenibilidad del actual proyecto como de cara a futuras ampliaciones.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios, Control de Calidad, Evaluación

1. INTRODUCCIÓN

En marzo de 1999 el Gobierno del Perú a través de la Secretaría Ejecutiva de Cooperación Técnica Internacional (SECTI) - hoy Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI)- y el Ministerio de Energía y Minas (MEM) suscribieron con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) la aprobación del Proyecto PER/98/G31 “Electrificación Rural a base de Energía Fotovoltaica en el Perú”.

Entre los objetivos del Proyecto PER/98/G31 se planteaba establecer, a través del MEM, las bases técnicas y normativas para promover el desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica, contribuyendo a la introducción masiva de las energías renovables en la electrificación rural e incluyendo la implementación de proyectos de desarrollo productivo con sistemas fotovoltaicos. Para ello, el Proyecto contó con un presupuesto de US\$ 6.000.000 para la ejecución de las diferentes actividades, entre las cuales estaba la instalación de 8.000 sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD) con un presupuesto aproximado de US\$ 3.900.000, en un plazo de 5 años a partir de 1999. Dado que el costo de cada SFD de 50 Wp fue de US\$ 490 es de remarcar que desde el inicio se subestimó el monto de la inversión del Proyecto.

El Proyecto PER/98/G31 tuvo dos etapas:

La primera tuvo lugar entre el año 2000, con el comienzo del Proyecto, y el 2004, cuando fue reformulado el Proyecto. Las principales actividades de esta fase fueron: la elaboración de un Atlas de Energía Solar del Perú; la compra de computadoras y el software SIG para la ubicación de las instalaciones realizadas hasta la fecha por el MEM y las que fueran realizadas en el futuro; la realización de un taller de capacitación dirigido a profesionales del sector sobre procedimientos de evaluación de componentes fotovoltaicos a cargo del IES-UPM a fin de promover la implementación de laboratorios nacionales; la elaboración del Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos hasta 500 Wp”, aprobado en 2005; y la implementación del Proyecto “Estudio de Campo, Provisión, Instalación y Administración de 1.000 Sistemas Fotovoltaicos Domésticos en la Región Loreto”. Las principales dificultades en esta primera etapa fueron: que el equipo de trabajo estaba formado únicamente por el coordinador del Proyecto, el plazo de ejecución era muy limitado para la implementación de algunas de las líneas del Proyecto, la falta de una masa crítica de profesionales en energía solar en el país, las dificultades administrativas y operativas que surgieron durante el proceso de la Licitación Pública Internacional del Proyecto mencionado arriba así como en su implementación durante la ejecución del estudio de campo, el suministro de bienes y la falta de cumplimiento de las especificaciones técnicas del conjunto regulador de carga y batería.

La segunda etapa se inició en el año 2005 con la formación de una unidad operativa compuesta por tres profesionales (un coordinador, una especialista administrativa y un especialista técnico) y concluyó en el 2007. En esta segunda etapa se resolvió el contrato para la implementación de 1.000 sistemas en la Región Loreto; se elaboró el Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes” que sustituyó al anterior completando los vacíos que se habían detectado hasta la fecha; se llevaron a cabo un taller internacional sobre experiencias en electrificación rural fotovoltaica y otro taller de capacitación en procedimientos para evaluación de componentes fotovoltaicos a cargo del IES-UPM; se fortalecieron los laboratorios nacionales mediante la firma de contratos y convenios; se implementó un sistema fotovoltaico productivo, sistemas híbridos eólico-solar de 150 Wp; y se instalaron 4.200 SFD en cuatro regiones del país. Las principales dificultades de esta fase fueron: la limitación de los plazos para la implementación del Proyecto PER/98/G31 en todos sus alcances; la falta de información acerca de las localidades potenciales a atender (ubicación, número de viviendas, situación socioeconómica, entre otros); la necesidad de establecer un monto a cobrar a los usuarios para garantizar la sostenibilidad del proyecto (mientras que en los estudios de campo se determinaron zonas en las cuales se tenía la disponibilidad de pagar entre US\$ 0,3 y US\$ 15, por otro lado la falta de algún dispositivo legal para implementarlo supuso una primera barrera importante); la falta de una masa crítica de profesionales en energía solar; las dificultades propias de la implementación de los proyectos en zonas rurales aisladas, especialmente en el caso de los 4.200 SFD, que constituyó un reto para la contratista por el escaso tiempo disponible para instalar los sistemas (2 meses) cuando típicamente en el país no se habían superado las 1.000 instalaciones en los últimos 7 años.

1.1. Evaluación del Proyecto *Electrificación Rural Fotovoltaica-II Etapa*

El Proyecto *Electrificación Rural Fotovoltaica- II Etapa*, en adelante Proyecto, se ejecutó en los departamentos de Cajamarca, Loreto, Pasco y Ucayali. La suscripción de los cuatro contratos se realizó el 16 de octubre de 2006, entre el MEM y el Consorcio Isofotón S.A.- Schonimex S.A.C. por un monto de US\$ 4.819.090 y un plazo de ejecución de 9 meses hasta la culminación de la instalación de los sistemas y 24 meses para la administración del servicio. Al respecto, es importante mencionar que durante el diseño del Proyecto existía la incertidumbre sobre si el tamaño del SFD de 50 Wp era el más apropiado. Sin embargo, a falta de una referencia clara en ese momento, se implementaron estos sistemas incluyendo el requerimiento de incorporar reguladores que pudieran medir los Ah consumidos, entre otras variables, para recopilar la información necesaria para definir si, en términos generales, los SFD están sobredimensionados, subdimensionados o son del tamaño apropiado.

