



REVISTA CIENTÍFICA DE CUBASOLAR

**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

84

DIRECTOR GENERAL

Dr. C. Luis Bériz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra
M.Sc. Julia Esther Gutiérrez
Hernández

CONSEJO EDITORIAL

M. Sc. Ramón Acosta Álvarez
Dr. C. Luis Bériz Pérez
M. Sc. Ricardo Bériz Valle
Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez
Ing. Otto Escalona Pérez
Dra. Cs. Dania González Couret
Ing. Miguel González Royo
Dr. C. José A. Guardado Chacón
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Ing. Nilo Ledón Díaz
M. Sc. Martha Mazorra Mestre
Dr. C. Conrado Moreno Figueredo
Dr. C. Rafael Parúas Cuza
Dr. C. Joel Morales Salas
M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Ernesto Nolasco Serna

Eco Solar, no. 84 / 2024
Revista científica de las
fuentes renovables de energía
enero-diciembre, 2023
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



PATROCINADORES

CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113,
entre calles 18A y 47,
Playa, La Habana, Cuba
TELÉF.S.: (53) 72040010; 72062061

madelaine@cubasolar.cu
HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PASTOS Y FORRAJES INDIO HATUEY DE MATANZAS.....	3
José Luis Sánchez Ávila, Luis Cepero Casas, Ing. Marlene Orama Ortega, Maday Sánchez Orama y Danay Sánchez Orama	
PROPUESTA DE BIOELÉCTRICA INTEGRADA CON UN CENTRAL AZUCARERO.....	7
Danay Sánchez Orama, Lic. Maday Sánchez Orama, José Luis Sánchez Ávila y Marlene Orama Ortega	
DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE INSTALACIONES CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS EN COMUNIDADES DEL MUNICIPIO GUAMÁ, PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA.....	16
José Emilio Camejo Cuán, Adrián Romeu Ramos, Rubén Ramos Heredia, Erisnel Lora Sugve y Raudel Domínguez Morales	

ESTUDIO PARA LA APLICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE PASTOS Y FORRAJES INDIO HATUEY DE MATANZAS

Por Dr. C., M. Sc., Ing. José Luis Sánchez Ávila*, M. Sc., Ing. Luis Cepero Casas**, M. Sc., Ing. Marlene Orama Ortega***, Lic. Maday Sánchez Orama**** y Danay Sánchez Orama*****

*, **, ***, **** y ***** Miembros de Cubasolar Matanzas.

* <https://orcid.org/0000-0003-3216-1397>

E-mail: joseluis@dpmt.bandec.cu, tel: (53) 54555891

** Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Matanzas.

<https://orcid.org/0000-0003-0193-1440>

E-mail: cepero@ihatuey.cu, tel.: (53) 53990914

*** Universidad de Matanzas, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0002-6215-4262>

E-mail: marlene.oramass@umcc.cu, tel: (53) 55730930

**** Lic. Química Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB).

<https://orcid.org/0009-0004-1819-3813>

E-mail: madaysanma@gmail.com, tel: (53) 55730929

***** Estudiante de Ingeniería Mecánica, Universidad de Matanzas.

<https://orcid.org/0009-0006-5717-5655>

Email: danays.orama@gmail.com, tel. (53) 59249587

Resumen

El trabajo consiste en los cálculos y selección de las tecnologías posibles de aplicar mediante un estudio integral de las posibilidades más abarcadoras para la aplicación de las fuentes renovables de energía en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey de Matanzas, para la reducción de su consumo de energía eléctrica y la producción de un extra de energía, que mediante su venta a la Unión Eléctrica (UNE) le permita recuperar la inversión a ejecutar en un tiempo prudencial.

Palabras clave: energía renovable, medioambiente, eficiencia energética.

STUDY FOR THE APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY AND PHOTOVOLTAIC ENERGY AT THE INDIO HATUEY PASTURE AND FORAGE EXPERIMENTAL STATION IN MATANZAS

Abstract

The work consists on the calculations and selection of the technologies possible to apply by means of an integral study of the most comprehensive possibilities for the application of the renewable sources of energy in the Experimental Station of Grasses and Forages "Indio Hatuey" of Matanzas, for the reduction of its electric power consumption and the production of an energy extra that by means of its sale to the Electric National Union (UNE) it allows to recover the investment to execute at one time prudential.

Keywords: Renewable energy, environment, Energy efficiency.

I. Introducción

La necesidad de mitigar el efecto invernadero y el aumento de los precios del petróleo, como resultado de la disminución de las reservas mundiales y de la inseguridad en el suministro estable, debido a conflictos políticos en regiones productoras, han motivado la búsqueda de alternativas a los combustibles fósiles (SENER, 2019; CONAE y CRE, 2022). Las fuentes de energía renovables se encuentran entre los potenciales sustitutos de los combustibles y fuentes de energía basados en los hidrocarburos tradicionales y como una de las maneras más factibles de lograr la independencia energética de la nación con respecto a las fuentes externas de combustible (hidrocarburos importados). Debido a ello se acomete el estudio de la utilización de la energía fotovoltaica en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey de Matanzas.

II. Desarrollo

Los techos escogidos son aquellos que tienen una orientación norte sur. Se plantea una inclinación de los colectores de 200 con respecto a la horizontal, que es lo recomendado para los paneles fotovoltaicos (Binita y Matthias, 2017), (Chen *et al.*, 2017), (Cunha & Oliveira, 2020), (Arencibia-Carballo, 2016), (Pons Tabascar, 2016) y (Wu *et al.*, 2020).

Las áreas de techo utilizables son las siguientes:

Locales	Área (m ²)
• Oficinas y laboratorio	1047
• Laboratorio de bioenergía	230
• Teatro y Maquinaria	240
• Biblioteca y transporte	500
• Almacenes y Motel	953
• Vaquería	761
Total:	3731

Análisis de la inversión

El sistema eléctrico de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey de Matanzas, está compuesto por cinco metrocontadores, de los cuales se analizaron cuatro, manteniendo el abastecimiento de agua a las casas, fuera del análisis. El mayor consumo de su entidad estriba en el sistema de climatización y refrigeración, de alrededor del 50,7 % del consumo mensual, por lo que si algún día se aprueba la sustitución del equipamiento actual por otro de alta eficiencia, como el sistema *inverter* que se propone para los sistemas de climatización y refrigeración, se puede ahorrar más del 30 % de la energía que consumen hoy esos sistemas.

También se evidenció que el equipamiento de oficinas se detiene las dos horas establecidas para el pico diurno. El resto de los tiempos de trabajo utilizados están en correspondencia con la funcionabilidad y el objetivo de cada equipamiento y los horarios de trabajo de cada actividad. Las luces y los equipos no industriales tampoco trabajaran en el horario pico diurno de 11:00 a.m. a 1:00 p.m., excepto los servidores de computación y otros imprescindibles.

Por las facturas se observa que el factor de potencia real está por encima de 0,96, por lo que tienen bonificación. Se aclara que las tarifas están afectadas por el coeficiente K o factor de combustible, el cual depende del precio internacional de la tonelada de petróleo. Para los cálculos se utilizó el acomodo de carga según el modelo establecido por la UNE, que confeccionó la Universidad de Cienfuegos, el cual debe ser actualizado periódicamente y sobre todo después de ejecutada la inversión propuesta.

