

CENTRAL FOTOVOLTAICA SANTAMARÍA DEL LORETO. 15 AÑOS, IMPACTOS.

J. Camejo¹, R. Heredia², F. Hechavarría³

^{1,2,3} Centro de Investigaciones de Energía Solar. CIES. Micro 3 Reparto Abel Santamaría. Santiago de Cuba, Cuba.

¹e-mail: jcamejo@cies.ciges.inf.cu

RESUMEN

Este trabajo aborda los resultados, experiencias e impactos, a lo largo de 15 años, de funcionamiento de una Central Fotovoltaica, como resultado del estudio de factibilidad técnico-económica del uso de Sistemas Fotovoltaicos Centralizados de potencia media, para la electrificación de comunidades rurales aisladas en las condiciones de clima tropical de Cuba, desarrollado en la comunidad rural “Santamaría del Loreto”, en el Municipio Songo La Maya, Provincia Santiago de Cuba, garantizando un servicio eléctrico de alta calidad, ininterrumpido y estable, donde se evidencia un cambio considerable en la utilización del tiempo libre nocturno, con una elevación de las actividades de entretenimiento, de información con acceso de alta calidad a los medios masivos de comunicación como la televisión y la radio, así como un servicio colectivo de lavandería y comunicación telefónica 24 horas, todo ello, con una alta repercusión en el desarrollo económico y social de la comunidad.

Durante estos 15 años de operación la Central Fotovoltaica de Santamaría del Loreto, comparada con el grupo electrógeno Diesel, ha ahorrado alrededor de 262.800 kg de petróleo, con la consiguiente eliminación de emisión a la atmósfera de 15.000 kg de CO₂, anuales, demostrado que la tecnología fotovoltaica, para la electrificación rural, resulta económicamente competitiva, frente a la generación local con Diesel y la extensión de la red eléctrica, en zonas rurales y alejadas del Sistema Electroenergético Nacional

Palabras clave: energía solar, electrificación rural, tecnología.

INTRODUCCIÓN

La producción de energía eléctrica a gran escala con fuentes renovables es un gran desafío. La tecnología fotovoltaica ha tenido muchos progresos en los últimos años como resultado de esfuerzos masivos de desarrollo a nivel mundial que comenzaron en los años 70, dirigidos en un inicio a los sistemas descentralizados autónomos y que en la actualidad se han abierto nuevas ramas de Investigación-Desarrollo y Demostración, dirigidas al desarrollo de sistemas descentralizados conectados a red y los sistemas centralizados tanto autónomos como conectados a red. (Imamura et al., 1992)

En nuestro país, Cuba, la electrificación de objetivos sociales y económicos por medio de Energía Solar Fotovoltaica ha tenido un desarrollo acelerado, todo ello basado en un Programa de Electrificación Rural, que en una primera etapa instaló sistemas de pequeña potencia y de forma aislada y en una segunda etapa la electrificación de comunidades rurales y otros objetivos socio-económicos con sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana potencia.

Como punto de despegue y a partir de las experiencias en los sistemas fotovoltaicos descentralizados o individuales, en el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), se proyectó por desarrollar una instalación fotovoltaica demostrativa, a partir del diseño y puesta a punto de una Central Fotovoltaica (CFV) de pequeña potencia, con el objetivo de evaluar la factibilidad técnico- económica en las condiciones de clima tropical. Para ello escogió, luego de un minucioso estudio social, la comunidad rural Santamaría del Loreto. (Morante y Zilles, 2002; Díaz et al. 1999)

La Comunidad Rural “Santamaría del Loreto” está ubicada aproximadamente a 650 m sobre el nivel del mar, en el macizo montañoso de la Sierra Maestra, Municipio Songo-La Maya, Provincia Santiago de Cuba. Se encuentra a una distancia de 60 km de la capital provincial. El acceso se realiza a través de un difícil camino de montaña de aproximadamente 9 km hasta la carretera Santiago de Cuba-Guantánamo por donde pasa la red del Sistema Electroenergético Nacional (SEN).

El núcleo poblacional beneficiado está compuesto por alrededor de unas 200 personas y 46 objetivos económicos y sociales (viviendas, médico de la familia, escuela primaria, círculo social, despulpadora de café, iluminación pública, oficina administrativa y tienda de productos alimenticios e industriales) y tienen como actividad

fundamental la producción agrícola, siendo sus principales renglones el café de calidad superior y los frutales. Como parte del desarrollo comunitario y de las mejoras de las condiciones de vida, se han incorporado otras actividades y labores agrícolas encaminadas fundamentalmente a la producción de viandas y hortalizas, así como la producción de leche fresca.

