

DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE INSTALACIONES CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS EN COMUNIDADES DEL MUNICIPIO GUAMÁ, PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA

Por Ing. José Emilio Camejo Cuán*, M. Sc. Adrián Romeu Ramos**,
M. Sc. Rubén Ramos Heredia***, Ing. Erisnel Lora Sugve**** e Ing. Raudel Domínguez Morales*****

*, **, ***, **** y ***** Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES). Santiago de Cuba.

* Inv. Agregado.

<https://orcid.org/0000-0002-2289-8160>

E-mail: camejo011@gmail.com; jcamejo@cies.cu** <https://orcid.org/0000-0001-6740-4753>

*** <https://orcid.org/0000-0001-5270-3590>

E-mail: rrosos@cies.cu

**** <https://orcid.org/0009-0007-2047-9345>

***** Investigador independiente

Resumen

Se aborda el diagnóstico técnico de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, SFVA, instalados en los Consejos Populares del municipio Guamá, provincia de Santiago de Cuba, Cuba, que agrupan diferentes tipos de aplicaciones para la electrificación rural, tales como: viviendas, consultorios del médico de la familia, escuelas, salas de TV, bombeo de agua y fincas de productores, entre otras.

De un total de 508 SFVA diagnosticados, se encuentran operando en buen estado (durante el día y la noche), 67 SFVA para un 13 % y con algún tipo de fallo en uno de sus componentes, un total de 441 SFVA, que representan el 87% de las instalaciones diagnosticadas. Existen fuera de servicio 269 SFVA, que constituyen el 53 % del total de instalaciones diagnosticadas. La mayor afectación está en las baterías de acumulación, encontrándose fuera de servicio 1109 unidades de un total de 1233, para un 90 % de afectación. Las aplicaciones fotovoltaicas (FV) para el bombeo de agua presentan un comportamiento favorable, manteniéndose en funcionamiento el 85 % de las mismas.

Como resultado de las simulaciones realizadas a cada tipo de diseño de los SFVA, se identifica la incompatibilidad existente en cuanto a la relación de tensión del Generador Fotovoltaico respecto a la tensión máxima admitida por el Regulador de Carga.

Las entrevistas realizadas a los usuarios, reflejan un bajo nivel de acciones de inspección y(o) mantenimiento por parte del personal calificado, lo cual favorece el deterioro de las instalaciones.

Palabras clave: : *sistemas fotovoltaicos autónomos; diagnóstico; electrificación rural.*

TECHNICAL DIAGNOSIS OF INSTALLATIONS WITH AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN COMMUNITIES OF THE GUAMÁ MUNICIPALITY GUAMÁ MUNICIPALITY, PROVINCE OF SANTIAGO DE CUBA

Abstract

The technical diagnosis of the Autonomous Photovoltaic Systems, SFVA, installed in the Popular Councils of the Guamá municipality, province of Santiago de Cuba, Cuba, which group different types of applications for rural electrification, such as: houses, family doctor's offices, schools, TV rooms, water pumping and producers' farms, among others, is approached.

Of a total of 508 SFVA diagnosed, 67 SFVA (13 %) are operating in good condition (day and night) and 441 SFVA (87 % of the diagnosed installations) have some type of failure in one of their components. Out of service are 269 SFVA, representing 53 % of the total diagnosed installations. The most affected are the accumulation batteries, with a total of 1109 units out of 1233 out of service, for a 90 % of affectation. Photovoltaic (PV) applications for water pumping show a favorable behavior, with 85 % of the installations in operation.

As a result of the simulations performed for each type of SFVA design, the existing incompatibility is identified, regarding the voltage ratio of the PV generator with respect to the maximum voltage admitted by the Load Regulator at its input.

The interviews conducted with the users reflect a low level of inspection and/or maintenance actions by qualified personnel, which favors the deterioration of the installations.

Keywords: *autonomous photovoltaic systems; diagnosis; rural electrification.*

I. Introducción

Desde el año 2009, SODEPAZ, en coordinación con la ONG cubana CubaSolar ha desarrollado diversos proyectos de introducción de las Fuentes Renovables de Energías (FRE) en el municipio Guamá, entre ellos cuatro proyectos, tres financiados por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Aecid) y uno por la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Aacid).

Estas actuaciones han contado con el apoyo del Poder Popular Municipal y diversas entidades con presencia en el municipio, como la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP), Federación de Mujeres cubanas (FMC), Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (Actaf), CUM (Centro Universitario Municipal), así como a nivel provincial la Universidad de Oriente, Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y el apoyo de organismos de la administración a nivel provincial. De igual forma, se ha contado con la participación masiva de los comunitarios.

Es necesario enfatizar, que debido al carácter altamente priorizado que marcó las etapas de adquisición y asimilación de la tecnología fotovoltaica, en Cuba, a finales de los 80, se puede apreciar que la variante más difundida en comunidades rurales dispersas, alejadas de la red nacional, son los sistemas FV independientes, caracterizados en su gran mayoría por la no estandarización de la tecnología, selección inadecuada de algunos de los componentes empleados en función de las condiciones ambientales, en las que solo un esmerado sistema de atención técnica puede mantenerlos en operación satisfactoria y estable (Díaz, 2004; Camejo y Heredia, 2013).

En las actuales circunstancias la variante tecnológica de sistema centralizado, donde se reúnan las características sociales y técnicas para ello (Álvarez, 2000), parece ser la más aconsejable para la electrificación de comunidades en nuestras condiciones, porque «aporta una considerable reducción de los gastos globales de instalación, operación y mantenimiento» (Díaz, 2004).