En febrero de 2007 fue aprobado y publicado por la DGE/MEM el Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes” que se aplica al proyecto. En base a este reglamento entre los meses de abril y agosto de 2007 se evaluaron en el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) de Lima muestras de los sistemas fotovoltaicos y sus componentes correspondientes a los cuatro lotes del proyecto. Además, entre noviembre y diciembre del mismo año se realizaron supervisiones de los sistemas fotovoltaicos en operación en los distintos departamentos con instalaciones domiciliarias extrayendo algunas recomendaciones tempranas.

En noviembre de 2009, en el marco de la acción ELECSOLRURAL “*Electrificación con Fuentes Renovables a Gran Escala para la Población Rural Iberoamericana*”, - una acción de coordinación de proyectos, que recibe soporte del Programa CYTED, coordinada por el Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM) y que tiene como participantes a centros de investigación, empresas y organizaciones no gubernamentales de Iberoamérica, involucradas fuertemente en temas de electrificación rural con energías renovables - se plantea llevar a cabo una evaluación externa del impacto del proyecto ejecutada por personal ajeno a la ejecución del mismo.

Los objetivos de la evaluación de impacto del proyecto *Electrificación Rural Fotovoltaica- II Etapa* tras dos años de la instalación de los sistemas fotovoltaicos son los siguientes:

- Comprobar el grado de consecución de resultados del proyecto *Electrificación Rural Fotovoltaica- II Etapa*.
- Realizar una evaluación técnica ex-post (tras dos años de operación) de una muestra de los sistemas instalados.
- Realizar una valoración del impacto de los procedimientos de calidad implementados en las fases previas del proyecto.
- Extraer recomendaciones generales tanto para la sostenibilidad del proyecto como para futuras intervenciones.

2. PROCEDIMIENTOS DE CALIDAD EN EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Durante la fase de diseño y ejecución del proyecto se aplicaron las normas recogidas en el Reglamento Técnico “*Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para la Electrificación Rural*” publicado en el Diario Oficial El Peruano en enero de 2007. Se trata de un reglamento nacional basado en la propuesta del Instituto de Energía Solar “*Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios*”, cuyos requisitos y procedimientos de medida han sido aplicados en la presente evaluación.

Los sistemas instalados en el proyecto son sistemas fotovoltaicos domiciliarios (en adelante SFD) básicos. Se componen de:

- un módulo fotovoltaico de potencia máxima de 50 Wp \pm 10% en CEM (Condiciones Estándar de Medida: irradiancia de 1000 W/m² y temperatura de operación de célula de 25° C);
- una batería de capacidad estabilizada de 94 Ah (C20) \pm 5% con densidad de electrolito de 1,20-1,229 \pm 0,01 g/cm³;
- un controlador de carga de 12 V de tensión nominal y 10 A de corriente máxima con tensión de desconexión del consumo equivalente a una profundidad de descarga del 40%, el modelo instalado incluye la funcionalidad de registro de datos de la instalación;
- un convertidor DC/DC de capacidad de 1 A, con salidas a 12 V / 9 V - 7,5 V - 6 V - 4,5 V - 3 V;
- tres lámparas CFL de potencia nominal de 11 W con voltaje nominal de 12 V y voltaje de operación de 10 a 15 V;
- una luminaria incandescente de 2W;
- una toma de corriente doble de tres terminales.

Los SFD se diseñaron para abastecer el consumo doméstico a 12 V en corriente continua, considerando la iluminación de la vivienda y otras aplicaciones de consumo como una radio o una televisión en blanco y negro. La demanda de energía diaria estimada que debe ser capaz de suministrar cada SFD fue de 191 Wh.

Durante la ejecución del proyecto se instalaron en total 4200 SFD en viviendas distribuidas en áreas rurales de los departamentos de Loreto, Ucayali, Pasco y Cajamarca.

2.1. Pruebas de certificación de equipos

En los meses de mayo a agosto de 2007 se llevaron a cabo pruebas de certificación sobre más de 500 componentes fotovoltaicos – entre módulos, baterías, reguladores, convertidores y lámparas – procedentes de los distintos lotes suministrados. Estos trabajos fueron contratados y coordinados por la Dirección Ejecutiva de Proyectos, DEP (actualmente Dirección General de Electrificación Rural, DGER) del MEM. Los procedimientos fueron ejecutados por un laboratorio nacional acreditado a tal efecto: el Laboratorio de Energía Solar del CER-UNI (siglas del Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima). El CER-UNI entidad responsable de la fase de certificación ha participado activamente en esta evaluación ex-post.