Esta comunidad, contaba con un grupo electrógeno Diesel de 32 *kVA*, que debido a los problemas del período especial en Cuba y la subida del precio del petróleo, trabajaba solamente 4 horas diarias y brindaba un servicio irregular, habiendo demostrado con creces su insostenibilidad (falta de repuestos, combustible y lubricantes). Además, la población de la comunidad contaba solamente con 2 luminarias como promedio por vivienda (siendo la mayoría incandescente o de baja eficiencia), existían sólo 6 radios, 8 televisores B/N altos consumidores (solo 4 en funcionamiento) y 2 refrigeradores domésticos, que apenas podían funcionar. (Álvarez, 2002)

La instalación en el año 1997 de la (CFV) en "Santamaría del Loreto" se realizó con el interés de fomentar el desarrollo social de la zona, lo cual tiene una decisiva influencia en los parámetros de diseño y operativos. Esta Central Fotovoltaica constituyó la primera experiencia a escala media en las condiciones climáticas de Cuba y tiene un considerable interés científico y tecnológico para fabricantes, instaladores y científicos de todo el mundo específicamente del área Centro y Latinoamericana. La misma a solucionado los problemas energéticos anteriormente mencionados y a su vez a consolidado el desarrollo económico y social de la comunidad "Santamaría del Loreto". (Díaz et al., 2000)

DESARROLLO

La CFV "Santamaría del Loreto", figura 1, fue concebida y diseñada desde sus inicios para una potencia del campo fotovoltaico de 25 *kWp*, un banco de baterías de 3600 *Ah*, un sistema de regulación, control e inversores.

Este diseño sufrió modificaciones ya que no se pudo contar con todo el financiamiento necesario para adquirir los 25 *kWp* de módulos fotovoltaicos, no siendo así, para los demás componentes de la instalación. En su primera etapa, año 1997 se instalaron 10 *kWp* y en una segunda etapa, año 2009, se instalaron otros 6 *kWp* de módulos fotovoltaicos, para completar una potencia total de generación de 16 *kWp*, con una disponibilidad de consumo de 8 *kWp* de potencia. La instalación está concebida para trabajar a 120 *VCD* (voltaje de corriente directa) y 120 *VCA* (voltaje de corriente alterna).



Figura 1: Central Fotovoltaica.

A lo largo de todos estos años se ha implementado un sistema de monitoreo y mantenimiento de la instalación, así como de preparación y capacitación al técnico local que atiende la CFV, lo que nos ha permitido evaluar los objetivos propuestos, resultados e impactos, tales como:

1. Validar la metodología utilizada para el diseño de la CFV de "Santamaría del Loreto", con vista a su posible generalización.
2. Evaluar la influencia de los factores climáticos (temperatura, radiación solar y humedad relativa), característicos de nuestro clima tropical sobre la potencia de salida del arreglo de módulos solares fotovoltaicos, en el Laboratorio de Evaluación y Homologación de Módulos Solares Fotovoltaicos, en el CIES.
3. Evaluar el impacto social de la electrificación rural fotovoltaica en la comunidad de Santamaría del Loreto.
4. Contar con una instalación que sirva como Centro de Superación y Entrenamiento del personal tanto nacional, como regional.

RESULTADOS

Objetivo 1

A partir de los datos obtenidos en las inspecciones técnicas realizadas a la CFV y su procesamiento, según las normas de la Comunidad Europea, se pudo validar experimentalmente la metodología propuesta, encontrándose que los índices de funcionamiento de la tecnología corresponden con las realizadas y los de otras instalaciones

similares en otras partes del mundo como son la Central Fotovoltaica de Pozo Blanco y Toledo (España) y Serré y Vulcano (Italia).

El funcionamiento de la *CFV* de “Santamaría del Loreto” ha sido estable y las averías técnicas ocasionadas no han permitido su salida de funcionamiento durante todo estos años de operación. Las averías ocurridas en la *CFV*, han sido resueltas de forma colectiva entre los pobladores y la acción directa del operario, lo que demuestra una adecuada apropiación de la tecnología, para la autogestión de la energía demandada. Ambas razones demuestran la viabilidad técnica de este tipo de instalación en las condiciones concretas de nuestro país. La principal falla o rotura ha estado provocada por descargas atmosféricas, que han dañado al Inversor, a pesar de ser este un componente netamente no fotovoltaico.