Este análisis se realiza teniendo en cuenta la propuesta de un proyecto de inversión de energía renovable, basada en la instalación y montaje de 1911 paneles fotovoltaicos, ver tabla 1. En la misma tabla se puede observar, que aunque por el área aprovechable la capacidad máxima teórica es de 726,18 kWp, en realidad la disponible es 519 kWp, ya que existe un

Tabla 1: Propuesta de paneles fotovoltaicos

Concepto	Unidad	Oficinas y laboratorio	Parqueo	Laboratorio de bioenergía	Teatro y Maquinaria	Transporte	Biblioteca y transporte	Almacenes	Motel y almacén de semilla	Vaquería	Veterinaria	Total o promedio
Tipo de Colector	Tipo	Estructurado	Adosado	Estructurado	Adosado	Estructurado	Adosado	Adosado	Estructurado	Adosado	Estructurado	
Colectores	Cantidad	400	128	115	125	39	219	373	117	363	32	1 911
Potencia total	kWp	152,00	48,64	43,70	47,50	14,82	83,22	141,74	44,46	137,94	12,16	726,18
Potencia aprovechable	kW	109,00	35,00	31,00	34,00	10,00	59,00	102,00	32,00	99,00	8,00	519,00
Pérdidas	%	28,29%	28,04%	29,06%	28,42%	32,52%	29,10%	28,04%	28,03%	28,23%	34,21%	29,39%
Área disponible	m ²	801,00	246,00	230,00	240,00	78,00	422,00	718,00	235,00	697,00	64,00	3 731,00
Carga de corriente	A.hr/día	22 799,22	7 295,75	6 554,78	7 124,76	2 222,92	12 482,57	21 260,28	6 668,77	20 690,29	1 823,94	108 923,29
Potencia del inversor	kW.hr	112,86	36,11	32,45	35,27	11,00	61,79	105,24	33,01	102,42	9,03	539,17
Regulador	Amperes	4 835,00	1 547,20	1 390,06	1 510,94	471,41	2 647,16	4 508,64	1 414,24	4 387,76	386,80	23 099,21
Baterías (opcional)	Cantidad	210	68	62	66	22	116	196	62	190	18	1 010

Del total de colectores

Estructurados	703
Adosados	1 208
Total:	1 911

promedio de 29,39 % no utilizable, debido al tiempo nublado, brumoso o de poca radiación y a las pérdidas por conducción.

En la tabla siguiente se expone la potencia pico máxima a instalar por cada local cuyo techo es aprovechable. En aquellos cuyo techo es inclinado a 200 o a 300 y pueden ser instalados directamente, «adosado», es decir, sin soporte de aluminio, la Empresa ahorraría 90 USD por cada colector, al no ser necesario el uso de dicho soporte; los techos que son planos y que los colectores necesitan soportes de aluminio, se ubican «estructurado».

Cálculo económico

La cantidad de energía eléctrica que se deja de producir en los generadores primarios de energía que utilizan combustibles fósiles, después de ejecutada la inversión propuesta (Sánchez Ávila, 1999), se calcula como:

$$EeT = AeeE + Ep = 234\,900,00 \text{ kWh/año} + 712\,275,00 \text{ kWh/año}$$

$$EeT = 947\,175,00 \text{ kWh/año}$$

Donde:

AeeE → Ahorro de energía eléctrica en la Empresa, kWh/año

EeT → Energía eléctrica que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kWh/año

Ep → Energía eléctrica producida, kWh/año

El combustible ahorrado por este concepto se calcula multiplicando este valor por el consumo específico de combustible medio del país, que es de 280 g/kWh (gramos de combustible por kWh producido)

$$Cah = EeT \cdot Bc = \frac{947\,175,00 \text{ kWh/año} \cdot 280 \text{ g/kWh}}{1\,000\,000 \text{ g/t}} = 265,21 \text{ t/año}$$

Donde:

Cah → Combustible fósil ahorrado al año, t/año

Bc → Consumo específico de combustible del País, 280 g/kWh

Lo cual equivale a que gracias a la inversión propuesta, además de dejarse de consumir 265,21 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 225 799 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 769 toneladas de dióxido de carbono anuales.

Al precio actual de la tonelada de combustible de 700 USD, el país se puede ahorrar con la propuesta realizada:

$$AP\$ = 265,21 \text{ t/año} \cdot 700 \text{ usd/t} = 185\,647,00 \text{ USD/año}$$

Con respecto a todo el ahorro que recibe el país, el período de recuperación de la inversión se determina por la siguiente expresión:

$$TrP = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{16\,083\,587,52 \$}{185\,647,00 \text{ USD/año} \cdot 24 \text{ \$/USD}} = 3,61 \text{ años} = 3 \text{ años y 8 meses}$$

Con respecto al dinero que va a recibir la Empresa por la venta de energía y teniendo en cuenta lo que se ahorra por el pago de la factura de energía eléctrica dejada de consumir, se obtiene que se recupera la inversión en:

$$TrE = \frac{\text{Inversión}}{\text{Pagos a recibir}} = \frac{16\,083\,587,52 \text{ usd}}{2\,228\,665,50 \text{ usd/año}} = 7,22 \text{ años} = 7 \text{ años y 3 meses}$$

Para ambos casos, país y empresa, es rentable ejecutar la inversión propuesta, teniendo en cuenta los 25 años de vida útil que tienen al menos los paneles fotovoltaicos.

Los cálculos desglosados por año y metrocontador pueden observarse en la tabla 2.

Eficiencia energética

También se incluye la solicitud de transporte eléctrico por reposición de los 20 automóviles ligeros y las 10 camionetas que actualmente tiene asignada la Empresa, con sus precios de

Tabla 2: Cálculos económicos

No	Año	Consumo anual:			370,000	MW.hr		Combustible que ahorra el país	Tiempo recuperación inversión respecto al combustible	Monto que recibe la Empresa por la energía ahorrada y generada	Tiempo recuperación inversión para la Empresa	Área disponible de techo	Cantidad de Paneles fotovoltaicos	Consumo a reducir (MWh)	% reducción del consumo
		Demanda	Generación de Paneles	Excedente para vender a la OBE	Monto de la Inversión o Acción propuesta	USD	t/año								
		kW	kW	kW	cup	USD	t/año	USD/año	años	cup	años	m²	Unidad	(MWh)	%
1	2023	50,00	144,00	94,00	4 443 816,96	185 159,04	73,58	51 506,00	3,59	618 435,00	7,19	1 047,0	528	65,25	17,64
2	2024	20,00	31,00	11,00	967 876,80	40 328,20	15,84	11 088,00	3,64	145 429,50	6,66	230,0	115	26,10	7,05
3	2025	15,00	34,00	19,00	1 052 040,00	43 835,00	17,37	12 159,00	3,61	150 271,50	7,00	240,0	125	19,58	5,29
4	2026	20,00	69,00	49,00	2 171 410,56	90 475,44	35,26	24 682,00	3,67	291 064,50	7,46	500,0	258	26,10	7,05
5	2027	55,00	134,00	79,00	4 123 996,80	171 833,20	68,47	47 929,00	3,59	586 765,50	7,03	953,0	490	71,78	19,40
6	2028	20,00	107,00	87,00	3 324 446,40	138 518,60	54,68	38 276,00	3,62	436 699,50	7,61	761,0	395	26,10	7,05
Total		180,00	519,00	339,00	16083587,52	670149,48	265,20	185640,0		2 228 665,50		3 731,0	1 911	234,90	63,49

compra en USD y el ahorro que tendrían en litros de combustibles anuales con su aplicación, al cabo de los cinco años de haber repuesto esos automóviles la Empresa puede ahorrarse 407 370,00 \$ al año, equivalentes a 16 973,75 USD anuales para el país. La carga de las baterías de esos vehículos se propone realizarla mediante los paneles fotovoltaicos propuestos.

Se determinó el ahorro y el tiempo de recuperación de la inversión, si se cambian todas las luminarias fluorescentes actuales por luminaria tipo Led, con lo cual se puede ahorrar el 50 % del consumo de electricidad por luminarias, y la Empresa se puede ahorrar 46 227,20 \$ al año, lo que equivale a 4,15 t de petróleo que se ahorra el País en los generadores primarios (Centrales termoeléctricas y Grupos electrógenos de generación distribuida) correspondientes a 2 904,02 USD anuales de ahorro por este concepto (IRENA 2021).

El ahorro y el tiempo de recuperación de la inversión, si se cambian todos los equipos de clima y refrigeración por equipamiento con sistema inverter, le puede ahorrar el 30 % del consumo de este equipamiento, y la Empresa se puede ahorrar 213 374,44 \$ al año, lo que equivale a 19,15 Tn de petróleo que se ahorra el País en los generadores primarios, correspondientes a 13 404,29 USD anuales de ahorro por este concepto (IDEA, 2019).

III. Conclusiones

1. La inversión en energía renovable propuesta a instalar en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, mediante la adquisición de paneles fotovoltaicos, además de garantizar el servicio eléctrico, siempre que el día este soleado, incrementará los ingresos a la Empresa en 2 228 665,50 \$ al año, en moneda nacional, mediante los ahorros que se logran al dejar de consumir energía en gran parte del horario diurno y por los pagos que recibiría la Empresa por la generación de energía eléctrica totalmente limpia, lo cual debe redundar en una ostensible mejora de los salarios de sus trabajadores. Además, el país deja de erogar 185 647,00 USD al año, por dejar de comprar 265,21 t de combustible, necesario para generar la energía que se puede ahorrar y generar en la Empresa, dejando de emitir 769 toneladas de dióxido de carbono anuales a la atmósfera.