La certificación de componentes tuvo los siguientes resultados:

- Los módulos fotovoltaicos superan las pruebas de conformidad. Las principales observaciones respecto a la inspección visual están relacionadas con células decoloradas. No obstante, todos los módulos cumplen los requisitos del fabricante en la prueba de potencia nominal ($PM = 50 \text{ Wp} \pm 10\%$). Asimismo, considerando que el procedimiento tiene una incertidumbre del 5%, todos los lotes verifican el rango establecido por el proyecto PER ($PM = 50 \text{ Wp} \pm 5\%$). El promedio de potencia nominal obtenido en las pruebas de certificación –para los dos departamentos considerados en la presente evaluación de campo– fue de 50,8 W para el lote de Loreto y de 50,3 W para el lote de Ucayali.
- Las baterías no superaron la prueba de capacidad inicial – requerida por encima de 75 Ah a C20- en ninguno de los lotes. Sin embargo, dieron buenos resultados para las medidas de capacidad estabilizada y densidad del electrolito. Puesto que las baterías no superaron los ensayos se formularon recomendaciones vinculadas a la aceptación de las baterías. Estas fueron: realizar una carga previa a todas las baterías antes de la instalación que garantizase llevarlas a una capacidad como mínimo al 80% de la capacidad nominal a C20 y exigir al proveedor el llenado con agua destilada hasta el nivel superior antes de la carga referida.
- Los controladores de carga configurados con los parámetros de fábrica no superaron las pruebas de aceptación puesto que sus umbrales de regulación no correspondían con los umbrales de funcionamiento óptimos para la muestra de baterías respectiva de cada lote – en general los valores de desconexión por sobredescarga (LVD) proporcionaban profundidades de descarga inferiores al 40% que no garantizan el suministro energético diseñado en el proyecto. En cambio, los valores de autoconsumo y caídas de tensión interna sí fueron verificados de acuerdo a los requisitos establecidos. Por lo tanto, se recomendó la aceptación de los controladores al ser posible la modificación de su LVD que permitiría el suministro de mayor cantidad de energía eléctrica en los casos en que ésta resultase insuficiente. Al mismo tiempo, se hizo notar en las recomendaciones que el incremento de esta energía puede ocasionar la disminución del tiempo de vida de la batería. Por ello, las reprogramaciones de los controladores se propusieron a realizarse sólo en los casos pertinentes que se detectasen durante el seguimiento en la etapa de administración.
- Los convertidores DC-DC superaron los ensayos técnicos de autoconsumo, voltaje de salida y protecciones.
- Las lámparas superaron las pruebas de ciclado (con un porcentaje de fallos del 6%) por lo que también obtuvieron la aceptación.
- Se realizaron ensayos sobre lotes de inversores de 500 W y de controladores de carga de 24 V que superaron la certificación (en el caso de los controladores con las mismas recomendaciones que los de 12 V). Sin embargo, al ir destinados a los SC, estos componentes no fueron finalmente instalados.
- Adicionalmente se realizaron pruebas de funcionamiento de los SFD en su conjunto. El requisito fue verificar la demanda de energía diaria de diseño (191 Wh) con dos días de autonomía (382 Wh). El procedimiento consistió en realizar una descarga del sistema seguida de un proceso de carga en condiciones de sol real y una segunda descarga durante la cual se mide la energía entregada por el sistema. De acuerdo a esta prueba, los SFD no superaron los requisitos del procedimiento, alcanzando tan sólo alrededor del 90% de la energía demandada en la primera descarga y entre el 75 y el 80% en la segunda descarga.

2.2. Supervisión de sistemas instalados

En los meses de octubre a diciembre de 2007 (coincidiendo con la fase de instalación) se realizó una extensa supervisión de campo de los SFD instalados extrayendo algunas conclusiones tempranas. Durante esta fase de supervisión se visitaron las 4200 instalaciones y se formularon recomendaciones para la mejora en la administración y la sostenibilidad del proyecto. Esta tarea fue coordinada desde el MEM, apoyándose en consultores externos.

Las principales recomendaciones de esta fase estaban relacionadas con mejoras en la instalación como corregir mala orientación o sombreado de los módulos, mejorar la ubicación de la batería de forma que garantice fácil acceso y seguridad a los usuarios o corregir las instalaciones interiores mediante el uso de prensaestopas y borneras. También se hicieron sugerencias a la sostenibilidad del proyecto como proporcionar un kit de herramientas a los técnicos locales, disponer de materiales en stock en las propias comunidades y reforzar la capacitación a técnicos y usuarios.

3. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS INSTALACIONES

El trabajo de campo de la presente evaluación se llevó a cabo entre noviembre y diciembre de 2009. Se revisaron, en total, 127 SFD en 46 comunidades de los Departamentos de Loreto y Ucayali. Estos dos departamentos fueron seleccionados por ser los de zona de selva con condiciones peores para el funcionamiento de los SFD; dentro de cada región se visitaron sistemas de forma aleatoria en comunidades dispersas abarcando la mayor extensión posible.

