

EXPERIENCIAS EN LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL CENTRO DE INMUNOLOGÍA MOLECULAR (CIM)

Por Ing. Jandry Fiallo Guerrero* y Lic. Jorge Luis Álvarez Suárez**

* Ingeniero Eléctrico; director de la Dirección de Servicios Generales (ServiCim) del Centro de Inmunología Molecular (CIM). La Habana, Cuba.

<https://orcid.org/0009-0001-0660-6121>

E-mail: jandry@cim.sld.cu

** Licenciado Químico; Especialista Energético de la Dirección de Servicios Generales (ServiCim) del Centro de Inmunología Molecular (CIM). La Habana, Cuba.

<https://orcid.org/0009-0000-0658-1676>

E-mail: jalvarez@cim.sld.cu

Resumen

Desde el año 1994, se trabajó en la elaboración de proyectos de Fuentes Renovables de Energía, para lo cual se realizaron estudios de Post Grados y Maestrías relacionadas con el tema, por parte de algunos especialistas de energía. Entre los años 2012 y 2022, se elaboró un proyecto CIM-CIPEL de Ingeniería Básica, que abarcó todas las áreas posibles a utilizar, así como el Proyecto CIM-AMA ENERGÍA e CIM-INEL de Ingeniería de Detalle, solicitándose las ofertas de referencia y posibles créditos a ERKA. Este proyecto se presentó en eventos nacionales e internacionales, lo cual motivó una propuesta de donación alemana. A partir del primer trimestre de 2022, esta donación se hizo efectiva y se comenzó el proceso de montaje y puesta en marcha de 1 de los 3 SFV ya instalados en la empresa; un segundo SFV se obtuvo mediante compra por medios propios y el tercer SFV, mediante contrato de compra de energía.

Palabras clave: energía, fotovoltaicos, combustibles, matriz, módulos.

EXPERIENCES IN PHOTOVOLTAIC GENERATION AT THE MOLECULAR IMMUNOLOGY CENTER (CIM)

Abstract

Since 1994, work has been done on the elaboration of projects for renewable energy sources, for which Post Graduate and Master's studies related to the subject were carried out by some energy specialists. Between 2012 and 2022, a CIM-CIPEL Basic Engineering project was prepared, which covered all possible areas to be used, as well as the CIM-AMA ENERGÍA and CIM-INEL Detail Engineering Project, requesting reference offers and possible credits to ERKA. This project was presented at national and international events, which led to a German donation proposal. As of the first quarter of 2022, this donation became effective and the assembly and start-up process of 1 of the 3 SFVs already installed in the company began; a 2nd SFV was obtained through purchase by own means and the 3rd SFV, through a power purchase contract.

Keywords: energy, photovoltaic, fuels, matrix, modules.

1. Introducción

Los combustibles fósiles han sido los impulsores del desarrollo tecnológico e industrial en el último siglo, no obstante, su uso ha propiciado un elevado deterioro del medio ambiente. El aumento de los días de calor extremo al año, el incremento del nivel del mar y la ocurrencia de desastres naturales cada vez más destructivos son muestras de ello (Rossati, 2016). Estos fenómenos han impulsado la búsqueda de nuevas alternativas para la producción de energía eléctrica. Entre las alternativas que se fomentan desde hace algunos años, está el desarrollo y uso de las fuentes renovables de energía (FRE). Según (REN21 - *Building the sustainable energy future with renewable energy*, s. f.), el 26,2 % de la energía eléctrica producida en el mundo al cierre 2018 se produjo a través de las FRE, donde la solar fotovoltaica fue la tercera en importancia con un 2,4 %, detrás de las energías hidráulica y eólica. Por su parte, se plantea que la participación de las fuentes renovables de energía en el mercado eléctrico crece a un ritmo de un 3,6 % anual, y se prevé que se mantenga en ese orden hasta el 2050. El uso de las fuentes renovables de energía se ha incrementado exponencialmente a nivel mundial, como alternativa al uso indiscriminado de los combustibles fósiles y para mitigar el efecto causado en el medio ambiente; conseguir un acceso universal para la energía asequible, confiable, sostenible y moderna para todos es uno de los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) fijado por las Naciones Unidas (*Sustainable Development Goals / United Nations Development Programme*, 2020).

Aunque la revolución energética de Cuba introdujo un énfasis en las fuentes renovables de energía, la descentralización de la producción de electricidad en sustitución de la tecnología obsoleta no ha tenido todavía un gran impacto en la industria, el transporte y la agricultura (Vázquez *et al.*, 2015). El desarrollo de la energía solar será clave para alcanzar las metas de casi un 50% de participación de FRE en la matriz energética mundial para 2050. Para Cuba, en particular, representa un gran potencial producto a la intensidad de la radiación a la que está expuesta. Acorde al programa energético del país para el 2030, se plantea que el 24% de la matriz energética sea a través de la generación por FRE (Vázquez *et al.*, 2018). Según el plan del gobierno cubano se espera que para el año 2030 la capacidad fotovoltaica instalada sea de 700 MW, lo que representaría un 3 % de la energía consumida por el país en ese año (Masters & Swofford, 2018). Por consiguiente, la instalación de centrales fotovoltaicas (CFV) crecerá a ritmo exponencial y con ello surge la necesidad de aprovechar al máximo sus potencialidades (Morales Pedraza, 2019).