2. Si se cambian las luminarias fluorescentes actuales por luminarias led, la Empresa puede ahorrar 46 227,20 \$ al año, lo que equivale a 4,15 t de petróleo que ahorra al país en los generadores primarios, que corresponden a 2 904,02 USD anuales por este concepto.

3. Si se cambian todos los equipos de clima y refrigeración por equipamiento con sistema inverter, la Empresa puede ahorrar 213 374,44 \$ al año y por consiguiente 19,15 t de petróleo para el País en los generadores primarios, que corresponden a 13 404,29 USD anuales de ahorro por este concepto.

4. La inversión propuesta en energía renovable se recupera en 3 años y 8 meses por concepto del combustible que se ahorra al país y con respecto a los ahorros de energía eléctrica y el pago que la Empresa recibiría por generación de electricidad, la recuperación esperada sería en 7 años y 3 meses.

5. En total, con la inversión propuesta en energía renovable y eficiencia energética, la Empresa puede incrementar sus ingresos en 2 488 267,14 \$ al año; además de que el País ahorra 288,51 toneladas de combustibles fósiles anuales, que se dejan de consumir en los generadores primarios, o sea aproximadamente 242 107 litros de hidrocarburos al año, que a los precios actuales equivalen a 218 922,06 USD

y por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 836,7 toneladas de dióxido de carbono anuales, contribuyendo ostensiblemente al mejoramiento del medioambiente.

IV. Recomendaciones y aclaraciones

1. Realizar licitaciones para adquirir la tecnología propuesta, mediante solicitud de crédito bancario amparados por el Decreto Ley 345/2017 del MINEM.

2. Se recomienda la instalación de protectores de línea en los sistemas de refrigeración, para protección y aumento de su vida útil.

3. Los cálculos realizados pueden tener hasta un 10 % admisible de error, al haberse usado valores medidos directamente en el equipamiento y de catálogos y originales de proyectos.

V. Referencias bibliográficas

- Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *Revista electrónica de Veterinaria.*, 17(9), 1-4 p.
- Binita, K.C., Matthias, R. (2017), *Estimation and projection of institutional building electricity consumption*, Energy and Buildings 143 43–52, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.034>.
- Chen, Y., Tan, H., & Berardi, U. (2017). *Day-ahead prediction of hourly electric demand in non-stationary operated commercial buildings: A clustering-based hybrid approach*. Energy and Buildings, 148, 228-237.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). 2022. Disponible en: <http://www.energia.gob.mx>.
- Comisión Reguladora de Energía, CRE (2022). Disponible en: <http://www.cre.gob.mx>.
- Cunha, F. O., & Oliveira, A. C. (2020). Benchmarking for realistic nZEB hotel buildings. *Journal of Building Engineering*, 30, 101298.
- IDEA, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2019). *Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. PET-REV-enero. Disponible en Internet: <http://www.idae.es>
- Irena (2021). *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Pons Tabascar, R. (2016). Proyecto de instalación Solar Fotovoltaica para bloques de viviendas. Valencia.
- Sánchez Ávila, J.L. (1999). *Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado*. Tesis de Doctorado. Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba. 129 pp.
- SENER. *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. 2019. Disponible en: <http://www.conaea.gob.mx>.
- Wu, J., Lian, Z., Zheng, Z., & Zhang, H. (2020). *A method to evaluate building energy consumption based on energy use index of different functional sectors*. Sustainable Cities and Society, 53, 101893.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Contribución de los autores: 20 % cada autor. Se trabajó en equipo de forma grupal, de manera que todos aportaron en relación a: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, redacción-borrador original y redacción-revisión y edición.

Recibido: 4 marzo de 2024

Aceptado: 25 de marzo de 2024

PROPUESTA DE BIOELÉCTRICA INTEGRADA CON UN CENTRAL AZUCARERO

Por **Danay Sánchez Orama***, Lic. **Maday Sánchez Orama****,
Dr. C., M. Sc., Ing. **José Luis Sánchez Ávila***** y M. Sc. Ing. **Marlene Orama Ortega******

* Estudiante de Ingeniería Mecánica. Universidad de Matanzas, miembro de Cubasolar Matanzas.
<https://orcid.org/0009-0006-5717-5655>

E-mail : danays.orama@gmail.com; tel. : (53) 59249587

** Miembro de Cubasolar Matanzas. Lic. Química. Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB).
<https://orcid.org/0009-0004-1819-3813>

E-mail: madaysanma@gmail.com; tel.: (53) 55730929

*** Miembro de Cubasolar Matanzas

<https://orcid.org/0000-0003-3216-1397>

E-mail: joseluis@dpmt.bandec.cu; tel.: (53) 54555891

**** Miembro de Cubasolar Matanzas. Universidad de Matanzas.

<https://orcid.org/0000-0002-6215-4262>

E-mail: marlene.oramas@umcc.cu; tel.: (53) 55730930

Resumen

La propuesta consiste en las tecnologías posibles de aplicar para la inversión en conjunto de una Bioeléctrica con un Central Azucarero, buscando la máxima complementación e integración tecnológica de ambos para la reducción de su consumo de energía eléctrica y sus costos, además de la producción de azúcar, alcohol, biogás, abono, dextrosa y lo más importante la producción de una cantidad de energía eléctrica, que mediante su venta a la Unión Eléctrica (UNE), le permita recuperar la inversión a ejecutar en un tiempo prudencial. Para ello se proponen y analizan dos variantes de molienda anual.

Palabras clave: bioeléctrica, industria azucarera, energía renovable, medioambiente.

PROPOSAL FOR A BIOELECTRIC PLANT INTEGRATED WITH A SUGAR PLANT

Abstract

The proposal consists on the technologies possible to apply on the whole for the investment of a Bioelectric with a Sugar Mill station, looking for the maximum complementation and technological integration of both for the reduction of its electric power consumption and its costs, besides the production of sugar, alcohol, biogas, fertilizer, dextrose, and the most important thing the production of a quantity of electric power that by means of its sale to the Electric Union (UNE), allow it to recover the investment to execute at one time prudential. For they intend it and we analyze two variants of annual mill.

Keywords: Renewable energy, environment, Energy efficiency.

I. Introducción

El desarrollo de la Sociedad humana está basado en el consumo de grandes cantidades de energía. La energía que circula por los ecosistemas y permite vivir a los seres vivos, procede en primera instancia del Sol. Sin embargo, a pesar del desarrollo científico y tecnológico, todavía la humanidad no ha aprendido a aprovechar eficazmente esta fuente inagotable, es por ello que la mayor parte de la energía que se utiliza procede de los recursos naturales existentes en el subsuelo de nuestro planeta, fundamentalmente los combustibles fósiles y el uranio.

Situación energética internacional

Las actividades energéticas están muy íntimamente relacionadas al cambio climático, los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas, etc., representan el 87 % de la energía mundial y contribuyen de manera muy importante al calentamiento del Planeta, por estas causas los expertos afirman que las reservas de combustibles solo durarán entre 140 y 150 años más aproximadamente, por lo que se deben buscar fuentes sustitutivas de energía como las energías renovables.

Cuba, país tradicionalmente azucarero y dependiente del uso de combustibles fósiles para usos industriales y en menor cuantía en la industria azucarera, presenta una organizada estructura de su Sistema Electroenergético Nacional (SEN), que trabaja sincronizado con las Unidades Básicas de Producciones Azucareras, las que aportan energía eléctrica durante la campaña de zafra.

Factibilidad de utilización de la caña de azúcar como biomasa

La biomasa no es más que la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía se puede recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles, tales como carbón vegetal y biogás (CONAE, 2022), (CRE, 2023) y (SENER, 2023).

El contenido energético que posee la caña de azúcar puede observarse en las siguientes potencialidades:

- Es capaz de almacenar el 1,7 % de la energía existente en la radiación incidente en cultivos con irrigación y en condiciones experimentales y 1,1 % en campos bien atendidos con regadío.
- Tiene un rendimiento potencial genético que se encuentra entre 200 y 300 toneladas por hora (t/h), con un máximo teórico de 333 t/h. Si se compara con otros cultivos es más ventajoso.
- Para un valor calórico de 17 476 kJ/kg de materia seca (MS), con un contenido de MS del 30 % y un rendimiento de 100 toneladas de caña integral por hectárea (ha), la producción energética de la caña es veinte veces mayor que la energía que se utiliza para producirla, cosecharla y trasladarla hacia el ingenio.
- Cuatro toneladas de paja equivalen a una tonelada de petróleo (calor de combustión de la paja con el 30 % de humedad es 11,7 MJ/kg).
- El valor calórico del bagazo (con 50 % de humedad) es de 7,64 MJ/kg, semejante al de la madera: 7,9 MJ/kg según estudios realizados por diversos autores (Best,

1998; Grinds 2001; Llanes, 1994; Magassiner, 1994; Mesa, 2003; Sinclair 1997), reflejados en Peralta y Martín (2000).