Esta tecnología, al igual que otras, ha centrado su atención para mejorar su eficiencia, en factores exclusivamente técnicos, como son: asegurar la elección de equipos y accesorios de buena calidad, capacidad de resistir los rigores del clima o los relacionados con la mejor adecuación de su

utilización, entre otras (Díaz, 2004; Camejo y Heredia, 2022; Camejo, Heredia y Hechavarría, 2013).

La inobservancia o subestimación del principio de que toda tecnología está concebida y diseñada para satisfacer necesidades humanas y que por consiguiente hay que tener siempre en cuenta la dimensión social, ha traído como consecuencia en muchos casos, «fallos y reducción del tiempo de uso de la tecnología, problemas de financiación y gestión, uso excesivo e insatisfacción, así como falta de aceptación por parte de los usuarios, entre otras (Villalobos, Schiweiser y Ramírez, 2002).

Lo anterior ha significado en muchos de los casos el desprestigio tecnológico, con la consiguiente «pérdida de confianza en el desempeño técnico, ambas muy difíciles de revertir dado que los clientes verifican in-situ todas estas anomalías y se van formando una opinión muy negativa difícil de revertir (Morante y Zilles, 2002).

El objetivo de estas actuaciones, ha sido contribuir a que la población de Guamá adopte un modelo de desarrollo sostenible (Lorenzo, 1999), para ello se realizaron distintas acciones dirigidas a aumentar la sensibilización en cuestiones medioambientales y desarrollar proyectos demostrativos del uso de las FRE, con un carácter más integrador y social, queriendo vincular el uso de los recursos naturales a los roles de género del municipio y trabajando con la población juvenil del municipio.

Entre los proyectos desarrollados con FRE se destacan los siguientes:

Proyecto Guamá II: Programa de sostenibilidad ambiental en el Oriente cubano

- Se pusieron en marcha 10 fincas productivas.
- Se electrificaron con sistemas fotovoltaicos 10 viviendas concebidas en el proyecto.
- Se instalaron cinco (5) unidades de bombeo con sistemas fotovoltaicos para el consumo de agua humano en comunidades aisladas.

Proyecto Guamá III: Solarización Guamá

Electrificación rural fotovoltaica de la comunidad La Palmita (sistema centralizado e individual en viviendas).

Instalación de siete unidades de bombeo fotovoltaico para el consumo de agua humano en los Consejos Populares de Chivirico y El Francés.

Proyecto: Contribuir al desarrollo sostenible del municipio de Guamá en la provincia de Santiago de Cuba mediante el uso de las fuentes renovables de energía

- Electrificadas 70 viviendas rurales del municipio con sistemas fotovoltaicos.
- Instalados ocho sistemas fotovoltaicos para el abastecimiento de agua en comunidades del municipio Guamá.

II. Materiales y métodos

El municipio Guamá (figura 1) está ubicado al Suroeste de la provincia de Santiago de Cuba, en la vertiente Sur del macizo montañoso Sierra Maestra. Ocupa una larga y estrecha franja que se extiende de este a oeste a través de 104 km y ocupa un área de 964,65 km². Limita al Norte con la provincia Granma y los municipios III Frente y Palma Soriano y al Este con el municipio Santiago de Cuba, al Oeste con el municipio Pílon (provincia de Granma) y al Sur con el Mar Caribe. El área del municipio representa el 15,6 % del área total de la Provincia Santiago. Su cabecera municipal, es el poblado de Chivirico, donde se concentra la mayor actividad administrativa.



Fig. 1. Localización del municipio Guamá. Mapa de la provincia Santiago de Cuba.

La población estimada del municipio Guamá asciende a más de 36 408 habitantes. De ellos 27 652 habitantes (72,45 %), viven en la zona rural. En el municipio se concentra el 3,55 % de la población de la provincia y tiene una densidad poblacional de 37,7 hab. /km².

Los resultados y experiencias de los proyectos de electrificación llevados a cabo en el municipio han contribuido al desarrollo local comunitario, con el acceso a las tecnologías que aprovechan las FRE y a la vez se promueve un consumo eficiente de la energía. Disímiles han sido las acciones y resultados logrados con los proyectos durante estos 20 años, los cuales contribuyen de forma exitosa al desarrollo de las zonas montañosas, elevando a planos superiores el desarrollo social y económico del municipio y de sus habitantes, en particular el de las mujeres.

La prosperidad energética tiene un rol esencial en la mujer, quienes cada día se enfrentan a las peores consecuencias de la falta de acceso a la energía. Lo anterior las limita de

poder dedicar parte de su tiempo libre al disfrute de los medios masivos de comunicación y brindar mayor atención a la familia y a la superación.

Para el diagnóstico se partió de una línea base, que resume las diferentes aplicaciones de los SFVA y posible lugar de emplazamiento. Para la recogida de información se diseñó una planilla, que recoge las principales características técnicas del equipamiento y consumo de cada SFVA.

III. Resultados y discusión

El procedimiento empleado para el trabajo consistió en documentar cada SFVA inspeccionado en la planilla de recogida de información. Luego se ingresó la información recopilada en las planillas en una Base de Datos desarrollada en Microsoft Access (figura 2).