Una característica fundamental en el sector cubano de la energía es que, por un lado, existe una tasa alta de electrificación, pero el consumo de energía per cápita es bajo y, por otro lado, existe una alta dependencia de los combustibles fósiles; pero también hay una larga historia de interés por aprovechar las fuentes renovables de energía nacionales (*Energy, environment and development in Cuba - ScienceDirect*, s. f.). Cuba tiene un buen potencial, tanto en recursos solares como eólicos, con una irradiación solar media de 223,8 W/m² (5,4 kWh/m²/día) y una velocidad media del viento en torno a 5,7 m/s (en el sureste por encima de 7 m/s) (*Energy in Cuba: Overview*, 2023). El desarrollo de la energía solar será clave para alcanzar las metas de casi un 50% de participación de FRE en la matriz energética mundial para 2050. Para Cuba en particular, representa un gran potencial producto a la intensidad de la radiación a la que está expuesta.

Acorde al programa energético del país para el 2030, se plantea que el 24 % de la matriz energética sea a través de FRE.

La empresa *Interred Cooperacion e.V.* fue la entidad que donó el primer SFV instalado en el techo del edificio Antyter, destinado fundamentalmente a actividades productivas, por el personal del CIM y con la asesoría técnica de especialistas de *Aschoff Solar*. Tuvo dos etapas de instalación, atendiendo a igual número de entregas; el primer arribo, con 264 módulos de 385 Wp, con 2 Inversores *Refusol* de 50 kW cada uno, se instaló en menos de tres semanas y su puesta en funcionamiento se efectuó el 2 de mayo de 2022, a los cuales se sumó la instalación y puesta en marcha de 167 módulos de 405 Wp, con un tercer Inversor REFUSOL de 50 kW, que concluyó el 4 de febrero de 2023; de esta manera, se completaron 169 kWp en 166 m². Durante el funcionamiento de la primera parte del primer SFV y teniendo en cuenta los resultados positivos obtenidos, se procedió a la contratación del segundo SFV con la Empresa LAGG *Leben und Arbeiten im Gallus und Gutleut*; aplicando el modo de compra-venta de energía, con pagos trimestrales durante 9 años, según la energía generada; se instalaron 158 kWp y se pusieron en funcionamiento 390 módulos de 405 Wp, con tres Inversores REFUSOL de 50 kW cada uno, el 5 de febrero de 2023. Se inaugura así el segundo SFV, en 396 m² del techo del Almacén Central. Desde mediados de 2022, se aprobó el financiamiento para la compra del tercer SFV, a través de gestiones comerciales con la firma ERKA, para su ubicación en un área de 498 m² sobre el techo del Edificio INIM. El 30 de marzo de 2023, se concluyó la instalación y puesta en marcha de 205 kWp, con 2 Inversores Sunny Tripower de 50 y 110 kW respectivamente y 475 módulos de 465 Wp.

2. Desarrollo

2.1. Características de cada uno de los sistemas fotovoltaicos (SFV) instalados

2.1.1. SFV #1 Antyter

Donación de la empresa alemana *Interred Cooperacion e.V.* y asesoría técnica de especialistas de *Aschoff Solar*, los módulos fueron instalados en 2 tiempos: un primer arribo de 264 módulos JA Solar, cuyas características se describen a continuación (Tabla 1):

Tabla. 1. Características de los módulos JA Solar

Tipo	JAM60S20-385/MR/1000V
Dimensión (mm)	1776 x 1052 x 35
Peso	20,7 kg
Potencia máxima (P _{máx})	385 W
Tensión del circuito abierto (V _{oc})	41,78 V
Tensión de potencia máxima (V _{mp})	35,04 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	11,53 A
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	10,99 A
Voltaje máximo del sistema	1000 V
Máxima protección contra sobrecorriente	20 A
Selección de potencia	0~+5 W

Los datos técnicos en condiciones de prueba estándar: AM=1,5; I=1000 W/m²; Tc=25°C

Se recibieron las estructuras para la instalación a «2 aguas», los cables, conectores y 2 inversores alemanes REFUSOL de 50 kW cada uno, instalados y en funcionamiento el 2 de mayo del 2022. La instalación de estructuras, contrapesos, módulos, conexiones y cableado, fueron ejecutados por el personal del CIM. La evaluación positiva de los resultados por los propios asesores, permitió que se pactara una segunda donación de 167 módulos SUMPRO POWER, instalados y puestos en funcionamiento con un 3er inversor REFUSOL, el 4 de febrero de 2023, completándose 169 kWp instalados en el primer SFV. A continuación, las características de los módulos SUMPRO (Tabla 2):

Tabla 2. Características de los módulos *Sumpro Power*

Tipo	SP405-108M10
Dimensión (mm)	1724 x 1134 x 35
Peso	21.5 kg
Potencia máxima (P _{máx})	405 W
Tensión del circuito abierto (V _{oc})	37.13 V ± 3%
Tensión de potencia máxima (V _{mp})	31.04 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	13.83 A ± 3%
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	13.05 A
Voltaje máximo del sistema	1500 V
Clasificación máxima de protección contra sobre corriente	25 A
Tolerancia de salida	0~+3 %
Datos técnicos en condiciones de prueba estándar: AM=1.5; I=1000 W/m ² ; T _c =25°C	