Cogenerar es la producción simultánea de calor y electricidad usando un solo portador energético primario, utilizándose el calor para el proceso productivo de una industria, en este caso para producir azúcar. La energía eléctrica se utilizaría para el consumo propio de la industria y exportar al Sistema Electroenergético Nacional el resto de la energía generada que no se utilice.

Una de las metas a alcanzar en la cogeneración es generar y exportar el máximo posible de energía eléctrica, mediante el incremento de la presión y temperatura del vapor de agua generado, con un notable incremento del aprovechamiento de agua del proceso, mediante una adecuada selección y tratamiento del agua vegetal a utilizar, garantizando el vapor de agua necesario para la producción de azúcar y alcohol, disminuyendo los consumos de estos en el proceso fabril y por consiguiente la disminución del consumo eléctrico en la fábrica azucarera (Borges *et al.*, 2021) y (Borges *et al.*, 2020).

Objetivos de la propuesta de proyecto

Económicos: Obtener mediante la venta de la energía generada y exportada (kWh), la producción de azúcar y de alcohol, la liquidez suficiente que permita pagar deudas, ofrecer un retorno a los accionistas y a la vez, ser atractivo para Cuba, para la Empresa AZCUBA y para la Unión Eléctrica (UNE), en términos y plazos aceptables por todos.

Técnicos: Presentar esquemas básicos con tecnología existente, que permitan abastecer de electricidad y vapor a la fábrica de azúcar y vender excedentes de energía.

II. Materiales y métodos

Las ventajas de este proyecto de cogeneración vendrían dados por:

- **Cogenerar:** Es compatible con el incremento de eficiencia y modernización de la industria del azúcar.
- **Económico:** El costo de la biomasa es menor que el costo del petróleo equivalente y otros combustibles fósiles.
- **Inversiones:** Con una sola inversión se sustituyen dos inversiones independientes: azucarera y termoeléctrica.

La industria azucarera se encuentra en estos momentos en un punto crítico, debido a la crisis energética y económica mundial, por lo que ya es tiempo de dar el salto tecnológico necesario en el desarrollo de dicha industria, que permita un incremento de la eficiencia y la productividad; para ello se deben trazar sólidas y firmes estrategias que logren un incremento de la producción combinada de energía, azúcar y sus derivados, mediante una alta eficiencia (Fernández, 2019), (Medina, 2022) y (Sánchez Abreu, 2018).

Estrategias a seguir para el buen resultado de la inversión:

1. Disminuir los consumos propios de vapor para la producción de azúcar y alcohol a valores inferiores a 400 kg por toneladas de caña.

2. Aumento de los parámetros del vapor generado (temperatura y presión) y en correspondencia con el aumento de la eficiencia de los equipos del bloque energético.
3. Utilización de ciclos regenerativos y recalentamientos.
4. Utilización de la paja como combustible complementario.
5. Uso de otros combustibles alternativos como por ejemplo el biogás, el marabú o las costaneras y residuales de aserríos y podas.

Listado de inversiones para la construcción de una bioeléctrica de 50 MW para un central azucarero, que incluye el montaje de:

1. Tres calderas de 110 toneladas por hora de vapor de agua (t/h) con sistema de limpieza de gases y chimenea.
2. Dos turbogeneradores de extracción-condensación de 25 MW cada uno, con los paneles de mando, control y distribución y sistema de enfriamiento, o valorar la instalación de cuatro turbogeneradores de 12,5 MW, mediante un estudio preliminar de factibilidad de acuerdo a la disponibilidad de biomasa y a la flexibilidad que se le quiera dar al proyecto.
3. Un sistema de recepción, almacenamiento, preparación y transporte de biomasa.
4. Un central azucarero capaz de realizar una molienda potencial de 10 000 toneladas de caña al día, más un destilería de alcohol utilizando la miel final como materia prima.
5. Biodigestores que permitan tratar la cachaza, el mosto de la destilería y otros subproductos, para obtener biogás y abono orgánico.
6. Fábrica de producción de dextrosa, esta última permitiría reactivar la producción de sueros fisiológicos por la industria farmacéutica. Evitándose su actual costosa importación.
7. Plantas de tratamiento térmico y químico de agua.
8. Sistemas auxiliares de protección contra incendio, contra descargas atmosféricas y aterramiento.
9. Alumbrado led interior y exterior, canalizaciones para fuerza y control.
10. Automatización de todos los sistemas.

Costos de inversión

Teniendo en cuenta los costos de inversión de las tecnologías disponibles en el mercado, así como las últimas inversiones realizadas en México en instalaciones de este tipo (SENER, 2023), se obtiene que el costo de inversión se encuentra en el siguiente entorno:

Bioeléctrica: 83 847 270 USD
 Central azucarero: 52 858 380 USD
 Total: 136 705 650 USD

Como puede observarse el costo de inversión del central azucarero es mucho menor ya que utilizaría el vapor de las

calderas de la Bioeléctrica, así como la electricidad que produce.

El financiamiento del proyecto se concibe sobre la base del impacto económico del mismo con vistas a lograr:

1. Activar en el sector agroindustrial azucarero plantas de producción energética capaces de autoabastecer el sector y entregar energía eléctrica al país, a partir de materias primas locales y renovables.
2. Sustener e incrementar la producción energética contribuyendo con el autoabastecimiento de la producción azucarera, abaratando el costo de la energía y de la producción de azúcar.
3. Lograr unidades de producción con óptimas condiciones de explotación con buenas condiciones de producción y caracterizada por un constante aumento de la productividad.

Opciones de operación y molienda

Se aclara que en todos los cálculos realizados en este trabajo se tomaron los datos de los valores medios existentes en el mercado, así como los rendimientos utilizados son los valores medios anuales, de acuerdo a los datos de los Organismos Internacionales que rigen la actividad. En resumen existen dos propuestas u opciones prácticas:

Primera opción: Realizar una zafra de 120 días y 290 días para generar con biomasa forestal.

La planta bioeléctrica, operará como una planta de generación eléctrica, utilizando como combustible el bagazo que sale de los molinos de la fábrica de azúcar, combinando este con el RAC (residuo agrícola cañero) en aras de lograr un abastecimiento estable de combustible, mientras que en el período fuera de la zafra será necesario utilizar fundamentalmente la biomasa cañera tributada por los centrales azucareros de la provincia, e incorporar la biomasa forestal (Peralta y Martín, 2000).

Se prevé que esté formada básicamente por tres calderas con capacidad de 110 t/h que trabajará a una presión de 67 bar y una temperatura de 510 °C, con una eficiencia como mínimo del 86 % y por dos turbogeneradores de extracción-condensación de 25 MW o cuatro de 12,5 MW para darle mayor flexibilidad a la industria, incluyendo todos los sistemas auxiliares y de automatización. La energía eléctrica sería vendida al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) a través de una subestación de enlace de 13,8 kV a 110 kV, además se produciría azúcar crudo y alcohol en la destilería del central, pudiéndose también analizar la factibilidad de producir dextrosa y otros productos como biogás a partir de la cachaza.

En el periodo de zafra se trabajarían 120 días, mezclando las 2800 t de bagazo con 643 t de RAC (residuos agrícolas cañeros), que equivale a un 22,9 %, para suplir el déficit de combustible en la alimentación de la caldera, quedando un sobrante de 1057 t/día de RAC que se pueden ir almacenando para el período posterior a la zafra, ver Anexo I. En esta etapa se generan los 50 MW, siendo consumidores la Destilería de alcohol, el central azucarero y la Bioeléctrica.

En el periodo fuera de zafra se trabajarían 50 días con la biomasa acumulada del tiempo de zafra, mezclando el

bagazo con un 22 % de RAC. En esta etapa se generan los 50 MW, siendo consumidores la Destilería y la Bioeléctrica. Se trabajarían 50 días con la biomasa tributada de los centrales de la provincia de Matanzas, mezclando el bagazo con un 22 % de RAC. En esta etapa se generan los 50 MW, siendo consumidores la Destilería, la fábrica de dextrosa y la Bioeléctrica. En esta etapa se le daría mantenimiento al central azucarero.