La información recopilada se trabajó en una aplicación desarrollada por el CIES, CiesMap, soportada en Visual Studio 2022 (figura 3), mediante la cual se identificó a nivel de coordenadas en el mapa Satelital del municipio Guamá, la ubicación de cada SFVA, permitiendo interactuar con la base de datos y realizar valoraciones estadísticas de la información procesada. Finalmente, considerando los criterios de diseño y garantía del fabricante, se realiza la simulación con el Software profesional PVsyst V7.4 y se valora si el SFVA cumple con las expectativas y se proponen soluciones.

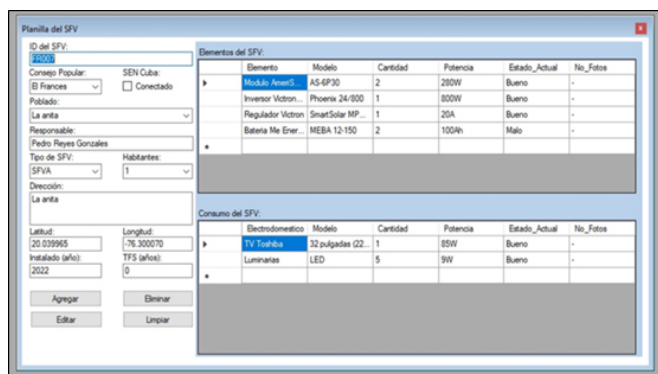


Fig. 2. Base de datos.

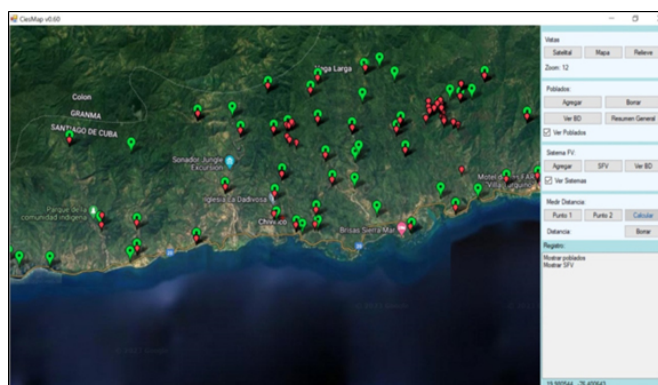


Fig. 3. Mapa Satelital Guamá.

De un total de 726 SFVA se pudo diagnosticar e ingresar en la Base de Datos del Software CiesMap 508 SFVA, pertenecientes a 116 comunidades del municipio Guamá. Este valor representa el 70 % del total de instalaciones a diagnosticar. Por problemas de accesibilidad a algunas comunidades se

dejaron de inspeccionar 45 SFVA y 173 SFVA no existen por diferentes causas, entre ellas, las más significativas son: Conectados al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y trasladados a otras provincias.

Teniendo en cuenta que para un nivel de confianza del 99 % y un margen de error del 3 %, el tamaño de la muestra debe ser de 417 SFVA como mínimo para que sea significativa. En este sentido, el diagnóstico realizado supera el valor referido en un 18 %, por lo que el estudio realizado es representativo de la situación actual de los SFVA.

Valoración de los principales elementos de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos diagnosticados

La tabla 1, resume los principales elementos que componen los SFVA diagnosticados, referido a marca, modelo, potencia instalada, cantidad, estado técnico, potencia fuera de servicio y año de instalación. Además, en la misma, se identifica una gran diversidad de tecnologías fotovoltaicas instaladas, (falta de estandarización de la tecnología), que por lo general, dificulta tener un mercado internacional consolidado para repuestos y/o sustitución de los mismos.

Como resultado del análisis de la información que se muestra en la tabla 1, se tienen en cuenta los siguientes criterios para realizar las valoraciones y consideraciones (Pablo, 2003):

- Elemento con mayor potencia instalada.
- Elemento con mayor nivel de afectación respecto a la cantidad fuera de servicio.

- Elemento con peor comportamiento referido a la cantidad fuera de servicio y tiempo de operación respecto al periodo de vida útil.

Del total de módulos FV diagnosticados 927 unidades, se determinó que el 27 % se encuentra fuera de servicio. En la figura 4 se muestran los modelos de módulos FV con mayor potencia instalada, en este caso se encuentran: Numen Solar: DSM-250, fecha de instalación, FI, (FI - 2016) y AmeriSolar: AS-6P60 (FI - 2022). El modelo de módulo FV que presenta mayores niveles de afectación respecto a la cantidad instalada es, Ditel: DSM-165 (FI - 2003) con un 83 % de los módulos fuera de servicio.

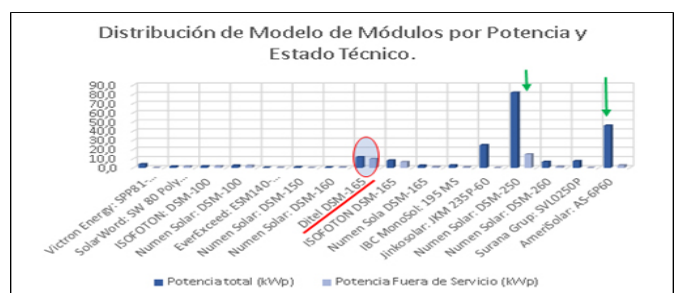


Fig. 4. Gráfico de Distribución de potencia y estado de técnico por modelo de módulos.