Con respecto a los 3 inversores, sus características se muestran a continuación:

Tabla 3. Características de los 3 inversores

Modelo REFUSOL 50 K-3T	851P050.300
Tensión máxima de entrada en corriente directa	1000 V
Rango de tensión operativo MPPT	250 ~ 950 V
Corriente de entrada máxima	40 A/30 A/30 A
Máximo PV I _{sc}	48 A/36 A/36 A
Tensión nominal de red	3/N/PE, 380 Vac
Corriente máxima de salida	80 A
Frecuencia nominal de red	50/60 Hz
Potencia nominal de salida	50000 W
Factor de potencia	> 0.99 (adjustable +/- 0.8)
Protección de ingreso	IP65
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 °C ~ +60 °C
Clase de protección	Clase I

2.1.2. SFV #2 Logística

Los módulos instalados en este sistema se adquirieron mediante contrato de compra-venta de energía con la empresa LAGG *Leben und Arbeiten im Gallus und Gutleut*. Para esta instalación se recibieron 290 módulos *Sumpro Power*, que fueron instalados y puestos en funcionamiento junto a tres inversores *Refusol*, el 5 de febrero de 2023; con ello se instalaron 158 kWp. Las características de los módulos SUMPRO se muestraron en la Tabla 2, así como la de los inversores en la Tabla 3. Al igual que con el primer SFV, toda la instalación fue realizada por el personal de mantenimiento eléctrico y montaje industrial de la empresa CIM, con la asesoría técnica de los técnicos de la empresa Aschoff Solar.

2.1.3. SFV #3 INIM

Se compró por la empresa CIM, mediante la gestión de comercialización e importación de la empresa ERKA. En agosto de 2022 se recibieron los 480 módulos *Canadian Solar* de 465 Wp, 2 inversores *Sunny Tripower* de 50 y 110 kW respectivamente, así como los conectores, cables, vigas de aluminio, laminados de aluminio y herramientas, así como el resto de los componentes requeridos para la confección in situ de las estructuras para la instalación de los paneles y la fundición de los contrapesos requeridos, trabajo realizado también por el equipo de mantenimiento eléctrico, mantenimiento civil y el equipo de montaje industrial de la propia empresa CIM, esta vez sin asesoría extranjera. Este SFV quedó instalado en el techo del edificio de investigaciones INIM, poniéndose en funcionamiento 205 kWp el 30 de marzo de 2023.

Las características de los módulos e inversores instalados, se muestran en las tablas siguientes (Tablas 4 y 5).

Tabla 4. Características de los módulos *Canadian Solar*

Tipo de modelo	CS3W-445MS
Dimensión (mm)	2108 x 1048 x 35
Peso	24.3 kg
Potencia nominal máxima (P _{máx})	445 W ± 3 %
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	48.9 V ± 5 %
Tensión de potencia óptima (V _{mp})	40.9 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	11.54 A ± 5 %
Corriente de máxima potencia (I _{mp})	10.89 A
Voltaje máximo del sistema	1500 V
Clasificación del fusible máximo en serie	20 A
Resistencia al fuego	Clase C
Clase de protección (IEC61140)	Clase II
Todos los datos técnicos en condiciones de prueba estándar: AM=1.5; I=1000 W/m ² ; T _c =25°C	

Tabla 5. Características de los inversores SMA Sunny Tripower

Modelo	STP 50-41	STP 110-60
Serie No.	3013198569	A2011022539
VDC max	1000 V	1100 V
VDC MPP	500 ~ 800 V	500 ~ 800 V
IDC max	6 x 20 A	12 x 26 A
ISP PV	6 x 30 A	12 x 40 A
VAC,r	380 / 400 / 415 V	380 / 400 / 415 V
PAC,r	50000 W	110000 W
S max	50000 VA	110000 VA
fAC,r	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
IAC max	72.5 A	158.8 A
cos (φ)	0.....1.....0 Sobre excitación Baja excitación	0.8.....1.....0.8 Sobre excitación Baja excitación
Clase de protección	I	I
Categoría de sobretensión	III	III

Considerando el comportamiento del Factor de Llenado (FF) y la eficiencia de los paneles (η), se muestra a continuación la siguiente tabla comparativa entre los 3 tipos de paneles utilizados (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de la eficiencia entre los paneles instalados

	JA Solar	Sumpro Power	Canadian Solar
Área (A)	1.87 m ²	1.96 m ²	2.21 m ²
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.53 A	13.83 A	11.54 A
Tensión del circuito abierto (Voc)	41.78 V	37.13 V	48.9 V
Tensión de potencia máxima (Vmp)	35.04 V	31.04 V	40.9 V
Corriente de máxima potencia (Imp)	10.99 A	13.05 A	10.89 A
Factor de llenado (FF)	0.80	0.79	0.79
Eficiencia (η)	20.6 %	20.6 %	20.1 %

Como puede comprobarse, los tres tipos de paneles instalados, presentan eficiencias similares bajo condiciones estándar (1000 W/m²; 25 °C) encontrándose en el rango máximo de eficiencia.

El factor de llenado de una celda fotovoltaica está relacionado con la eficiencia de una celda solar, donde el factor de llenado (FF) se define como la relación entre el máximo punto de potencia, dividido entre el voltaje en circuito abierto (Voc) y la corriente en cortocircuito (Isc). Cuanto más se aproxime

a 1, significa que la potencia real se acerca a la ideal, denotando un índice de mayor calidad en la celda.

