

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