Tabla 1. Principales elementos de los SFVA diagnosticados

| Módulos FV | | | | | | | | |
|------------|----------------|------------------|---------------|------|----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------|
| No. | Marca | Modelo | Potencia (Wp) | Cant | Potencia total (kWp) | Cant Fuera de Servicio | Potencia Fuera de Servicio (kWp) | Año instalado |
| 1.1 | Victron Energy | SPP81-12 | 80 | 51 | 4,1 | 0 | 0,0 | 2019 |
| 1.2 | SolarWord | SW 80 Poly RNA\D | 80 | 20 | 1,6 | 20 | 1,6 | 2013 |
| 1.3 | Isofoton | DSM-100 | 100 | 19 | 1,9 | 19 | 1,9 | 2007 |
| 1.4 | Numen Solar | DSM-100 | 100 | 26 | 2,6 | 24 | 2,4 | 2000 |
| 1.5 | EverExceed | ESM140-156 | 140 | 2 | 0,3 | 2 | 0,3 | 2002 |
| 1.6 | Numen Solar | DSM-150 | 150 | 5 | 0,8 | 0 | 0,0 | 2009 |
| 1.7 | Numen Solar | DSM-160 | 160 | 4 | 0,6 | 4 | 0,6 | 2001 |
| 1.8 | Ditel | DSM-165 | 165 | 70 | 11,6 | 59 | 9,7 | 2003 |
| 1.9 | Isofoton | DSM-165 | 165 | 49 | 8,1 | 39 | 6,4 | 2000 |
| 1.1 | Numen Solar | DSM-165 | 165 | 15 | 2,5 | 6 | 1,0 | 2003 |
| 1.11 | IBC MonoSol | 195 MS | 195 | 15 | 2,9 | 4 | 0,8 | 2012 |
| 1.12 | Jinkosolar | JKM 235P-60 | 235 | 105 | 24,7 | 0 | 0,0 | 2009 |
| 1.13 | Numen Solar | DSM-250 | 250 | 328 | 82,0 | 59 | 14,8 | 2016 |
| 1.14 | Numen Solar | DSM-260 | 260 | 25 | 6,5 | 5 | 1,3 | 2018 |
| 1.15 | Surana Grup | SVLo250P | 250 | 29 | 7,3 | 0 | 0,0 | 2013 |
| 1.16 | AmeriSolar | AS-6P60 | 280 | 164 | 45,9 | 10 | 2,8 | 2022 |
| Total | | | | 927 | 203,23 | 251 | 43,61 | |

Diagnóstico técnico de instalaciones con Sistemas Fotovoltaicos Autónomos en comunidades...

| Inversores | | | | | | | | |
|-------------|----------------|-------------------------|---------------|-------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| No. | Marca | Modelo | Potencia (W) | Cant. | Potencia total (kW) | Cant. Fuera de Servicio | Potencia Fuera de Servicio (kW) | Año instalado |
| 2.1 | Epever | STI 300 | 300 | 347 | 104,1 | 162 | 48,6 | 2016 |
| 2.2 | Mobitronic | Mobitronic | 400 | 2 | 0,8 | 1 | 0,4 | 2002 |
| 2.3 | X_Power | Inverter 400 | 400 | 44 | 17,6 | 41 | 16,4 | 2003 |
| 2.4 | Victron Energy | Phoenix 24/800 | 800 | 70 | 56 | 6 | 4,8 | 2022 |
| 2.5 | Victron Energy | Quattro 48V | 5000 | 2 | 10 | 1 | 5 | 2013 |
| 2.6 | SMA | SB7000US | 7000 | 4 | 28 | | | 2009 |
| 2.7 | Schneider | Xantrex | 350 | 2 | 0,7 | 1 | 0,35 | 2013 |
| 2.8 | Schneider | Xantrex | 500 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 2002 |
| 2.9 | Master Power | MF-OME-LV1K12V | 1000 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2015 |
| 2.1 | Victron Energy | Phoenix 24/350 | 350 | 8 | 2,8 | 5 | 1,75 | 2013 |
| 2.11 | Schneider | Xantrex | 1500 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 2000 |
| Total | | | | 485 | 226 | 222 | 82,3 | |
| Reguladores | | | | | | | | |
| No. | Marca | Modelo | Corriente (A) | Cant. | Potencia total (kW) | Cant. Fuera de Servicio | Potencia Fuera de Servicio (kW) | Año instalado |
| 3.1 | Phocos | CML 20-2.1 | 20 | 28 | 13 | 22 | 11 | 2003 |
| 3.2 | Steca | PR 2020 | 20 | 17 | 8 | 16 | 8 | 2003 |
| 3.3 | Epever | Tracer 1210A | 10 | 346 | 83 | 124 | 30 | 2016 |
| 3.4 | Victron Energy | Blue Solar MPPT 75-15 | 15 | 9 | 4 | 6 | 2 | 2013 |
| 3.5 | Isofoton | Isoler 102030 | 20 | 6 | 3 | 4 | 2 | 2002 |
| 3.6 | Isofoton | Isoler 20 | 20 | 5 | 2 | 5 | 2 | 2003 |
| 3.7 | Phocos | ECO-N | 10 | 1 | 0,24 | 1 | 0,24 | 2001 |
| 3.8 | SMA | SI5048V | 100 | 3 | 15 | | | 2009 |
| 3.9 | Victron Energy | BlueSolar MPPT 150V-70A | 70 | 2 | 4 | 1 | 2 | 2013 |
| 3.10 | Smart Solar | MPPT 100/20 | 20 | 62 | 30 | | | 2022 |
| 3.11 | USA | NDR-30 | 30 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2002 |
| 3.12 | Masterpower | MF-OME-LV1K12V | 8,3 | 4 | 0,8 | 3 | 0,6 | 2015 |
| Total | | | | 486 | 165 | 185 | 60 | |
| Baterías | | | | | | | | |
| No. | Marca | Modelo | Capac. (Ah) | Cant. | Capac. Total (Ah) | Fuera de Servicio | Capac. Fuera de Servicio (Ah) | Año instalado |
| 4.1 | Narada | 6-MF-100P | 100 | 479 | 47 900 | 453 | 45 300 | 2016 |
| 4.2 | U.S.Battery | US1800 | 208 | 111 | 23 088 | 111 | 23 088 | 2003 |
| 4.3 | Hoppecke | OPZs800 | 800 | 80 | 64 000 | 80 | 64 000 | 2000 |
| 4.4 | MeEnergy | Meba 12-150 | 150 | 124 | 18 600 | 46 | 6900 | 2022 |
| 4.5 | Ritar | BS-12V | 100 | 219 | 21 900 | 199 | 19 900 | 2016 |
| 4.6 | Trojan | T-605 | 210 | 30 | 6300 | 30 | 6300 | 2001 |
| 4.7 | U-Power | 80PZv800 | 800 | 48 | 38 400 | 48 | 38 400 | 2013 |
| 4.8 | Victron Energy | GEL 12-90 | 90 | 10 | 900 | 10 | 900 | 2013 |
| 4.9 | Master U-Power | UP-GC2TOP | 255 | 132 | 33 660 | 132 | 33 660 | 2002 |
| Total | | | | 1233 | 254 748 | 1109 | 238 448 | |