Para la evaluación económica se utilizó el cálculo del Costo de la Unidad de Energía con la finalidad de comparar con otras alternativas tradicionales posibles como son la extensión de la red eléctrica y la generación local con Diesel. El análisis demostró la ventaja económica de este tipo de centrales fotovoltaicas frente a la generación local Diesel y la extensión de la red nacional, a partir de 9 km de distancia umbral de competitividad, a pesar de que constituye aún una opción relativamente costosa si se compara con los precios de la electricidad en el medio urbano.

Comparando la *CFV* con la generación Diesel, se han ahorrado aproximadamente unos 262.800 kg de petróleo, lo que significa económicamente un ahorro considerable de divisa al país, además, de su transportación hasta la localidad, más los correspondientes gastos de transportación y de operación, propiamente de la planta Diesel.

Objetivo 2

La evaluación de la influencia de los factores climáticos sobre la potencia de salida del arreglo fotovoltaico y su comportamiento operativo en las condiciones de explotación en Cuba, se realizó en el Laboratorio de evaluación de módulos fotovoltaicos del *CIES*, objetivo que fue cumplido, con la colaboración de especialistas del Laboratorio de Evaluación de Módulos del *CIEMAT* y del Instituto de Energía Solar (*IES*) de la Universidad Politécnica de Madrid, España, quienes aportaron las experiencias más avanzadas en este terreno y la asesoría para la puesta a punto del Laboratorio.

A partir de las evaluaciones y ensayos a una muestra representativa de los módulos adquiridos y la consulta de las Normas de la Comunidad Europea para esta actividad, se desarrolló la evaluación de los módulos seleccionados, corroborándose los parámetros de fabricación con los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

Objetivo 3

El mayor obstáculo reconocido en Cuba para la generalización sustentable de la tecnología fotovoltaica para la electrificación rural es la micro-administración y el esquema de mantenimiento que garanticen la operación estable a largo plazo de la tecnología. Para salvar ese obstáculo se utilizó la vía de catalizar la asimilación social de la tecnología a través de la capacitación y la participación en el proyecto, desde el principio, de toda la comunidad. Con este fin, en la ejecución del proyecto se promovió la incorporación de los vecinos a los trabajos de construcción y montaje, así como la contribución a la atención al equipo de técnicos. Asimismo se capacitó, desde el comienzo mismo de los trabajos, a un vecino para la operación y el mantenimiento preventivo, quien además cumple las funciones de administración local. Las reparaciones, el seguimiento operativo y mantenimientos correctivo especializados están a cargo del Departamento de Electrificación del *CIES* con el apoyo de los gobiernos municipal y provincial y de la *ONG* cubana CUBASOLAR, por el carácter parcialmente demostrativo del proyecto.

La influencia social del proyecto se evaluó a través de una encuesta realizada en la comunidad a 52 personas que representan el 62.5% de los adultos, así como entrevistas a personalidades de la zona, tales como Delegado de la Circunscripción, Administrador de la Granja y vecinos de prestigio. Los resultados de la encuesta fueron resumidos en tablas porcentuales y revelan una alta aceptación de la tecnología y una alta asimilación por el medio rural cubano. Estos resultados permitieron también monitorear los cambios que se están produciendo en los hábitos de vida de la población rural como resultado de la electrificación, lo cual conduce a una serie de importantes elementos para los estudios de gestión de carga en el medio rural.

Las entrevistas realizadas muestran que se identifica el cambio en la calidad de vida de la comunidad, elevándose en más de un 60%, se han creado nuevas fuentes de empleos (Jardín, Cafetería del Círculo Social y punto de teléfono). Asimismo el Delegado de la circunscripción manifiesta un aumento considerable de la

influencia del órgano de Gobierno sobre la población de la comunidad. Todo ello fundamentado, además, en los aspectos siguientes:

- Un servicio eléctrico ininterrumpido que garantiza iluminación doméstica y medios de comunicación y conservación de alimentos.
- Un servicio de atención médica de mayor calidad dado en que el Consultorio Médico cuenta con mejores condiciones de equipamiento y posibilidades para la atención primaria, conservación de vacunas y rápida comunicación con centros especializados de la salud en caso de urgencias.
- La población en general ha elevado su nivel de conocimiento al tener mayores posibilidades de información a través de la radio y la televisión y los niños además han desarrollado mayores habilidades, debido a las posibilidades que tienen de estudiar y realizar actividades recreativas propias de su edad en horas nocturnas.
- Se brinda un servicio comunitario de uso colectivo de una pequeña Lavandería, de muy buena aceptación por los usuarios.
- Se presta un servicio de telefonía comunitaria las 24 horas del día.
- Se crea en la comunidad una Residencia (alberque interno) para estudiantes del municipio, que participan en la recogida de café, lo cual contribuye a una mayor producción de la zona.
- Se cuenta con un Circulo Social, el cual permite desarrollar actividades recreativas y culturales en función del desarrollo social de la comunidad.
- Se reanimó la actividad productiva del Jardín de Flores comerciales, generando nuevas fuentes de empleo.