Se trabajan 70 días, con la biomasa forestal tributada de la provincia de Matanzas, como son costaneras, residuales de podas forestales y agrícolas, marabú y otras especies forestales invasivas como la *Melaleuca quinquenervia* (Cayepu), planta invasora de zonas cenagosas, a la cual después de obtenerse el corcho de la parte externa de su tronco y la esencia repelente de sus hojas puede ser preparada como biomasa, existiendo la posibilidad de incrementar la eficiencia productiva mediante la comercialización de esos dos productos *altamente cotizados*, de dicho árbol. Quedando 75 días para ajustes y reparaciones.

Segunda opción: Realizar una zafra de 360 días y 365 días generando con biomasa propia.

Esta opción no es tan descabellada, ya que se está aplicando en muchos países, basado en un sistema continuo y predictivo de mantenimiento. Esto no solo permitiría generar electricidad todo el año con menos costo (no es necesario acarrear combustible de otros centrales ni de otras zonas alejadas), si no a la vez se produciría azúcar y alcohol todo el año, lo que reduciría el tiempo de recuperación de la inversión y se pudiera pensar hasta en la factibilidad de invertir en una refinería, teniendo en cuenta que el azúcar refinado duplica el precio del azúcar cruda.

En el mismo Anexo I se puede observar que para un rendimiento promedio de 70 t de caña por hectárea (ha), se necesitaría para una zafra 20 057 ha sembradas de caña (De la Caridad *et al.*, 2022), que coincide aproximadamente con el área sembrada promedio de un central con esa norma potencial, por lo que para moler 360 días se necesitarían 60 171 ha de caña sembradas, que es el área equivalente a sembrar de tres centrales azucareros. Conociéndose que en la provincia de Matanzas existen 16 centrales azucareros desactivados, con el área de sembrado de tres de ellos sería suficiente, lo que el central con su Bioeléctrica debería estar situado en un lugar accesible para la transportación de la caña cortada.

Generación de vapor

La generación de vapor se lograría con tres calderas de 110 t/h de vapor, a una presión de 67 bar, una temperatura de 510 °C, un índice de generación de 2,3 toneladas de vapor por tonelada de combustible y una eficiencia de al menos un 86 %. Por lo que para 330 t/h de vapor necesitaría diariamente 3443 t de combustible. Como puede observarse en el Anexo I en un día de molienda se obtendrían 2800 t de bagazo y 1700 t de RAC, para un total de 4500 t diarias disponibles, lo cual alcanzaría para generar todo el vapor necesario y quedaría un sobrante diario de 1057 t de bagazo y RAC (Rubio González *et al.*, 2018) y (Rubio González & Rubio Rodríguez, 2018).

Esta generación de vapor se utilizaría en dos turbogeneradores de extracción condensación de 25 MW, o en su defecto

cuatro de 12,5 MW, quedando en total 50 MW de potencia instalada, que serían ubicados en el área de la planta eléctrica y generarían 1200 MWh de energía en 24 horas, además debe mantener una extracción máxima de 212 t/h de vapor y al menos una extracción mínima de 37,5 t/h de vapor de agua. Este vapor debe garantizar los procesos de producción de azúcar, alcohol y dextrosa, esta última permitiría reactivar la producción de sueros fisiológicos por la industria farmacéutica.

Planta de tratamiento térmico

La planta de tratamiento térmico esencialmente debe estar prevista de torre desareadora, así como de bombas auxiliares. También se debe incluir un condensador vertical que sea capaz de condensar las 330 t/h de vapor máximo que pueden salir exhaustos de la turbina de vapor, el cual utilizaría agua de enfriamiento proveniente de una torre de enfriamiento del tipo elíptica de última generación.

Sistema contra incendios

Este sistema tiene como objetivo garantizar la reserva de agua contra incendios para un tiempo de dos horas de autonomía. Además debe proteger toda el área de la planta utilizando medio de extinción fijo y portátil y cumplir con las normas cubanas contra incendios vigentes en el país y en la Industria Azucarera Nacional.

Este sistema protegerá todas las áreas de la Bioeléctrica, edificaciones socio administrativas, almacenes y pizarras de distribución eléctrica. El sistema debe ser automático con tablero central y estaciones de alarma manual.

Planta de tratamiento químico de agua

Tiene como objetivo fundamental efectuar un tratamiento físico y químico al agua, que permita reducir o eliminar componentes no deseados en los diferentes sistemas y procesos en los que será utilizada. Además debe satisfacer las necesidades de agua para los diferentes procesos y sistemas de las plantas a las cuales presta servicio.

Esta planta debe diseñarse para la mayor utilización posible del agua vegetal que se extrae al jugo de la caña de azúcar, en su proceso de concentración y el que no pueda ser utilizado como agua de reposición, debe ser preparado para su utilización mediante fertirriego en las mismas áreas cañeras del central.

Sistema de almacenamiento y transportación de biomasa

La filosofía de trabajo del sistema cuenta con los fines siguientes:

1. Transportar el bagazo desde la Planta Moledora hasta el almacén de combustible, mediante transportadores de banda y cuando el almacén de combustible este lleno, se pondrá en funcionamiento el transportador de banda que va hacia el patio de almacenamiento.
2. Transportar el bagazo de alimentación a la caldera directamente desde el almacén de combustible de forma estable hasta la planta generadora de vapor, para su uso como combustible, según la demanda, el sobrante

es enviado mediante la combinación de los diferentes transportadores para su almacenamiento en el almacén de combustible mecanizado o patio de almacenamiento.

3. Transportar la biomasa cañera o forestal desde el patio, en caso de mezclado de biomasa, directamente al almacén de combustible que alimenta la caldera, para suplir el déficit en la misma, según la demanda y mantenerla llena en todo momento.

El almacén de bagazo debe estar provisto de todos los equipos que confieren su carácter mecanizado a la transportación de bagazo, teniendo dos posibilidades de alimentación a la caldera, previendo un caso de rotura. Debe estar construido de tal manera que evite el transporte por suspensión de residuales de bagazo fuera del local.

Alumbrado industrial

Alumbrado Exterior: Será desconectado o atenuado, de acuerdo a su nivel de utilización, por temporizadores, fotoceldas, o combinación de ambos.

Alumbrado de emergencia: En todos los lugares críticos, de la planta: escaleras de subida o bajada; tableros centralizados, zona de operación de turbinas, edificios socio administrativos y en todos los demás puntos que lo requieran, ubicar lámparas de alumbrado de emergencia, con baterías de Níquel-Cadmio de 110 Voltios, las cuáles se cargan de forma automática y producen el encendido inmediatamente cuando se interrumpe la energía eléctrica en las zonas fabriles, facilitándose el movimiento del personal y la evacuación en caso de emergencia.

Todo el alumbrado sería mediante luminarias led.

Sistema Centralizado de Instrumentación

El Sistema de Control y Supervisión permite el seguimiento del proceso desde una computadora de supervisión general. La unión en red de todas las computadoras dedicadas al control y supervisión del funcionamiento del proceso tecnológico en la Bioeléctrica. El enlace de los autómatas a esta red de computadoras se hace a través de un sistema de red industrial, que garantiza la independencia de los subsistemas individuales de control y supervisión que manipulan directamente los autómatas y otros elementos propios de cada área.

Sistema de automatización y control de la Bioeléctrica

El sistema de automatización y control tiene como objetivo alcanzar niveles óptimos de gestión en todas las áreas productivas y administrativas que conforman la estructura de la planta, destinado al control global del proceso productivo de la misma, así como al sistema gerencial de la Empresa en su conjunto. Está integrado por niveles jerárquicos distribuidos física y lógicamente.

Taller de instrumentación

El taller de instrumentación ofrecerá servicio de verificación, calibración y mantenimiento de todo el equipamiento de automatización y control de las plantas que conforman el complejo.

Mantenimiento

Garantizará el mantenimiento preventivo a todos aquellos equipos tecnológicos de la Bioeléctrica y establecerá

un sistema de mantenimiento predictivo (Sánchez Avila J.L., 1999) para el equipamiento o sistemas imprescindibles de la industria (turbogeneradores, calderas y tandem de molinos), de forma tal que se minimice la pérdida de tiempo por roturas imprevistas y además garantice que las labores de mantenimiento planificadas afecten lo mínimo posible el proceso productivo de la instalación.