Los resultados de la evaluación técnica de los SFD se presentan en cuatro ámbitos:

- la calidad de las instalaciones en el momento de la visita: revisión del estado y degradación de cada uno de los componentes y resultados de las medidas sobre el sistema;
- el protocolo de gestión y mantenimiento ejecutado por un equipo formado por cuatro responsables regionales, técnicos regionales y técnicos locales comunitarios;
- los usos de los sistemas observados a partir de la potencia de consumos instalada y de los datos registrados por los controladores de carga;
- y la percepción de los usuarios valorada mediante entrevistas personales y de grupo durante las visitas.

3.1. Calidad de las instalaciones

En relación con la calidad de instalaciones se verifica el cumplimiento de los requisitos de la “Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios”.

En primer lugar, se comprueban algunas características generales del sistema. Estas son: si existen instrucciones básicas de seguridad, operación y mantenimiento disponibles a usuarios, si se conserva la documentación de las características técnicas de los componentes instalados, si existe registro de fallos del sistema, si existe un archivo de actividades de mantenimiento realizadas, si los componentes están etiquetados correctamente, si los componentes instalados se ajustan al sistema diseñado y si los accesorios o repuestos están disponibles a los usuarios.

En función de lo anterior, la valoración global de las instalaciones es buena ya que se cumplen los requisitos en prácticamente todos los casos. Los usuarios disponen en sus viviendas de un afiche informativo sobre el uso de los sistemas y de fichas de registro de las actividades de mantenimiento si bien estas últimas se encuentran en blanco en la mayoría de los casos. Así pues, los aspectos más flojos están relacionados con la existencia de registros de mantenimiento por instalación y el acceso a repuestos.



a) Inspección módulo FV



b) Estructura soporte torcida



c) Módulos en sombra

Figura 1. Fotografías de la supervisión de módulos fotovoltaicos

Para valorar la calidad en lo relativo al generador fotovoltaico nos fijamos en los siguientes parámetros: ángulo de inclinación optimizado para el mes peor, orientación hacia el ecuador, no existe sombreado parcial del módulo, está ubicado cercano al uso, no presenta signos de degradación ni el encapsulado ni las propias células fotovoltaicas, las estructuras de soporte permiten fácil acceso para realizar las tareas de mantenimiento, el módulo está correctamente fijado a la estructura, las estructuras y materiales son resistentes a la exposición, las cajas de conexión están correctamente selladas incluyendo las entradas de cable, los tornillos y tuercas son inoxidables y el apriete de los terminales es adecuado.

En general, se verifican los requisitos propuestos. Las estructuras de soporte utilizadas son postes de madera de la zona. El 11,8% de los módulos no cuentan con la orientación correcta aunque el impacto sobre la producción energética es mínimo en estas latitudes. Encontramos también un 15,75% de casos de sombreado parcial del módulo por excesiva cercanía de las antenas de radio o vegetación. Estos casos son fácilmente corregibles cortando la vegetación cercana o reubicando el generador fotovoltaico, para lo que sería necesario disponer de cable para extender la línea del generador al regulador. Garantizando la disponibilidad de materiales (brújula, cableado) y proporcionando una adecuada capacitación los técnicos locales pueden encargarse de revisar estos aspectos en sus respectivas comunidades.

A continuación valoramos algunos requisitos en relación con las baterías. Estos son: que esté instalada en un lugar accesible, de acceso restringido, bien ventilado y evitando la luz solar directa, que esté ubicada aislada del suelo, que se hayan tomado precauciones que eviten un cortocircuito accidental entre los terminales de la batería, que no presente señales de degradación, que los terminales no se encuentren oxidados y estén protegidos con vaselina, que estén correctamente ajustados y que el nivel de electrolito se encuentre entre los niveles máximo y mínimo.

Las baterías se encuentran en cajas de madera diseñadas a tal efecto; en el departamento de Ucayali estas cajas se encuentran además cerradas con un candado cuyas llaves guardan los técnicos locales comunitarios. Encontramos que algunas baterías han sido sustituidas al año y medio de funcionamiento y otras están al final de su vida útil ofreciendo un escaso servicio al usuario. Concluimos que la duración del ciclo de vida de las baterías está siendo demasiado corto, por debajo de los dos años de operación. Las posibles causas de la rápida degradación pueden ser las elevadas temperaturas de operación -ya que la mayoría de las cajas de baterías se encuentran en el interior de las viviendas y cuentan con una escasa ventilación- y un acondicionamiento previo insuficiente.



a) Ubicación baterías



b) Medida de densidad



c) Bornes oxidados

Figura 2. Fotografías de la supervisión de baterías

En los casos en que las baterías aún son útiles se ha comprobado el estado de carga y nivel de electrolito con resultados dispares. Por ejemplo, un 20,5% de las baterías visitadas tienen el electrolito en el nivel mínimo o por debajo. Se recomienda en este sentido reforzar la labor de los técnicos locales en la supervisión de baterías proporcionándoles agua destilada (de difícil acceso en las comunidades) y exigiendo el reporte mensual del estado de las mismas como vienen desarrollando hasta la fecha.

Durante la supervisión se encuentran también baterías deterioradas por efecto de las ratas y algunos bornes oxidados. El hecho de que las cajas de baterías estén cerradas con candado, aunque dificulta las labores de mantenimiento, garantiza una mayor seguridad de la batería protegiéndola de los daños causados por las ratas y restringe la posibilidad de que los usuarios conecten cargas directamente a los bornes de las baterías.