Objetivo 4

Desde sus inicios la *CFV* fue diseñada con facilidades de locales para alojamiento y trabajo, lo que ha permitido que la instalación, como un todo, sirva como Laboratorio Experimental para la evaluación de diferentes parámetros y componentes fotovoltaicos y de igual forma como Centro de Superación y Entrenamiento del personal tanto nacional, como regional.

IMPACTOS

- Económico
 - Se demostró la viabilidad económica de este tipo de centrales fotovoltaicas frente a la generación local con Diesel y la extensión de la red nacional, a partir de 9 *km* de distancia umbral de competitividad.
 - Se ha ahorrado 262.800 *kg* de petróleo y además lubricantes con sus respectivos gastos de transportación, de operación y mantenimiento.
 - Existe una producción estable y con calidad de 40 *litros* leche fresca, para el consumo de niños y dietas médicas, así como otros 70 *litros* de leche para la producción de unos 6,5 *kg* de queso, que se distribuye a la Empresa Agroforestal de Montaña Yerba de Guinea.
 - Incremento anual de la producción en la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida (*CCSF*) Antonio Guiteras para el autoconsumo comunitario de viandas, frutas y vegetales.
 - El Jardín de flores comerciales sobrecumple anualmente el plan económico de producción y esta se entrega a la Empresa de Comunales, Songo La Maya.
 - La cosecha de café de exportación CRISTAMOL, por año aumenta considerablemente, en el 2002 tenían una producción de 51.520 *kg* de café y en el año 2009, esta producción supera las 109.110 *kg* de café.
- Ambiental

La instalación de la *CFV* desde sus inicios, eliminó una planta Diesel que además de emitir un alto nivel de ruido, propio de su funcionamiento, contribuyó a la eliminación de emisión de más de 180.00 *kg* de CO_2 , al año unos 15.00 *kg*. Además se dejan de verter otras sustancias tóxicas al ambiente y se elimina la contaminación de terrenos aledaños por derrames de combustible y lubricantes.

Para la instalación del arreglo de paneles se aprovechó el perfil del terreno, requiriéndose un mínimo movimiento de tierra, con lo que se evitaron cambios en la topografía y se aprovechan las áreas cultivables con siembras de poco follaje que no afectan el funcionamiento de la *CFV* y conservan el entorno natural original, además de evitar la degradación del terreno.

- Científico y tecnológico

El impacto científico y tecnológico está dado en que la *CFV* de "Santamaría de Loreto" constituye la primera experiencia a escala media en las condiciones climáticas de Cuba por lo que tiene un considerable interés para fabricantes, instaladores y científicos, específicamente del área Latinoamericana. Los resultados de las investigaciones realizadas, demostrando la viabilidad técnica, competitividad económica y sostenibilidad de la instalación para la electrificación de comunidades rurales, demostrando la adecuación de la Metodología de diseño empleada en las condiciones de nuestro clima tropical.

Todo ello avalado científicamente, permitió, el desarrolló de un Laboratorio de Evaluación y Homologación de Módulos Solares Fotovoltaicos, en el *CIES*, de forma fiable certificar los módulos en condiciones reales (que generalmente difieren de las condiciones de laboratorio) y evitar errores de dimensionado por datos no reales en instalaciones de este tipo que pueden tener un impacto negativo en su comportamiento operativo y económico.

Desde el punto de vista tecnológico, nos ha permitido evaluar las fallas de funcionamiento, donde aparece el inversor, como el único componente que ha presentado problemas por descargas atmosféricas.

Los mayores problemas que se han presentado hasta ahora (39.3%) se relacionan con la falta de repuestos de bombillos y lámparas. En ningún caso se atribuyen problemas de funcionamiento y operación de la *CFV* propiamente, tales como variaciones de voltaje o frecuencia.