III. Análisis y discusión de los resultados Cálculo económico

Primera opción: Realizar una zafra de 120 días y 290 días para generar con biomasa forestal.

La cantidad de energía eléctrica que se deja de producir en los generadores primarios de energía que utilizan combustibles fósiles, después de ejecutada la inversión propuesta para 290 días generando electricidad, se calcula como:

$$EeT = Np \cdot Ep \cdot Tta \cdot 24 \text{ h/día} = 0,90 \cdot 50\,000 \text{ kW} \cdot 290 \text{ días/año} \cdot 24 \text{ h/día}$$

$$EeT = 313\,200\,000 \text{ kWh/año}$$

Donde:

EeT → Energía eléctrica que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kWh/año

Np → Norma potencial del central azucarero, 90 %

Ep → Potencia nominal de los turbogeneradores, kW

Tta → Tiempo de trabajo al año, 290 días/año

El costo de producción de electricidad al año se calcula como el costo unitario promedio mundial por la producción de energía eléctrica en las Bioeléctricas por la producción de esta propuesta:

$$Cpe = Cue \cdot EeT = 0,03 \text{ USD/kWh} \cdot 313\,200\,000 \text{ kWh/año} = 9\,396\,000 \text{ USD/año}$$

Donde: Cpe → Costo de producción de energía eléctrica, USD/año

Cue → Costo unitario de energía con biomasa, 0,03 USD/kWh

El ingreso real sería según la tarifa de compra de energía generada con biomasa por la Empresa Mixta Biopower SA. Resolución del MFP No. 150/2014, de 0,10 USD/kWh. Por tanto, si se mantiene dicha Resolución para todas las inversiones de ese tipo, teniendo en cuenta que se puede vender alrededor del 70 % de la energía producida, los ingresos serían:

$$lee = Tarifa \cdot EeT \cdot Ee = 0,10 \text{ USD/kWh} \cdot 313\,200\,000 \text{ kWh/año} \cdot 0,70$$

$$lee = 21\,924\,000 \text{ USD/año}$$

Donde:

lee → Ingresos por vender el excedente de energía, USD/año

Tarifa → Tarifa de compra de energía, 0,10 USD/kWh

Ee → Por ciento de energía posible a vender, %

La utilidad por la producción de energía eléctrica se determina por la expresión siguiente:

$$Upe = 21\,924\,000 \text{ USD/año} - 9\,396\,000 \text{ USD/año} = 12\,528\,000 \text{ USD/año}$$

Donde:

Upe @ Utilidad por vender la energía eléctrica sobrante, USD/año

El resto de los costos, ingresos y utilidades por cada producto propuesto a fabricar se encuentran en el Anexo I.

Como puede observarse en el Anexo II para esta variante se recupera la inversión en ocho años aproximadamente, con un Valor actual neto al cabo de los 10 años de 89 650 000 USD y una tasa interna de retorno de 13,20 %. Se deduce que esta opción es superior con relación a una inversión en una central termoeléctrica. No obstante a continuación se analiza la segunda opción.

Segunda opción: Realizar una zafra de 360 días y 365 días generando con biomasa propia.

La cantidad de energía eléctrica que se deja de producir en los generadores primarios de energía que utilizan combustibles fósiles, después de ejecutada la inversión propuesta, para 365 días generando electricidad, se calcula como:

$$EeT = Np \cdot Ep \cdot Tta \cdot 24 \text{ h/día} = 0,90 \cdot 50\,000 \text{ kW} \cdot 365 \text{ días/año} \cdot 24 \text{ h/día}$$

$$EeT = 394\,200\,000 \text{ kWh/año}$$

Donde:

EeT → Energía eléctrica que se deja de producir en las centrales termoeléctricas, kWh/año

Tta → Tiempo de trabajo al año, 365 días/año

El costo de producción de electricidad al año se calcula como el costo unitario promedio mundial por la producción de energía eléctrica en las Bioeléctricas mediante biomasa propia y es:

$$Cpe = Cue \cdot EeT = 0,03 \text{ USD/kWh} \cdot 394\,200\,000 \text{ kWh/año} = 11\,826\,000 \text{ USD/año}$$

Donde: Cpe @ Costo de producción de energía eléctrica, USD/año

Cue → Costo unitario de energía con biomasa, 0,03 USD/kWh

El combustible ahorrado por este concepto se calcula multiplicando este valor por el consumo específico de combustible medio del país, que es de 260 g/kWh (gramos de combustible por kWh producido)

$$Cah = EeT \cdot Bc = \frac{394\,200\,000 \text{ kWh/año} \cdot 260 \text{ g/kWh}}{1\,000\,000 \text{ g/t}}$$

$$= 102\,492 \text{ t/año}$$

Donde:

Cah → Combustible fósil ahorrado al año, t/año

Bc → Consumo específico de combustible del país, 260 g/kWh

Lo cual equivale a que gracias a la inversión propuesta además de dejarse de consumir 102 492 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 88 660 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejarían de emitir a la atmósfera 331 050 toneladas de dióxido de carbono anuales.

Al precio actual de la tonelada de combustible de 700 USD, el país puede ahorrar con la propuesta realizada:

$$AP\$ = 102\,492 \text{ t/año} \cdot 700 \text{ USD/t} = 71\,744\,400 \text{ USD/año}$$

Esta cifra pudiera considerarse como el monto que se ahorra al país por producir energía eléctrica en la Bioeléctrica. No obstante el ingreso real sería según la tarifa de compra de energía generada con biomasa por la Empresa Mixta Biopower SA. Resolución del MFP No. 150/2014, de 0,10 USD/kWh. Por tanto, si se mantiene dicha Resolución para todas las inversiones de ese tipo, teniendo en cuenta que se puede vender alrededor del 70 % de la energía producida, los ingresos serían:

$$lee = Tarifa \cdot EeT \cdot Ee = 0,10 \text{ USD/kWh} \cdot 394\,200\,000 \text{ kWh/año} \cdot 0,70$$

$$lee = 27\,594\,000 \text{ USD/año}$$

Donde:

lee → Ingresos por vender el excedente de energía, USD/año

Tarifa @ Tarifa de compra de energía, 0,10 USD/kWh

Ee @ Por ciento de energía posible a vender, %

La utilidad por la producción de energía eléctrica se determina por la expresión siguiente:

$$Upe = 27\,594\,000 \text{ USD/año} - 11\,826\,000 \text{ USD/año} = 15\,768\,000 \text{ USD/año}$$

El resto de los costos ingresos y utilidades por cada producto propuesto a fabricar se encuentran en el Anexo I.

Como puede observarse en el Anexo II para esta variante se recupera la inversión en dos años y seis meses aproximadamente, con un Valor Actual Neto al cabo de los 10 años de 585 640 000 USD y una tasa interna de retorno, de 59,21 %. Por lo que es mucho más ventajosa esta segunda opción.

IV. Conclusiones

1. Para 290 días de operación y 120 días de zafra, el periodo de recuperación de la inversión es de ocho años aproximadamente, con un Valor Actual Neto al cabo de los 10 años de 89 650 000 USD y una tasa interna de retorno de 13,20 %, superior con relación a una inversión en una central termoeléctrica.

2. Para 365 días de operación y 360 días de zafra se recupera la inversión en dos años y seis meses aproximadamente, con un Valor Actual Neto al cabo de los 10 años de 585 640 000 USD y una tasa interna de retorno de 59,21 %. Por lo que es mucho más ventajosa esta segunda opción, pero conlleva aplicar tecnologías más modernas de mantenimiento y operación.

3. Mediante la opción dos de inversión propuesta, además de dejarse de consumir 102 492 toneladas de combustibles fósiles anuales, o sea aproximadamente 88 660 litros de hidrocarburos al año, por este concepto se dejan de emitir a la atmósfera 331 050 toneladas de dióxido de carbono anuales y se dejan de erogarse por el país 71 744 400 USD/año.

V. Recomendaciones

1. Es factible el estudio de la producción de otros productos químicos, como la propuesta de la fábrica de dextrosa para la reactivación de la fábrica de sueros, también mediante la utilización del mosto residual de la destilación de alcohol, o mediante biodigestores convertir dicho mosto, junto a la cachaza, en gas metano para ser utilizado también como biocombustible, reduciéndose la utilización de biomasa forestal para la primera opción.

2. Valorar la utilización de plantas invasoras como el Cayeput para diversificar la producción de la bioeléctrica, mediante la obtención de productos altamente cotizados en el mercado de cosméticos y perfumería. Esta planta es invasora y representa una grave amenaza a la Ciénaga de Zapata, por la infestación que hoy posee, además dicha ciénaga se encuentra relativamente cerca de cualquier central que se acometa su inversión en la provincia de Matanzas.