La evaluación de parámetros relativos al regulador de carga se centra en que esté ubicado en un lugar cubierto protegido de la lluvia y el sol, que esté próximo a los acumuladores, que las señales de aviso y operación sean fácilmente visibles para usuarios y técnicos, que no presente señales de sobrecalentamiento, que no se hayan sustituido fusibles por materiales conductores y que no se encuentre puenteado el regulador.

En la región de Iquitos se encuentra un elevado porcentaje de sistemas puenteados; en torno al 30% de los sistemas en operación. Los puentes han sido realizados tanto por los técnicos regionales como por los locales para incrementar el tiempo de uso de las baterías al final de su vida útil. Sin embargo, es de remarcar que esta no es una práctica recomendada debido a que es de fácil reproducción por lo que se extiende fácilmente a sistemas que funcionan correctamente para incrementar la disponibilidad de energía acortando drásticamente la duración de la batería.

Por último, en cuanto a las cargas debemos analizar si funcionan correctamente, si los componentes no muestran señales de degradación, si están conectadas correctamente y no directamente a la batería y si existen accesorios y repuestos disponibles. También analizamos si existen protecciones entre el generador fotovoltaico y el regulador, entre el regulador y la batería y entre el regulador y las cargas.

En las viviendas se utilizan 3 luminarias de 11 W y un foco de 2 W. Aplicaciones de consumo adicionales pueden ser una radio, en la mayoría de los casos, una televisión en blanco y negro, en la mitad de las instalaciones y la carga de celulares en un par de casos. La tasa de fallos de luminarias es importante y no existe fácil acceso a repuestos a nivel local, las reposiciones se deben coordinar con los técnicos regionales por lo que pueden demorarse un mes que es el periodo entre visitas. En cuanto a las protecciones, las instalaciones cuentan con varistores.

En promedio la potencia de consumo medida para las luminarias de 11 W es de 10,92 W con una desviación de 0,97.

En resumen, de entre los 127 sistemas visitados un 85% se encuentra funcionando correctamente; si bien algunos están proporcionando un servicio inferior al de diseño principalmente por el envejecimiento prematuro de las baterías.

Los principales aspectos negativos a destacar en lo relacionado con la calidad técnica de las instalaciones son los siguientes, priorizados según su importancia relativa para el funcionamiento del sistema:

- Baterías conectadas directamente a las cargas – controladores de carga puenteados- o con electrolito por debajo del nivel mínimo.
- Módulos parcialmente sombreados por elementos cercanos- como antenas, vegetación o excesiva cercanía al tejado de la vivienda.
- Instalaciones interiores descuidadas o conexiones de cableado a base de cable entorchado sin el uso de borneras o conectores apropiados.

3.2. Protocolo de gestión y mantenimiento

La estructura de mantenimiento se compone de un responsable regional por Departamento que gestiona desde Lima con viajes mensuales a la zona, uno o dos técnicos regionales que trabajan para Adinelsa en las capitales de Departamento (Iquitos en Loreto o Pucallpa en Ucayali) y técnicos locales en las comunidades. La recompensa para los técnicos locales comunitarios es la condonación del pago mensual por sistema; su formación es escasa por lo que su función es la de supervisar los sistemas y coordinar con los técnicos regionales las actividades de mantenimiento.

Los técnicos locales o los administradores en su caso (en algunas comunidades existen las dos figuras y en otras es una sola persona el contacto local), llevan registro de los usuarios que están al corriente de pago, de los que tienen deuda y de los que están pendientes de cambio de batería o cuyos sistemas han sido retirados. Sin embargo, no se mantiene un registro de los fallos ni de las actividades de mantenimiento realizadas por sistema; sólo algunas de las hojas de registro de fallos están parcialmente rellenas.

Los técnicos locales realizan un control quincenal de las baterías así como de los fusibles quemados. Y coordinan el acceso a los repuestos con los técnicos regionales de Adinelsa. Hasta la fecha, en dos años de operación del proyecto unas 200 baterías han sido reemplazadas en agosto de 2009 y un 30% de los sistemas han sido retirados por falta de baterías para reponer la actual y, en consecuencia, la falta de pago del usuario que recibe un servicio deficitario.

Es recomendable disponer a nivel local de los repuestos más básicos como fusibles o luminarias y a nivel regional de baterías en tiempos razonables para mejorar el tiempo de respuesta a las demandas locales y evitar la retirada de sistemas a los usuarios con los costes, económicos y humanos, que ello supone.