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

La eficiencia de una celda solar (β , es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar absorbida por el panel, cuando una celda solar está conectada a un circuito eléctrico. Se calcula mediante la relación del punto de potencia máxima Pm, dividido entre la luz que llega a la celda (irradiancia: I), en W/m², bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la celda solar (A en m²).

$$\eta = \frac{\text{Potencia máxima eléctrica}}{\text{Potencia solar incidente}}$$

La eficiencia se da entonces como:

$$\eta = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{A * I}$$

$$\eta = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{A * I}$$

En donde:: Voltaje a máxima potencia

Imp: Corriente a máxima potencia

Voc: Voltaje en circuito abierto

Isc: Corriente en cortocircuito

A: Área de panel en m²

I: Irradiancia (1000 W/m²)

2.2. Comportamiento de la generación fotovoltaica en cada uno de los SFV

2.2.1. SFV #1 Antyter

Este SFV, instalado en el techo del edificio de producción Antyter es el de mayor tiempo de generación; su instalación ocurrió en dos momentos diferentes por lo que su comportamiento se muestra en dos 2 bloques.

El primer bloque de 102 kWp, instalado «a dos aguas» y funcionando desde mayo 3 de 2022, consta de 264 módulos JA Solar de 385 Wp, con 12 *string* de 22 paneles cada uno, conectados a 2 inversores Refusol de 50 kW; el inversor No. 1 capta los módulos dirigidos al este y el No. 2 al oeste, evidenciándose que ambos presentan valores similares, garantizándose la máxima generación en diferentes horarios del día. Se registra diariamente la generación producida, tomándose lecturas por parte del personal del grupo de electricidad CIM, según procedimiento elaborado, realizando las acciones de mantenimiento previstas, como limpieza de superficie de los paneles y el reapriete de las estructuras que los soportan; el paso de un huracán, no provocó ninguna afectación al SFV.

La generación desde el 3 de mayo de 2022 y hasta el 31 de diciembre de 2023 se muestra en la figura 1:

El primer bloque del SFV #1 ha generado un total de 253,027 MWh, con un promedio de 420,1 kWh en 608 días. Su máxima potencia de 693,7 kWh, se alcanzó el 29 de julio de 2023, mientras que la menor se registró el 25 de diciembre de 2022 con 30,8 kWh.

En la tabla 7, se evidencia que julio de 2023 fue el mes de mayor generación y diciembre 2022 el de menor:

La generación diaria del mes de mayo de 2023, se muestra en la figura 2.

Se puede evidenciar, que el 93.5 % del total de días del mes de julio, las generaciones fueron superiores a los 10 kWh y el comportamiento general osciló entre los 12 281 y 9 422 kWh.

El segundo bloque de 68 kWp, instalado también «a dos aguas» y funcionando desde febrero 4 de 2022, consta de 168 módulos *Sumpro Power* de 405 Wp, con 8 *string* de 21 paneles cada uno, conectados a 1 inversor *Refusol* de 50 kW, que capta tanto los paneles dirigidos al este como al oeste. Se ha registrado diariamente la generación producida, tomándose lecturas del tercer inversor.

Tabla 7. Generación mensual del 1º bloque del SFV #1 (Antyter)

Mes	Generación (MWh)		GEE	Consumo (MWh)		Relación generación consumo
	1er bloque SFV #1			SEN	Total	
	Promedio	Total				
Mayo	0,501	15,029	0,000	1225,669	1240,698	1,2 %
Junio	0,463	13,886	10,307	1164,843	1189,036	1,2 %
Julio	0,495	15,345	3,790	1164,605	1183,740	1,3 %
Agosto	0,462	14,326	14,95	1090,984	1120,260	1,3 %
Septiembre	0,427	12,794	95,24	928,321	1036,355	1,2 %
Octubre	0,405	12,566	18,95	1055,455	1086,971	1,2 %
Noviembre	0,324	9,706	0,239	1067,506	1077,451	0,9 %
Diciembre	0,265	8,23	0,000	1030,272	1038,502	0,8 %
Enero	0,330	10,215	0,000	1025,58	1035,795	1,0 %
Febrero	0,368	10,296	0,000	944,990	955,286	1,1 %
Marzo	0,408	12,647	1,060	1034,330	1048,037	1,2 %
Abril	0,519	15,557	0,000	1006,750	1022,307	1,522 %
Mayo	0,519	16,073	0,000	1030,978	1047,051	1,535 %
Junio	0,507	15,221	0,060	1033,483	1048,704	1,4 %
Julio	0,568	17,616	0,000	1123,112	1140,728	1,544 %
Agosto	0,449	13,930	0,000	1153,503	1167,433	1,2 %
Septiembre	0,453	13,576	0,000	1093,509	1107,085	1,2 %
Octubre	0,379	11,737	0,196	1089,242	1101,175	1,1 %
Noviembre	0,299	8,959	0,392	1025,959	1035,310	0,9 %
Diciembre	0,263	8,146	0,000	937,948	946,094	0,9 %