VI. Referencias bibliográficas

Bances Peralta, Victor Martín (2000). *Manual de los derivados de la caña*. Instituto cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar (ICIDCA). Tercera edición.

Borges, R. J.; González, A. Á.; Alemán, E. L. & Llanes, J. L. (2021). *Mejoras en el esquema tecnológico para lograr incrementos en la eficiencia energética en un central azucarero*. SciCommReport, 1(1), 1-14 pp.

Borges, R. J., López; A. V., Marcos, D. D., & Rabassa, D. R. (2020). Análisis energético para la combustión de bagazo en un central azucarero. *Revista Cubana de Ingeniería*, 11(3), pp. 43-53.

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). (2022). Disponible en: <http://www.energia.gob.mx>.

Comisión reguladora de energía, CRE (2023). Disponible en: <http://www.cre.gob.mx>.

De la Caridad, Aday, Díaz, O., Gutiérrez Rodríguez, E. & Rodríguez Fernández, R. (2022). Manejo agronómico de cultivos de caña energética como biomasa combustible para bioeléctricas en Cuba. *Revista Centro Agrícola*, 49(2).

Fernández, J. T. L. (2019). Las bioeléctricas cañeras en el contexto cubano. En revista *Eco Solar*, (69), pp. 17-21. ISSN: 1028-6004.

Medina, Y. C. (2022). *Impacto social de una nueva perspectiva para la producción de electricidad con biomasa en Cuba*. Universidad y Sociedad, 14(S6), pp. 570-579.

Rubio-González, A., Hernández Martínez, B., & Rubio Rodríguez, M. (2018). Programa cubano para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera para la generación de electricidad. *Revista ATAC*, 79(1), pp. 4-11.

Rubio-González, A., & Rubio Rodríguez, M. (2018). *Integración y esquemas energéticos para el máximo aprovechamiento de la biomasa cañera en la generación de electricidad*. Centro Azúcar, 45(4), pp. 20-31.

Sánchez Abreu, J. E. (2018). *La industria azucarera importante fuente para la generación de electricidad en Cuba*. Caribeña de Ciencias Sociales, (junio).

Sánchez Ávila, J.L. (1999). *Desarrollo y aplicación del diagnóstico y pronóstico técnico al mantenimiento de los sistemas centralizados de aire acondicionado*. Tesis de Doctorado. Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba, 129 pp.

SENER. (2023) *Energías renovables para el desarrollo sustentable en México*. Disponible en: <http://www.conaea.gob.mx>.

Propuesta de bioeléctrica integrada con un central azucarero

VII. Anexos

Anexo I

Cálculo de la producción del conjunto Bioeléctrica Central azucarero

Datos		
Norma potencial diaria:	t caña/día	10 000,00
Precio del azúcar:	USD/t azúcar	490,00
Costo producir azúcar:	USD/t azúcar	300,00
Precio del alcohol:	USD/lit	0,75
Costo producir alcohol:	USD/t meladura	50,00
Producción alcohol:	lit/t meladura	230,00
Rendimiento Industrial:	%	90,00%
Rendimiento cañero	t caña/ha	70,00
Costo producir electricidad:	USD/kW.hr	0,03

USD		
Inversión:	136 705 650	

Hectáreas necesarias a sembrar por cada periodo		
Para 1 día:	167,14	ha
Para 120 días:	20 057,14	ha
Para 360 días:	60 171,43	ha

Producción						
Cálculos para un día						
Azúcar producida	Meladura	Cachaza	Residual líquido	Bagazo	Cenizas	RAC
t/día	t/día	t/día	t/día	t/día	t/día	t/día
1 100,00	300,00	300,00	5 400,00	2 800,00	100,00	1 700,00
Cálculos para 120 días						
Azúcar producida	Meladura	Cachaza	Residual líquido	Bagazo	Cenizas	RAC
t	t	t	t	t	t	t
118 800,00	32 400,00	32 400,00	583 200,00	302 400,00	10 800,00	183 600,00
Cálculos para 360 días						
Azúcar producida	Meladura	Cachaza	Residual líquido	Bagazo	Cenizas	RAC
t	t	t	t	t	t	t
356 400,00	97 200,00	97 200,00	1 749 600,00	907 200,00	32 400,00	550 800,00

Ingresos, costos y utilidades						
Cálculos para un día						
Ingresos por azúcar	Costo de fabricar azúcar	Ingresos por alcohol	Costo de fabricar alcohol	Ingresos totales	Costos totales	Utilidades
USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día
539 000,00	330 000,00	51 750,00	15 000,00	590 750,00	345 000,00	245 750,00

Cálculos para 120 días						
Ingresos por azúcar	Costo de fabricar azúcar	Ingresos por alcohol	Costo de fabricar alcohol	Ingresos totales	Costos totales	Utilidades
USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día
58 212 000,00	35 640 000,00	5 589 000,00	1 620 000,00	63 801 000,00	37 260 000,00	26 541 000,00

Ingresos por azúcar	Cálculos para 360 días				Costos totales	Utilidades
	Costo de fabricar azúcar	Ingresos por alcohol	Costo de fabricar alcohol	Ingresos totales		
USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día	USD/día
174 636 000,00	106 920 000,00	16 767 000,00	4 860 000,00	191 403 000,00	111 780 000,00	79 623 000,00

Anexo II

Cálculo económico conjunto Bioeléctrica Central azucarero

Nota: Todos los valores en millones de USD.

Primera opción: Realizar una zafra de 120 días												
Conceptos	Años											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión (CTI)	136,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Costos fijos (D)	0,00	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	
Total de costos	136,71	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	60,33	
Total de ingresos	0,00	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	85,73	
Mov. de fondos	-136,71	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	25,40	
Mov. acumulado	-136,71	-111,31	-85,91	-60,51	-35,11	-9,71	15,68	41,08	66,48	91,88	117,28	
Tri =	8,07	años	Datos									
VAN =	89,65	\$	Tasa de interés %					2				
TIR =	13,20	%	Impuesto sobre renta %					30				
			Costo de inversión \$					136,71				
			Ingresos \$/año					85,73				
			Costos de producción \$/año					46,66				

Segunda opción: Realizar una zafra de 360 días												
Conceptos	Años											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión (CTI)	136,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Costos fijos (D)	0,00	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	13,67	
Total de costos	136,71	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	137,28	
Total de ingresos	0,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	219,00	
Mov. de fondos	-136,71	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	81,72	
Mov. acumulado	-136,71	-54,99	26,74	108,46	190,18	271,90	353,62	435,34	517,06	598,78	680,50	
Tri =	2,47	años	Datos									
VAN =	585,64	\$	Tasa de interés %					2				
TIR =	59,21	%	Impuesto sobre renta %					30				
			Costo de inversión \$					136,71				
			Ingresos \$/año					219,00				
			Costos de producción \$/año					123,61				

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

original, redacción-revisión y edición cada uno confirma que ha participado en un 25 %.

Contribución de los autores: Por consenso y acta firmada de los autores, estos declaran que referido a:

Recibido: 3 mayo de 2024
Aceptado: 25 de junio de 2024

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, redacción-borrador

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.

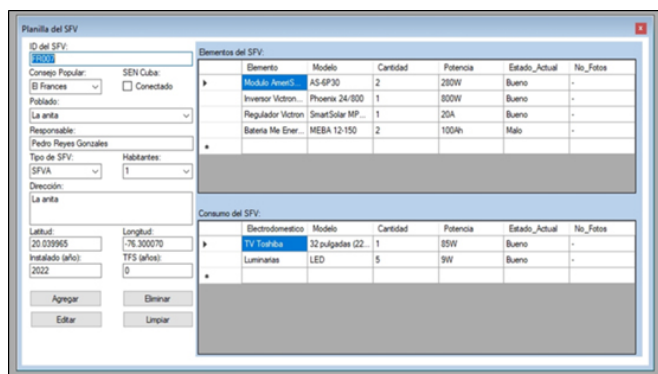


Fig. 2. Base de datos.