Asimismo se recomienda el refuerzo de la capacitación que debería llevarse a cabo en dos niveles diferenciados. Por un lado, un refuerzo a la capacitación de los técnicos locales mediante un curso anual desarrollado en las capitales de departamento. Esta capacitación debería ser periódica debido a la rotación de los técnicos comunitarios y su objetivo, además de dar nociones sobre la supervisión y mantenimiento de los sistemas, es la de establecer los vínculos entre los técnicos y sus responsables regionales definiendo cuáles son las funciones de cada uno así como los modos y plazos para reportar los fallos de los sistemas. Por otro lado, se recomienda un refuerzo a la formación específica en aspectos técnicos de la energía solar fotovoltaica para los técnicos regionales encargados de la revisión detallada de las instalaciones así como de la respuesta ante los fallos de los sistemas. Es recomendable también establecer un protocolo

de revisión -similar al realizado durante la presente evaluación o simplificado- que puede desarrollarse por los técnicos regionales en cualquier momento en que se estén desplazando a las comunidades.

3.3. Usos de los sistemas

Los principales usos de los SFD son la iluminación, radio y, en algunos casos, también televisión. Según las respuestas de los usuarios a las entrevistas, el uso diario de la luz varía de dos a cinco horas, mientras que el de la radio es de unas tres horas. En los casos en que cuentan con televisor en blanco y negro suelen utilizarlo también una media de tres horas.

Durante las visitas de campo, además, se han recopilado datos de uso de los SFD de los sistemas de adquisición de datos de los controladores de carga instalados. En total, se han descargado datos de operación de 117 controladores de carga. El registro de los controladores recoge datos sobre los siguientes parámetros: máximo voltaje de batería, mínimo voltaje de batería, amperios hora generados, amperios hora consumidos, exceso de amperios hora, máxima corriente a las cargas, máxima corriente de generación, estado de carga de la batería por la mañana, estado de carga de la batería por la tarde, si se han producido desconexiones de batería o equalizaciones, si hay sobre-corrientes, sobre-voltajes o sobrecalentamientos en algún punto del sistema. Se almacenan datos de los últimos siete días de operación, el promedio diario semanal del último mes y el promedio diario mensual del último año.

Para realizar un análisis del funcionamiento diario de los sistemas tomamos los valores promedio de los 117 controladores a lo largo de la última semana de operación y mostramos la desviación típica de los mismos. El resumen de estos datos se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de parámetros diarios para 117 controladores de carga

Parámetro	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Desv.
Máximo voltaje de batería (V)	13,74	13,70	13,69	13,54	13,57	13,58	13,65	1,24
Mínimo voltaje de batería (V)	11,72	11,71	11,61	11,74	11,70	11,70	11,70	1,71
% SOC por la mañana	58,02	57,15	56,98	57,57	57,5	58,64	57,88	32,28
% SOC por la tarde	69,26	69,38	67,94	65,87	66,36	66,6	68,52	31,33
Desconexiones por baja batería (% sist)	16,24	17,95	17,95	17,95	17,95	19,66	17,09	0,39
Cargas completas de batería (% sist)	36,75	45,3	43,59	45,3	35,04	37,61	37,61	0,49
Sobre corrientes en cargas (% sist)	1,71	3,42	2,56	1,71	1,71	1,71	2,56	0,15
Sobre tensiones en batería (% sist)	1,71	3,42	5,13	4,27	2,56	3,42	1,71	0,17

Del análisis de estos datos se observa que los umbrales de regulación son apropiados. Los valores de porcentaje del estado de carga (SOC, del inglés State Of Charge) de las baterías también parecen adecuados. Sin embargo, se debe hacer notar que este valor depende del algoritmo interno del controlador para determinar el SOC y puede no ser muy preciso. El número de desconexiones por nivel bajo de baterías, en torno al 18% de los sistemas, es elevado y se debe fundamentalmente al alto nivel de deterioro de las mismas puesto que los días previos a las visitas no fueron especialmente malos en cuanto a radiación diaria. Es de resaltar que en torno al 40% de las baterías alcanzan la equalización; si bien hay que tener en cuenta que las baterías envejecidas alcanzan la equalización fácilmente pero la energía disponible a los usuarios es escasa debido a su baja capacidad.

Realizamos el mismo análisis en términos anuales para 30 sistemas que funcionan correctamente desde la instalación. En la Tabla 2 se recogen los resultados principales.

Del análisis de estos datos se observa que los umbrales de regulación son apropiados, aunque se distingue la tendencia a umbrales más bajos durante los meses de verano (mes 10 al mes 12). Los comentarios sobre el SOC son análogos al caso anterior de análisis diario. Las desconexiones por baja batería están entre un 10 y un 40%; como es de esperar el caso peor se da para la época de lluvias y el caso mejor para la temporada seca. Es positivo que el 100% de las baterías hayan equalizado al menos una vez al mes.