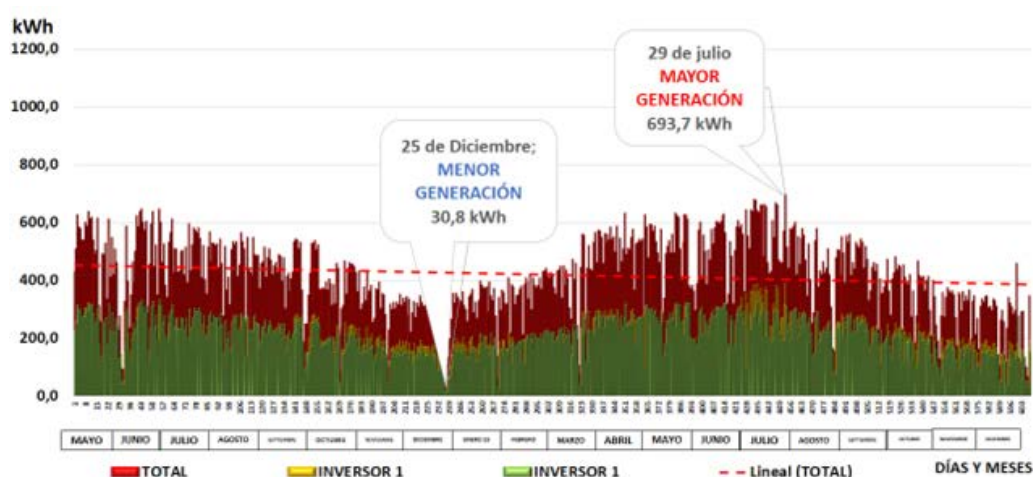


Fig. 1. Generación del 1er bloque del SFV #1 (Antyter).

La generación desde el 4 de febrero al 31 de diciembre de 2023, junto a la generación del primer bloque y se muestra en la figura 3.

El segundo bloque ha generado un total de 74,169 MWh, desde el 4 de febrero al 31 de diciembre de 2023, promediándose 224,1 kWh en 331 días, que sumado a lo generado por el 1er bloque da como resultado un total de 328,061 MWh y 542,1 kWh como promedio en 608 días. La mayor generación se logró el 20 de mayo de 2023, con 1017,6 kWh, mientras que la menor se obtuvo el 25 de diciembre de 2022 con 30,8 kWh. Se continúa evidenciando que julio de 2023 fue el mes de mayor generación (Tabla 8).

2.2.2. SFV #2 Logística

Esta instalación se ubicó en el techo del almacén GMP Logística. La misma es de 158 kWp, instalado también

«a dos aguas» y su puesta en funcionamiento fue el 5 de febrero de 2023; consta de 390 módulos SUMPRO de 405 Wp, con 18 *string* conectados a 3 inversores *Refusol* de 50 kW. Los inversores #1 (módulos dirigidos al este) y #2 (módulos dirigidos al oeste), cuentan con 1 *string* de 18 paneles, 4 *string* de 22 paneles y 1 *string* de 23 paneles; el inversor #3 (módulos mixtos este-oeste) cuentan con 2 *string* de 20 paneles, 2 *string* de 22 paneles y 2 *string* de 24 paneles.

Se ha registrado diariamente la generación producida, tomándose lecturas de los tres inversores por parte del personal del grupo de electricidad de la empresa, según procedimiento elaborado al efecto, encargado también de realizar las acciones de mantenimiento previstas, tales como la limpieza de las superficie de los paneles y el reapriete de las estructuras que los soportan. La generación

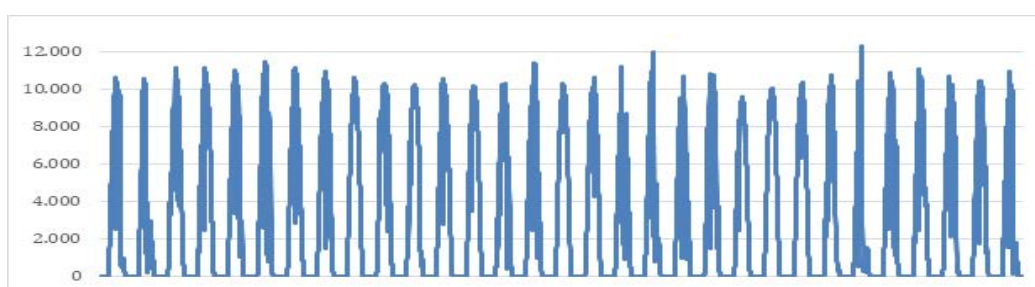


Fig. 2. Generación/día en julio del 1er bloque del SFV #1 (Antyter).

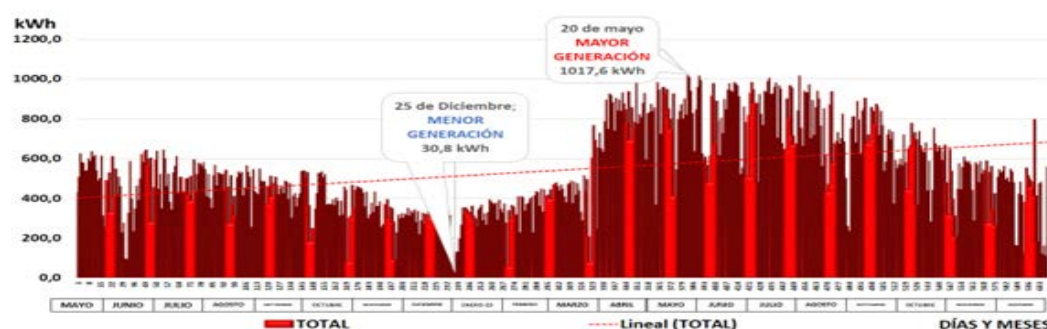


Fig. 3. Generación mensual del SFV #1 (Antyter).