- Social

- Se evidencia un alto grado de satisfacción de la población con la tecnología fotovoltaica y un aumento de un 60% en las mejoras de vida, todo ello ha permitido crear condiciones sociales muy favorables para desarrollo comunitario.
- Hay un desplazamiento de la hora promedio de acostarse, de entre las 8 y 10 de la noche a 10 y 12 de la noche. Un 100% de las personas encuestadas tienen expectativas con adquirir equipos electrodomésticos, grandes consumidores, como refrigeradores y licuadoras y más del 45% reconocen ventajas de la tecnología fotovoltaica en relación con el medio ambiente.
- La comunidad ha manifestado su carácter cooperativista en la autogestión del consumo en los momentos de baja generación o producto a condiciones meteorológicas adversas y salidas de funcionamiento ante descargas atmosféricas que han dañado los inversores. Además, la comunidad manifiesta un alto sentido de pertenencia de la tecnología.
- El cobro parcial del servicio eléctrico contribuye, según ha demostrado la experiencia, a crear una mayor responsabilidad de los actores y a facilitar el intercambio con los usuarios entre los que se promueve una cultura de ahorro energético y de uso racional.
- Existen actualmente en la comunidad 50 jóvenes, todos incorporados al estudio de nivel superior o al trabajo.
- De 5 maestros en la zona, 2 son Master y 2 en fase de terminación.
- En todo este periodo ha sido 0 %, la mortalidad infantil y materna.

CONCLUSIONES

1. Se demostró que la tecnología fotovoltaica, para la electrificación rural, mediante Centrales Fotovoltaicas, resulta económicamente competitiva, frente a la generación local con Diesel y la extensión de la red eléctrica, en zonas rurales y alejadas del Sistema Electroenergético Nacional, a partir de 9 km de distancia umbral.
2. Se garantiza un servicio eléctrico estable y con calidad que les permite disponer de iluminación doméstica y conservación de alimentos, servicio de atención médica de alta calidad, se brinda un servicio comunitario con el desarrollo de una pequeña lavandería de uso colectivo, así como el acceso a un servicio de telefonía comunitaria las 24 horas del día, la población en su totalidad ha elevado su nivel cultural al tener mayores posibilidades de información.
3. El país ha ahorrado 262.800 kg de petróleo, durante estos 15 años, comparado con la planta Diesel, lo que representa económicamente en un ahorro considerable de divisa al país, con la consiguiente eliminación de emisión a la atmósfera de 180.000 kg de CO_2 . Además se dejan de verter otras sustancias tóxicas al ambiente y se elimina la contaminación de terrenos aledaños por derrames de combustible y lubricantes.
4. El desarrollo social y económico de la comunidad rural Santamaría del Loreto, en estos 15 años, han superado con creces las expectativas esperadas.

REFERENCIAS

1. Imamura et al., (1992). "Photovoltaic System Technology". A European Handbook. Commission of the European Communities.
2. Morante y Zilles, (2002). "La importancia de la participación de los usuarios en la implantación de proyectos de electrificación rural con tecnología fotovoltaica".
3. Díaz et al. (1999). "Lecciones del programa de Electrificación Rural Fotovoltaica en Cuba". I Simposio Nacional de Fuentes Renovables de Energía. Santiago de Cuba. Cuba
4. Álvarez, (2002). "Estudio del modo y estilo de vida en la comunidad rural Santamaría de Loreto".
5. D Díaz et al. (2000). "Two years experience in the operation of the first community photovoltaic system in Cuba". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4, 105-110.

ABSTRACT

This paper discusses the results, experiences and impacts over 15 years of operation of a Photovoltaic Power Plant, as a result of the study of technical and economic feasibility of using Photovoltaic Systems Centralized average power for the electrification of isolated rural communities in the tropical conditions of Cuba, developed in the rural community "Santamaria of Loreto" in the municipality Songo La Maya, Santiago de Cuba province, ensuring a high quality electric service, uninterrupted and stable, which showed a considerable change in the use of free time at night, with an elevation of entertainment, information with high quality access to mass media like television and radio, as well as a collective service laundry and telephone 24 hours, all with a high impact on the economic and social development of the community.

During these 15 years of operation the Central Photovoltaic Santamaria of Loreto, compared to the diesel generator has saved about 262,800 kg of oil, with the consequent elimination of air emission of 15,000 kg of CO₂ per year, demonstrated that PV technology for rural electrification, is economically competitive compared to local diesel generation and grid extension in rural and remote areas of the National Power Grid

Keywords: solar energy, rural electrification, technology.