Tabla 2. Resumen de parámetros mensuales para 30 controladores de carga

Parámetro	Mes 1	Mes 2	Mes3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Máximo voltaje de batería (V)	14,02	14,08	14,16	14,13	14,01	13,88	13,84
Mínimo voltaje de batería (V)	12,00	12,02	12,05	12,03	11,90	11,89	11,6
% SOC por la mañana	64,93	66,47	64,90	62,77	58,97	56,13	55,03
% SOC por la tarde	72,10	72,43	73,23	72,07	66,80	65,70	65,40
Desconexiones por baja batería (% sist)	10,00	13,33	16,67	23,33	30,00	30,00	26,67
Cargas completas de batería (% sist)	100	100	100	100	100	100	100
Sobre corrientes en cargas (% sist)	16,67	23,33	10,00	16,67	30,00	26,67	23,33
Sobre tensiones en batería (% sist)	6,67	10,00	6,67	16,67	16,67	13,33	20,00

Parámetro	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Desv.
Máximo voltaje de batería (V)	13,77	13,92	13,46	13,56	13,54	0,95
Mínimo voltaje de batería (V)	11,92	11,91	11,52	11,60	11,58	1,00
% SOC por la mañana	53,97	55,83	55,40	60,00	57,87	18,20
% SOC por la tarde	62,43	61,37	59,97	63,30	64,40	18,96
Desconexiones por baja batería (% sist)	33,33	40,00	40,00	36,67	26,67	0,44
Cargas completas de batería (% sist)	100	100	100	93,33	96,67	0,04
Sobre corrientes en cargas (% sist)	16,67	30,00	36,67	30,00	43,33	0,43
Sobre tensiones en batería (% sist)	13,33	13,33	26,67	23,33	20,00	0,36

Los reguladores presentan información análoga sobre el funcionamiento del último mes mediante los promedios de las últimas cuatro semanas. Aunque no se incluye aquí ese análisis si cabe resaltar la importancia que puede tener para detectar fallos en los sistemas durante las visitas de campo y se emite en ese sentido una de las recomendaciones de la evaluación.

A priori, de los valores observados a partir de los registros en los controladores encontramos que los sistemas ajustados al prototipo de diseño funcionan adecuadamente. Sin embargo, a partir de las entrevistas se ha comprobado que el servicio eléctrico que proporcionan las instalaciones está por debajo de las perspectivas de los usuarios. Incluimos a continuación un breve ejemplo de dimensionado de los sistemas para los usos esperados en condiciones reales de radiación de la zona.

Considerando 3 horas de luz para las bombillas de 11 W, 5 horas de luz para la bombilla de 2 W y 3 horas de uso del resto de equipos (radio y/o TV) tendríamos un consumo diario de 175 Wh, menor a la hipótesis de diseño de los sistemas. Para este valor de consumo con datos de radiación de Tarapoto (6°29'S, 76°22'O), localidad de clima similar a las visitadas aunque a mayor altitud, se obtiene la siguiente gráfica de balance energético de la Figura5.

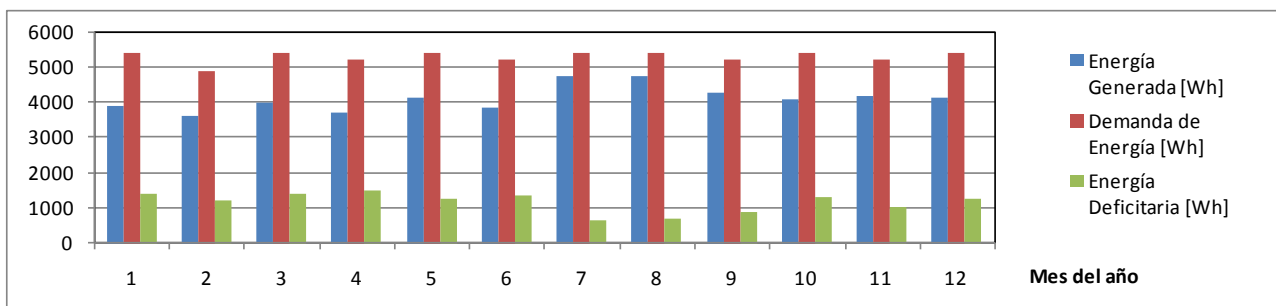


Figura 5. Energías generada, consumida y déficit de energía mensual en los SFD

Según los resultados anteriores se obtiene una probabilidad de pérdida de carga anual de 0,22. A partir del análisis de datos anteriores, para mejorar la fiabilidad de las instalaciones se recomienda ampliar el generador hasta 70 Wp. En el

caso de utilizar los módulos actuales se podría ampliar cada generador a 2 módulos en paralelo (100 Wp) con lo que el resto del sistema podría mantenerse de acuerdo a lo ejecutado. De este modo se satisfacerían las expectativas de consumo actuales de los usuarios aunque previsiblemente la mayor disponibilidad de energía también iría acompañada de un incremento en la demanda.

3.4. Percepción de los usuarios

Se han realizado entrevistas tanto a los usuarios de los sistemas como a los técnicos locales. Incluimos a continuación un resumen de los resultados más relevantes sobre una muestra de 20 usuarios.

El 75% de los usuarios entrevistados estuvo presente durante la instalación. El mismo porcentaje ha sufrido algún apagón en el tiempo de operación del sistema. Usan la luz de 2 a 5 horas con una media de 3 aunque les gustaría usar el foquito incandescente durante toda la noche, especialmente aquellos que tienen niños pequeños. El uso de radio y televisión, cuando tienen estas aplicaciones, está entre 3 y 4 horas.