Tabla 8. Generación mensual del SFV #1 (Antyter)

Mes	Generación (MWh)			Consumo (MWh)		Relación generación consumo
	SFV #1	GEE		Sen	Total	
	Promedio	Total				
Febrero	0,395	11,046	0,000	944,990	955,286	1,2 %
Marzo	0,501	15,538	1,060	1034,330	1048,037	1,5 %
Abril	0,826	24,793	0,000	1006,750	1022,307	2,4 %
Mayo	0,832	25,785	0,000	1030,978	1047,051	2,5 %
Junio	0,811	24,321	0,060	1033,483	1048,704	2,3 %
Julio	0,837	25,937	0,000	1123,112	1140,728	2,27 %
Agosto	0,722	22,394	0,000	1153,503	1167,433	1,9 %
Septiembre	0,723	21,695	0,000	1093,509	1107,085	2,0 %
Octubre	0,604	18,726	0,196	1089,242	1101,175	1,7 %
Noviembre	0,483	14,483	0,392	1025,959	1035,310	1,4 %
Diciembre	0,426	13,210	0,000	937,948	946,094	1,4 %

desde el 5 de febrero al 31 de diciembre de 2023 se muestra en la figura 4.

El SFV #2 ha generado un total de 212,464 MWh, promediándose 643,8 kWh, en 330 días; la mayor generación se alcanzó el 26 de marzo de 2023, con 979,6 kWh, mientras que la menor se obtuvo el 20 de marzo de 2023 con 132,7 kWh

En la tabla 9 se evidencia que mayo de 2023 fue el mes de mayor generación.

SFV #3 INIM

Está ubicado en el techo del edificio de investigaciones INIM, con 205 kWp de potencia y también con disposición «a dos aguas». Su puesta en funcionamiento ocurrió en dos momentos: el 30 de marzo la del inversor de 50 kW y el 4 de

abril el inversor de 110 kW. Este sistema consta de 475 módulos Canadian Solar de 445 Wp, con 25 string, conectados a 2 inversores *Sunny Tripower* de 50 kW y 110 kW respectivamente. Al inversor de 50 kW se conectaron 7 *string* de 19 paneles cada uno y al inversor de 110 kW, 19 *string* con 18 paneles cada uno. También se ha registrado diariamente la generación producida, tomándose lecturas de los dos inversores por parte del personal del grupo de electricidad de la empresa, según procedimiento elaborado al efecto, encargado también de realizar las acciones de mantenimiento previstas, tales como la limpieza de las superficies de los paneles y el reapriete de las estructuras que los soportan. La generación desde el 30 de marzo al 31 de diciembre se muestra en la figura 5.

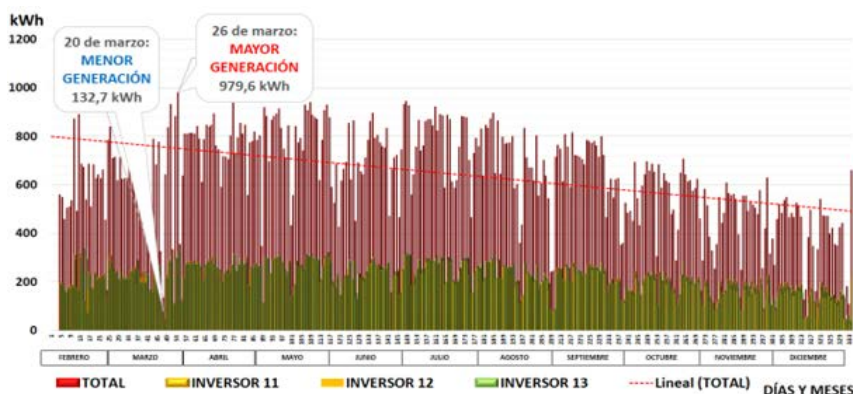


Fig. 4. Generación del SFV #2 (Logística).

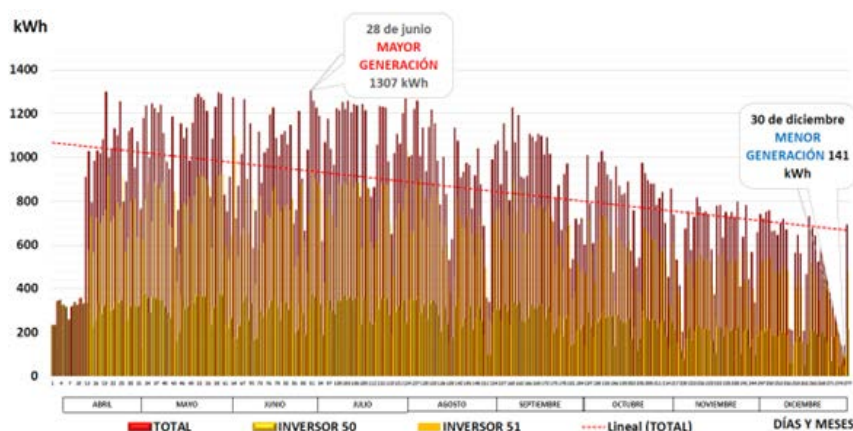


Fig. 5. Generación del SFV #3 (INIM).