| Variador de Frecuencia | | | | | | | | |
|------------------------|----------|------------------|---------------|-------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------|
| No. | Marca | Modelo | Potencia (kW) | Cant. | Potencia Total (kW) | Cant. Fuera de Servicio | Potencia Fuera de Servicio (kW) | Año instalado |
| 5.1 | Bornay | Delta VFD015E21A | 1,5 | 8 | 12 | 1 | 1,5 | 2022 |
| 5.2 | Grundfos | CU200SQFlex | 2 | 4 | 8 | 1 | 2 | 2005 |
| Total | | | | 12 | 20 | 2 | 3,5 | |

Como se muestra en la figura 5 el peor comportamiento lo presenta el modelo SolarWord: SW 80 Poly RNA\D (FI - 2013), en el que todos los módulos están fuera de servicio y no llegan a la mitad de su período de vida útil. El mejor comportamiento lo tienen los modelos Numen Solar: DSM-150 (FI - 2009) y Jinkosolar: JKM 235P-60 (FI - 2009), atendiendo a que se mantiene en operación el 100 % de los módulos FV y se encuentran en el la mitad de su período de vida útil.

En la figura 7 se muestra que el peor comportamiento lo tiene el modelo de inversor MF-OME-LV1K12V (FI - 2015), pues presenta el 70 % de los equipos fuera de servicio y se encuentra en la mitad de su período de vida útil. El mejor comportamiento lo tiene el modelo SB7000US (FI - 2009), atendiendo a que se mantiene en operación el 100 % de los equipos y se encuentra al final de su periodo de vida útil.

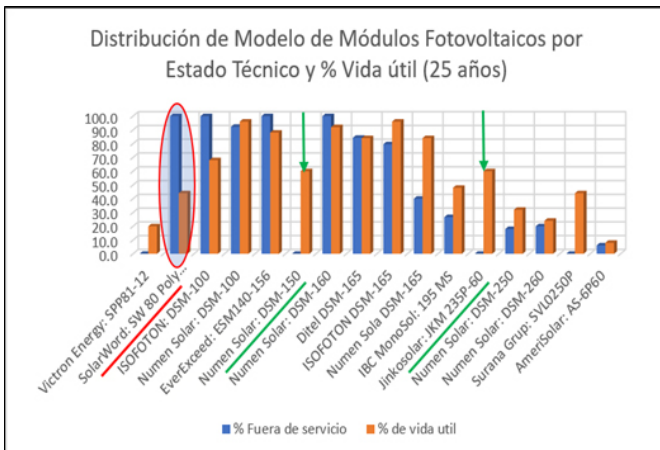


Fig. 5. Gráfico de distribución de modelo de módulos por estado técnico y % de vida útil.

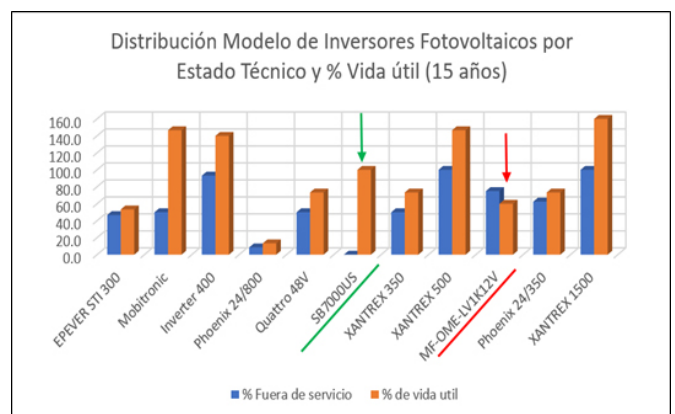


Fig. 7. Gráfico de distribución de modelo de inversores por estado técnico y % de vida útil.

Del total de Inversores diagnosticados 485 unidades, se determinó que el 46% se encuentra fuera de servicio. En la figura 6 se muestran los modelos de inversor con mayor potencia instalada, en este caso se encuentran: EPEVER STI 300 (FI - 2016) y el Phoenix 24/800 (FI - 2022). El modelo de inversor que presenta mayores niveles de afectación respecto a la potencia total instalada es Inverter 400 (FI - 2003).