En general cuentan con una adecuada capacitación en el uso y mantenimiento básico de los sistemas (limpieza de panel y cuidado de baterías, aunque esta última función recae en los técnicos locales) y todos ellos disponen del afiche informativo y del manual de usuario. Los usuarios son conscientes de que no pueden manipular la instalación y que en el caso de que dañen algún equipo les tocará reponerlo a ellos mismos. Asimismo saben que los equipos que fallen por el uso normal serán repuestos por Adinelsa, casi todos conocen la dirección y la forma de contacto de la empresa.

Por encima del 90% sabe que el sistema pertenece al Estado, que su pago mensual es en concepto del servicio eléctrico que reciben y que continuarán pagando el servicio indefinidamente. Son conscientes de que los equipos les serán retirados si están más de 3 meses sin pagar la cuota. En cuanto a la cuantía de pago, aproximadamente la mitad de los usuarios consideran que es elevada, sobre todo en comparación con el pago que realizan vecinos cercanos con acceso a la red convencional.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA EVALUACIÓN

Las principales conclusiones y recomendaciones de la evaluación de impacto se resumen a continuación en función de si pertenecen a la fase de diseño, instalación u operación y mantenimiento de los sistemas.

C1. Diseño

La topología de las instalaciones y la calidad de los componentes seleccionados son adecuadas; sin embargo, existen limitaciones en cuanto al dimensionado de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios para abastecer los niveles de consumo de los usuarios finales.

R1. Diseño

Se propone un redimensionamiento de los sistemas individuales para los casos en que la demanda sea mayor de la prevista. Una posibilidad es ofertar dos tamaños de sistemas individuales de 50 y 100 Wp. También se puede plantear la posibilidad de diseñar microrredes fotovoltaicas para abastecer a los núcleos de las comunidades, aunque esto supone una mayor complejidad y requiere capacidades locales.

C2. Instalación

En general, la calidad de la instalación es razonablemente buena. Se encuentran casos de baterías sin acceso restringido, módulos desorientados o con sombreado parcial por la vegetación o antenas cercanas e instalaciones interiores sin adecuada fijación a las paredes y elementos de empalme de cableado inadecuados.

R2. Instalación

Se recomienda la reubicación de los componentes que no verifican los requisitos, principalmente módulos y baterías, lo que implica extensión del cableado de continua. Asimismo se recomienda la revisión de las instalaciones interiores para mejorar la fiabilidad de las mismas.

C3. Operación y mantenimiento

Se ha detectado una escasa sistematización en las actividades de monitoreo y su registro. Además el tiempo de respuesta ante fallos es elevado a la vez que se detecta un escaso nivel de formación específica fundamentalmente entre los técnicos locales comunitarios.

R3. Operación y mantenimiento

Se recomienda sistematizar el registro de las actividades de seguimiento a partir de las fichas de usuarios y de los archivos de los técnicos locales. Se propone el uso de la funcionalidad de registro de datos de los controladores para la detección de fallos de los sistemas estableciendo criterios apropiados (por ejemplo, se detecta que la batería está excesivamente envejecida si el número de desconexiones de batería en el último mes es superior a tres). Sería recomendable contar con repuestos a nivel local (fusibles, lámparas) y regional (baterías) para minimizar los tiempos de respuesta. Se propone una intensificación de la capacitación en dos niveles dirigida a los técnicos locales y regionales.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Cabe destacar como principales resultados de los procesos de control de calidad en la ejecución del programa:

- el establecimiento de una normativa nacional a través del Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para la Electrificación Rural” aprobado mediante la RD 003-2007 y publicado en el Diario Oficial El Peruano;
- el fortalecimiento de capacidades locales a partir de la creación de laboratorios de certificación de sistemas fotovoltaicos de ámbito nacional.

En el caso de los SFD visitados, la aplicación de procedimientos de calidad en las fases previas del proyecto ha permitido una calidad apropiada tanto de los componentes fotovoltaicos como de las instalaciones realizadas.

Las principales debilidades desde el punto de vista técnico están relacionadas con el subdimensionado de los sistemas y la falta de flexibilidad de soluciones para satisfacer las diferentes demandas de los usuarios. A medio plazo sería recomendable la sistematización de las actividades de mantenimiento y el refuerzo de capacitación en los diferentes niveles de gestión y operación de los sistemas.

Si bien aún hay aspectos a mejorar, en el marco del programa se ha cumplido el objetivo de establecer las bases técnicas y normativas a nivel nacional para la energía solar fotovoltaica, cuya finalidad ha sido la de promover el desarrollo de esta tecnología, contribuyendo a la introducción masiva de las energías renovables en la electrificación rural en el Perú.

Agradecimientos

El presente trabajo ha sido posible gracias a la cooperación entre el Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y el Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima. Agradecemos asimismo la colaboración prestada tanto por la DGER del Ministerio de Energía y Minas del Perú facilitando el acceso a la información histórica del proyecto como la colaboración de ADINELSA en la logística y, especialmente, el apoyo de su personal durante las fases de trabajo de campo.

REFERENCIAS

“Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios” - Universal Technical Standard for Solar Home Systems. Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998. Disponible en: www.taqsolre.net

Reglamento Técnico “Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para la Electrificación Rural”

Informes de evaluación de componentes y SFD de los 4200 SFD

Informes de Supervisión de las instalaciones de los 4200 SFD