Tabla 9. Generación mensual del SFV #2 (Logística)

Mes	Generación (MWh)			Consumo (MWh)		Relación generación consumo
	SFV #2	GEE		SEN	Total	
	Promedio	Total				
Febrero	0,633	15,183	0,000	944,990	960,173	1,6 %
Marzo	0,656	20,344	1,060	1034,330	1055,734	1,9 %
Abril	0,764	22,905	0,000	1006,750	1029,655	2,2 %
Mayo	0,794	24,617	0,000	1030,978	1055,594	2,3 %
Junio	0,723	21,691	0,060	1033,483	1055,174	2,1 %
Julio	0,766	23,731	0,000	1123,112	1140,728	2,1 %
Agosto	0,670	20,778	0,000	1153,503	1167,433	1,8 %
Septiembre	0,674	19,623	0,000	1093,509	1107,085	1,8 %
Octubre	0,564	17,483	0,196	1089,242	1101,175	1,6 %
Noviembre	0,456	13,684	0,392	1025,959	1035,310	1,3 %
Diciembre	0,401	12,426	0,000	937,948	946,094	1,3 %

Se han generado por el SFV #3, 240,486 MWh, promediando en 277 días 868 kWh; la mayor generación fue el 28 de junio, con 1306,7 kWh y la menor se obtuvo el 31 de diciembre con 141,0 kWh. En la siguiente tabla se evidencia que mayo de 2023 fue el mes de mayor generación:

1.2 Comportamiento de la generación fotovoltaica considerando los tres SFV

Desde el 4 de mayo de 2022 hasta el 31 de diciembre de 2023, los tres SFV instalados han generado un total de

782,534 MWh, cifra ésta que al dejarse de consumir del Sistema Electro-energético Nacional, evidenció un ahorro económico para la empresa de 2241,892 MP, implicando para el país la disminución de 195,634 t de combustibles fósiles en la generación de electricidad, el ahorro de 113,465 MUSD para el país y finalmente, la no emisión a la atmósfera de 641,679 t de CO₂, contribuyéndose de esta manera a la reducción de la huella de carbono. El comportamiento de la generación mensual de los tres SFV se muestra en la figura 6.

Tabla 10. Generación mensual del SFV #3 (INIM)

Mes	Generación (MWh)			Consumo (MWh)		Relación generación consumo
	SFV #3		GEE	SEN	Total	
	Promedio	Total				
Marzo	0,232	0,465	1,060	1034,330	1055,734	0,0 %
Abril	0,789	23,657	0,000	1006,750	1029,655	2,3 %
Mayo	1,095	33,932	0,000	1030,978	1055,594	3,2 %
Junio	1,020	30,602	0,060	1033,483	1055,174	2,9 %
Julio	1,089	33,751	0,000	1123,112	1140,728	3,0 %
Agosto	0,931	28,868	0,000	1153,503	1167,433	2,5 %
Septiembre	0,929	27,871	0,000	1093,509	1107,085	2,5 %
Octubre	0,804	24,913	0,196	1089,242	1101,175	2,3 %
Noviembre	0,640	19,188	0,392	1025,959	1035,310	1,9 %
Diciembre	0,556	17,240	0,000	937,948	946,094	1,8 %

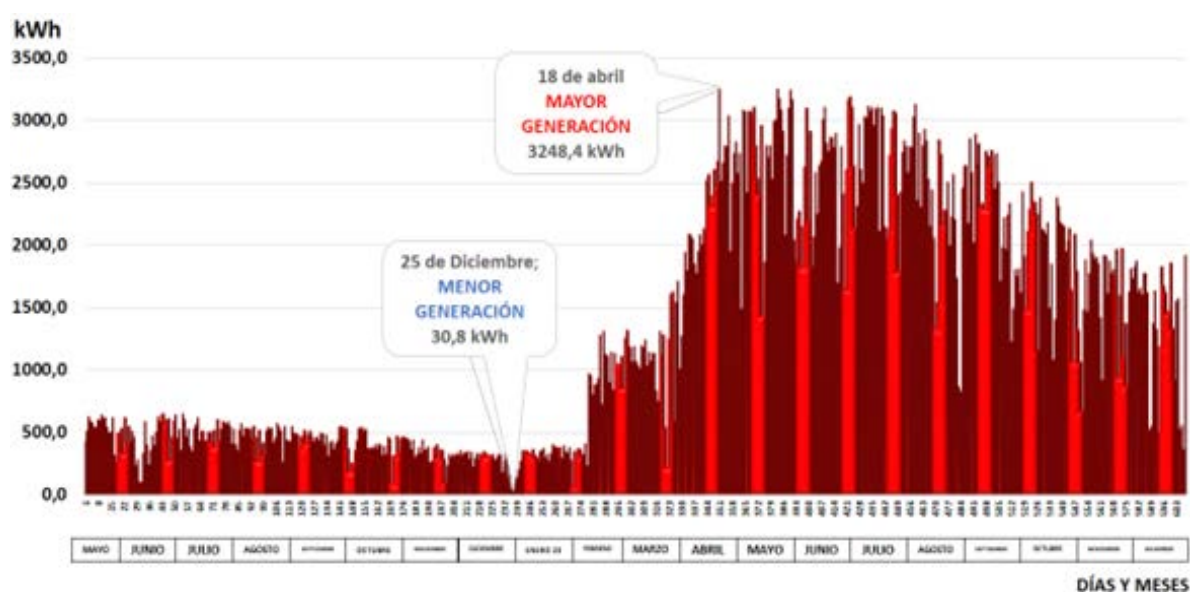


Fig. 6. Generación de los 3 SFV.