Del total de reguladores diagnosticados 486 unidades, se determinó que el 38% se encuentra fuera de servicio. En la figura 8 se muestra el modelo de regulador con mayor potencia instalada, Epever: Tracer 1210 A (FI - 2016). Los que presentan mayores niveles de afectación respecto a la potencia instalada son: Isolser 20 (FI - 2003), ECO-N (FI - 2001) y el NDR-30 (FI - 2002).

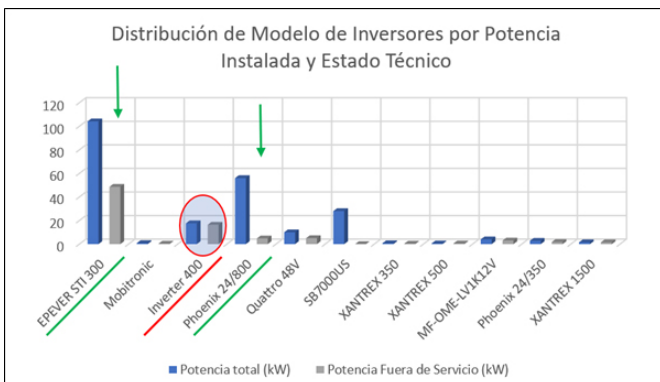


Fig. 6. Gráfico de distribución de modelo de inversores por potencia instalada y estado técnico.

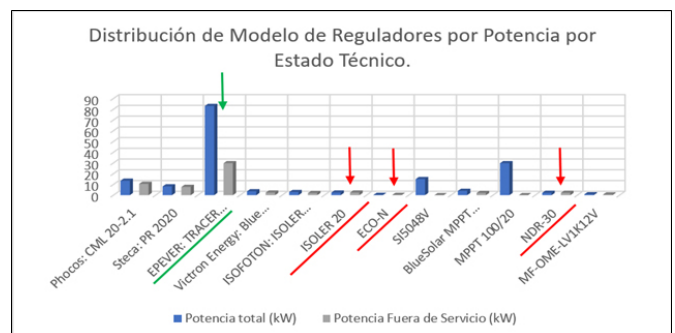


Fig. 8. Gráfico de distribución de modelo de reguladores por potencia y estado técnico.

En la figura 9 se muestra que el peor comportamiento lo tiene el modelo de regulador MF-OME-LV1K12V (FI - 2015), al presentar el 75 % de los equipos fuera de servicio y encontrarse en mitad de su período de vida útil. El mejor comportamiento lo tiene el modelo S15048V (FI - 2009), atendiendo a que se mantienen en operación el 100 % de los equipos y cumple con el periodo de vida útil.

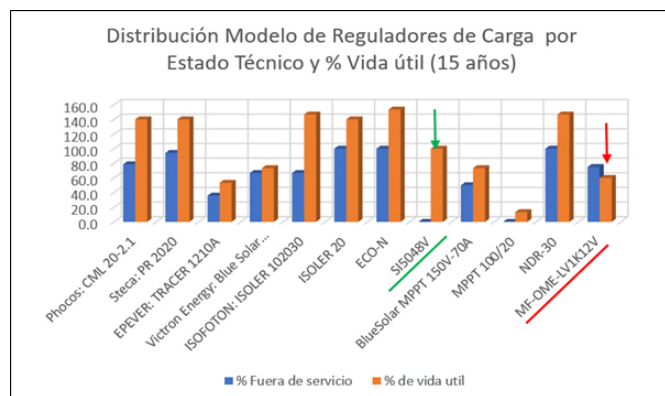


Fig. 9. Gráfico de distribución de modelo de reguladores por estado técnico y % de vida útil.

Del total de baterías diagnosticadas 1233 unidades, se determinó que el 90 % se encuentra fuera de servicio. En la figura 10, se muestra que el modelo con mayor capacidad instalada es el Hoppecke: OPZs800 (FI - 2000).

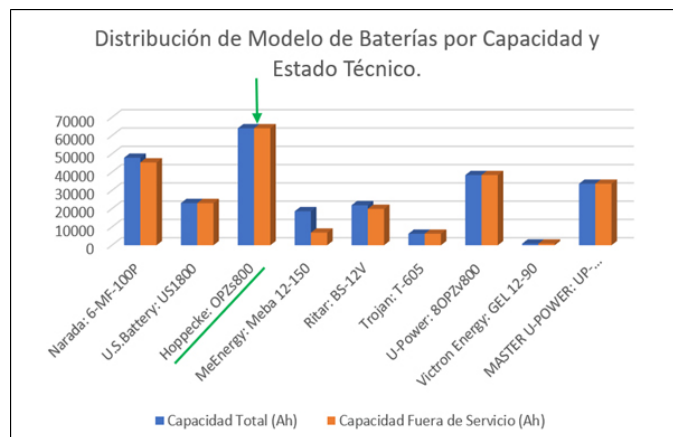


Fig. 10. Gráfico de distribución de modelo de baterías por capacidad y estado técnico.

En la figura 11 se muestra el estado técnico y vida útil de los modelos baterías. Los modelos: U.S. Battery: US1800 (FI 2003), Hoppecke: OPZs800 (FI 2000), Trojan: T-605 (FI 2001) y Master U-Power: UP-GC2TOP (FI 2002), superan en dos (2) veces el período de vida útil, sin acciones de mantenimiento o sustitución.