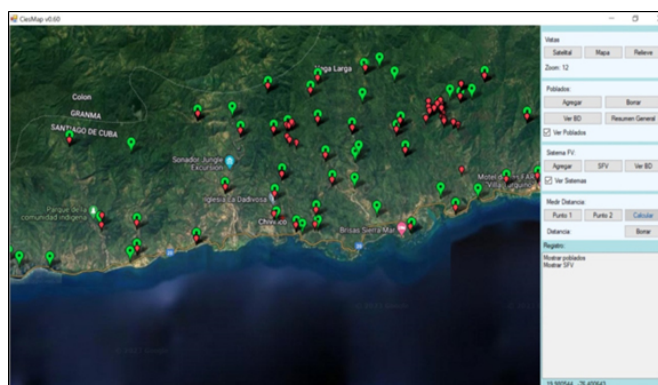


Fig. 3. Mapa Satelital Guamá.

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.

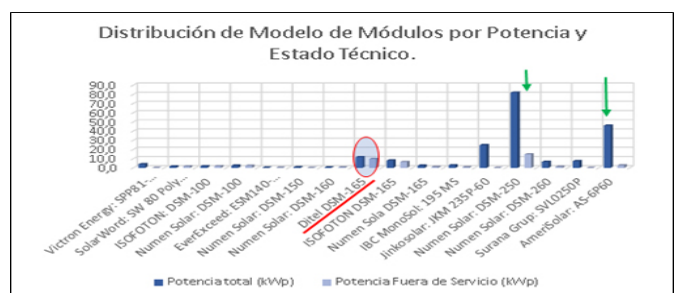


Fig. 4. Gráfico de Distribución de potencia y estado de técnico por modelo de módulos.

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.

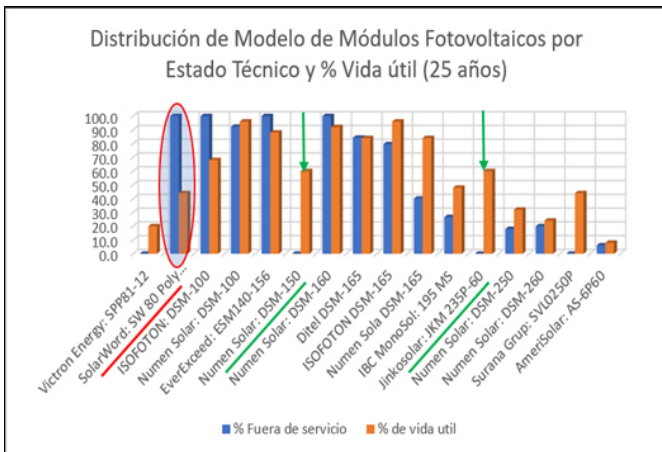


Fig. 5. Gráfico de distribución de modelo de módulos por estado técnico y % de vida útil.

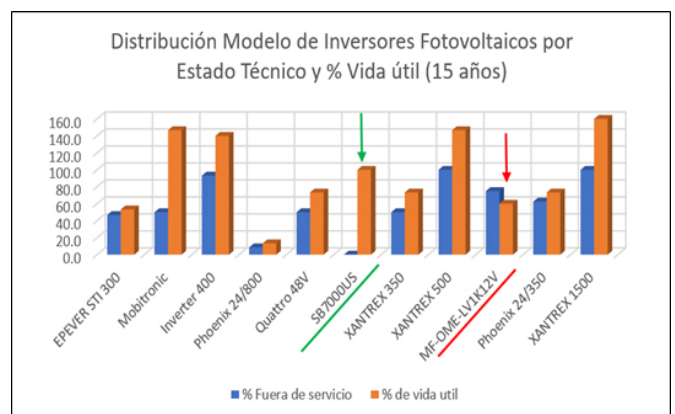


Fig. 7. Gráfico de distribución de modelo de inversores por estado técnico y % de vida útil.

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).

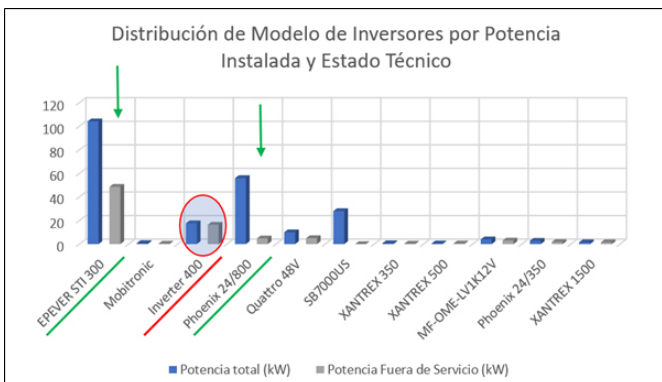


Fig. 6. Gráfico de distribución de modelo de inversores por potencia instalada y estado técnico.

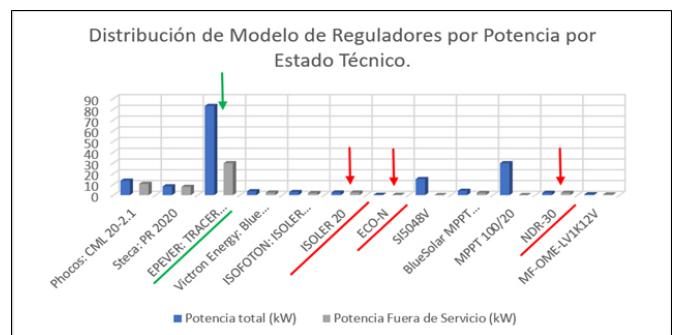


Fig. 8. Gráfico de distribución de modelo de reguladores por potencia y estado técnico.

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.

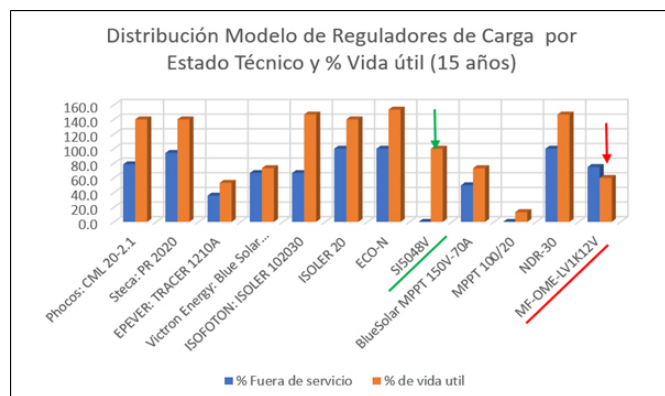


Fig. 9. Gráfico de distribución de modelo de reguladores por estado técnico y % de vida útil.

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).

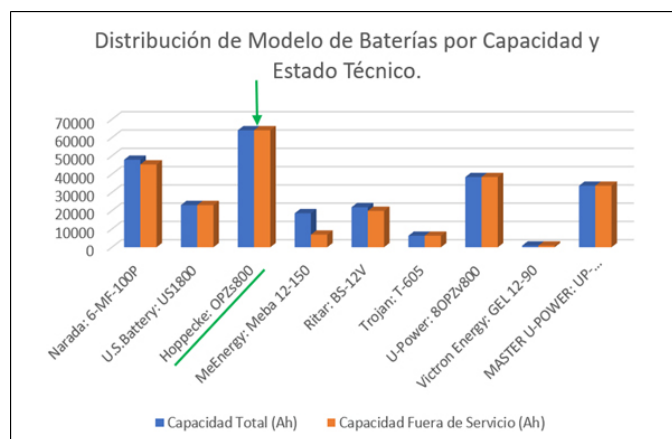


Fig. 10. Gráfico de distribución de modelo de baterías por capacidad y estado técnico.

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.

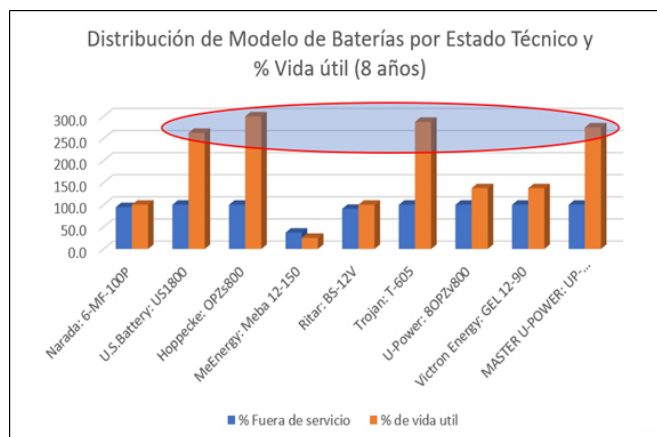


Fig. 11. Gráfico de distribución de modelo de baterías por estado técnico y % de vida útil.

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