Estos resultados no son concluyentes. Para llegar a conclusiones precisas, se debe evaluar una muestra de partes y componentes de cada modelo de estos equipos en un laboratorio con equipamiento especializado y bajo determinadas condiciones, como establecen los estándares IEC.

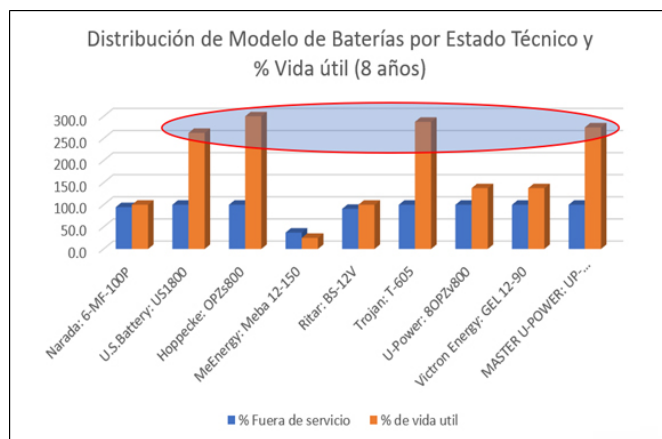


Fig. 11. Gráfico de distribución de modelo de baterías por estado técnico y % de vida útil.

Análisis de los datos obtenidos como resultado del diagnóstico

Como se muestra en la tabla 2, se encuentran fuera de servicio un total de 441 sistemas fotovoltaicos, que representan el 87 % de las instalaciones diagnosticadas. De los Consejos Populares diagnosticados, los más afectados son Uvero y La Plata, cuyos niveles de afectación de los SFVA son del 73,6 % y el 70 %, respectivamente.

Tabla 2. Resumen del diagnóstico de los SFVA por Consejos Populares. (Fallo en al menos uno de sus componentes)

| Consejos Populares | Sistemas Fotovoltaicos Autónomos incluido batería en mal estado | | | | | |
|--------------------|---|----------------|----------------|-------------------|-----------|--------------------------------|
| | Planificados | A Diagnosticar | Diagnosticados | Fuera de servicio | Operando | No ingresados en Base de datos |
| Uvero | 180 | 180 | 135 | 129 | 6 | 45 |
| La Plata | 159 | 159 | 95 | 91 | 4 | 64 |
| El Francés | 106 | 106 | 81 | 38 | 43 | 25 |
| Caletón | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Bahía Larga | 82 | 82 | 38 | 37 | 1 | 44 |
| Aserradero | 6 | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| Ocuja | 145 | 145 | 65 | 64 | 1 | 80 |
| Chivirico | 124 | 124 | 87 | 78 | 9 | 37 |
| TOTAL | 804 | 804 | 508 | 441 | 67 | 296 |

Principales problemas detectados

- Del total de módulos diagnosticados 927 unidades, el 27 % se encuentra fuera de servicio. El peor comportamiento lo presenta el modelo SolarWord: SW 80 Poly RNA\D (FI - 2013), donde todos los módulos están fuera de servicio y no llegan a la mitad de su vida útil.

- Del total de inversores diagnosticados 485 unidades, el 46 % se encuentra fuera de servicio. El peor comportamiento lo tiene el modelo de inversor MF-OME-LV1K12V (FI - 2015), pues presenta el 70 % de los equipos fuera de servicio y se encuentra en la mitad de su período de vida útil.
- El 38 % del total de reguladores diagnosticados se encuentra fuera de servicio, equivalentes a 486 unidades. El peor comportamiento lo tiene el modelo de regulador MF-OME-LV1K12V (FI - 2015), al presentar el 75 % de los equipos fuera de servicio y encontrarse en la mitad de su período de vida útil.
- Del total de baterías diagnosticadas 1233 unidades, el 90 % se encuentra fuera de servicio. Los modelos: U.S.Battery: US1800 (FI 2003), Hoppecke: OPZs800 (FI 2000), Trojan: T-605 (FI 2001) y Master U-Power: UP-GC2TOP (FI 2002), superan en dos (2) veces el período de vida útil sin acciones de mantenimiento o sustitución.
- Incompatibilidad existente en varios diseños, en cuanto a la relación de tensión del generador FV respecto a la tensión máxima admitida por el Regulador de Carga en su entrada.

En las entrevistas realizadas a usuarios, se confirmaron algunas apreciaciones recogidas en el diagnóstico, tales como:

- Existió un mejoramiento al principio, como resultado directo de la instalación de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, pero actualmente no se reconoce el beneficio, para las condiciones de vida y de salud debido al estado de deterioro de los mismos.
- Con la falta de iluminación y acceso a medios de entretenimiento y cultura, ha habido una disminución del tiempo libre nocturno aparejado a un decrecimiento de las actividades en ese horario, en lo fundamental en las mujeres y adolescentes.
- Se considera que la situación actual ha generado una disminución del tiempo de permanencia de médicos y maestros en las comunidades, por la falta de electricidad en las instalaciones.
- Se producen violaciones de procedimientos y normas técnicas frecuentes en los SFVA, por parte de los usuarios, por la necesidad de mejorar sus instalaciones.
- Se han agudizado las expectativas energéticas entre los usuarios, que superan las posibilidades reales de la tecnología instalada, lo cual se sustenta en la existencia de Mini-hidroeléctricas cercanas a algunas comunidades que garantizan un mayor nivel de prestaciones.
- No se planearon acciones de capacitación con los usuarios para crear o incrementar su cultura acerca del uso de las instalaciones.
- No hay establecida una infraestructura de suministro de repuestos.
- Los intentos de crear infraestructuras locales de mantenimiento han sido fallidas por diferentes causales.

Por otra parte, es importante resaltar que algunos SFVA no cuentan con una adecuada estructura de soporte, a pesar de que estas sean improvisadas, deben ser robustas para

garantizar la adecuada fijación de los módulos FV, su orientación e inclinación, así como, resistentes a las condiciones climatológicas extremas.

IV. Conclusiones

Como resultado del diagnóstico, se valora como crítica la situación actual de los SFVA, ya que se encuentran fuera de servicio 441 sistemas fotovoltaicos de un total de 508 diagnosticado, lo que representa el 87 %. Esta situación tiende a empeorar, si no se acometen acciones urgentes para propiciar un sistema de atención técnica que garantice mantener en operación satisfactoria y estable los SFVA. De los Consejos Populares diagnosticados, los de mayor problema son Uvero y La Plata, con niveles de afectación del 73,6 % y el 70 %, respectivamente.

Se diseñó una herramienta de gestión de sistemas fotovoltaicos, CiesMap, soportada en Visual Studio 2022 y una Base de Datos de Access, que facilita la recopilación, análisis y gestión de información para la optimización de los recursos energéticos disponibles. Este software puede ser replicable a nivel nacional e internacional.

La situación actual de los SFVA, ha generado en muchos de los usuarios la pérdida de confianza en el desempeño técnico de los sistemas y ha fomentando una opinión negativa difícil de revertir.

La batería de acumuladores es el componente con mayor grado de deterioro, con una afectación del 90 %.

Agradecimientos

A: Téc. Margenis Morell Pereira, del Centro de Investigaciones de Energía Solar. Santiago de Cuba. E-mail: mmorell@cies.cu; Centro Universitario Municipal Guamá (CUM), Universidad de Oriente, CubaSolar, Solidaridad para el Desarrollo y la Paz (SODEPAZ) y Ayuntamiento Rivas, Vaciamadrid, España.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, D. (2002). Estudio del modo y estilo de vida en la comunidad rural Santa María de Loreto.
- Alvira Martin, F. (1991). Metodología de la evaluación de programas. Cuadernos Metodológicos N° 2. Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Camejo, J. E., Ramos Heredia, R. (2013). Efectos del paso del huracán Sandy sobre sistemas fotovoltaicos en Cuba. XX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XX-SPES).
- Camejo, J. E., Ramos Heredia, R., Proenza Yero, R., Felipe Vigil, J. (2022). 25 Years of Operation of the Santa María del Loreto Photovoltaic Plant Cuba. Engineering and Applied Sciences. Volume (7), 58-62.
- Camejo, J.E., Ramos Heredia, R., Hechavarría, F. (2013). Impacto socioeconómico en una comunidad rural cubana. Electrificación en zonas aisladas con sistemas fotovoltaicos centralizados de potencia media. *Revista Erasolar*. Ed. SAPT, Publicaciones Técnicas.
- Díaz, J.R., Camejo, J.E., Batista, I., Hernández, R., Cisnero, I., Borges, A. (2004). Two Years' Experience in the Operation of the First Community PV System in Cuba. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, 105-110.
- Jenny A., Hechavarría-Fuentes, F., Mosler H.J. (2006). Psychological Factors Determining Individual Compliance with Rules

for Common Pool Resource Management: The Case of a Cuban Community Sharing a Solar Energy System, Springer Science.

Lorenzo E. (1999). Aproximación a una metodología para abordar proyectos de electrificación rural. Instituto de Energía Solar, España.

Morante F., Zilles R. (2002). La importancia de la participación de los usuarios en la implantación de proyectos de electrificación rural con tecnología fotovoltaica.

Morante, F. y Zilles, R. (2002). La importancia de la participación de los usuarios en la implantación de proyectos de electrificación rural con tecnología fotovoltaica.

Mosler, H.J., Bruks, W. (2001). The Simulation of Social Influence among Agents Using Social Psychological Theories. Applications in the Social Sciences. Series A: Philosophy and Methodology of the Social Sciences, 125-147.

Pablo, D. (2003). Tesis Doctoral. Confiabilidad de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos: Aplicación a la Electrificación Rural.

Ramos Heredia, R., Batista Cruz, I. Hernández, R., Camejo Cuán, J. E., Moreira, J., Márquez, S. C., Rodríguez, M., Cisnero, I. y Borges, A., Díaz López, J. R. (1998). Design, Instalation and Operation of the First Central Photovoltaic Developed in Cuba. 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion.

Villalobos, C., Schweiser, P., Ramírez, E. (2002). Apoderamiento y estrategias para la intensificación de la participación de

las comunidades de usuarios en el proceso de electrificación rural.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflicto de intereses vinculados a la investigación presentada.

Contribución de los autores

Conceptualización: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos

Curación de Datos: Adrián Romeu Ramos, Rubén Ramos Heredia, Erisnel Lora Sugve

Análisis Formal: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos, Erisnel Lora Sugve

Investigación: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos, Rubén Ramos Heredia, Erisnel Lora Sugve, Raudel Domínguez Morales, Margenis Morell Pereira

Metodología: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos, Erisnel Lora Sugve

Supervisión: José Emilio Camejo Cuán, Rubén Ramos Heredia

Redacción – borrador original: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos

Redacción – revisión y edición: José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos, Rubén Ramos Heredia

Recibido: 25 marzo de 2024

Aceptado: 28 de abril de 2024