Experiencias en la generación fotovoltaica en el Centro de Inmunología Molecular (CIM)

Tabla 11. Generación mensual de los tres SFV

Mes	Generación (MWh)			Consumo (MWh)		Relación generación consumo
	SFV (#1, #2, #3)		GEE			
	Promedio	Total		SEN	Total	
Mayo	0,501	15,029	0,000	1225,669	1240,698	1,2 %
Junio	0,463	13,886	10,307	1164,843	1189,036	1,2 %
Julio	0,495	15,345	3,790	1164,605	1183,74	1,3 %
Agosto	0,462	14,326	14,95	1090,984	1120,26	1,3 %
Septiembre	0,427	12,794	95,24	928,321	1036,355	1,2 %
Octubre	0,405	12,566	18,95	1055,455	1086,971	1,2 %
Noviembre	0,324	9,706	0,239	1067,506	1077,451	0,9 %
Diciembre	0,265	8,230	0,000	1030,272	1038,502	0,8 %
Enero	0,330	10,215	0,000	1025,580	1035,795	1,0 %
Febrero	0,937	26,229	0,000	944,990	971,219	2,7 %
Marzo	1,173	36,347	1,060	1034,330	1071,737	3,4 %
Abril	2,379	71,354	0,000	1006,750	1078,104	6,6 %
Mayo	2,720	84,334	0,000	1030,978	1115,312	7,6 %
Junio	2,554	76,613	0,060	1033,483	1110,156	6,9 %
Julio	2,691	83,419	0,000	1123,112	1206,531	6,9 %
Agosto	2,324	72,040	0,000	1153,503	1225,543	5,9 %
Septiembre	2,306	69,189	0,000	1093,509	1162,698	6,0 %
Octubre	1,972	61,122	0,196	1089,242	1150,56	5,3 %
Noviembre	1,579	47,355	0,392	1025,959	1073,706	4,4 %
Diciembre	1,383	42,876	0,000	937,948	980,824	4,4 %

Se evidencia que en el mes de mayo de 2023, se obtiene el mayor valor de generación y el mayor promedio diario, así como

la mayor relación «generación/consumo», lográndose un 7,6 %. A continuación, se muestra en la figura 7 esta relación:

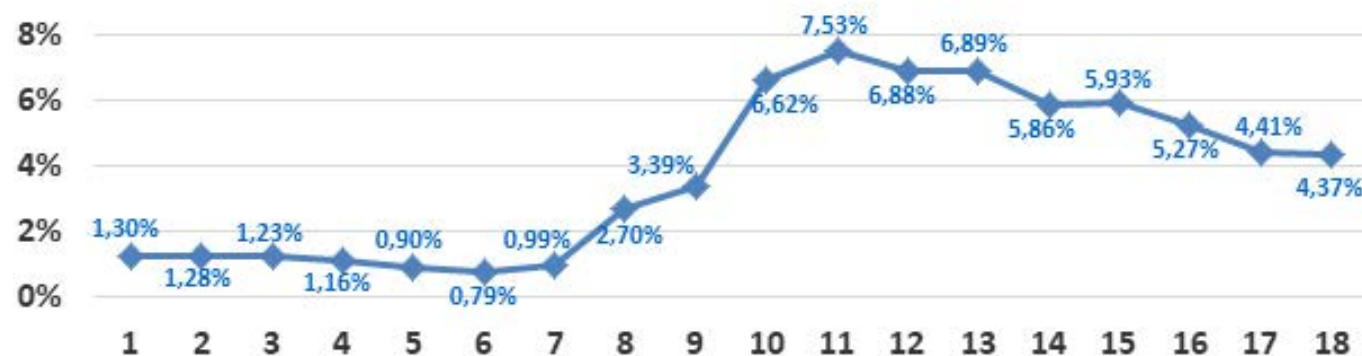


Figura 7. Relación Generación vs Consumo.

3. Conclusiones

- Se evidencia un ahorro por más de 7756 MP, por el trabajo de montaje realizado con esfuerzo propio en el CIM.
- Se gana en experiencia en este tipo de instalación lo que permite extender el servicio a otras empresas, a un costo competitivamente menor, usando las tarifas del ordenamiento monetario.
- Se evidencia la generación de 782,534 MWh mediante SFV, en el período comprendido entre el tres de mayo del 2022 y 31 de diciembre del 2023, obteniendo la Empresa un ahorro de 2 241,892 MP.
- Se logra alcanzar en el mes de mayo del 2022, el 7,56 % entre la Generación de los 3 SFV y el Consumo Total de los cuatro SE MAYORES del Centro.
- Los tres tipos de paneles instalados, poseen un FF similar y sus eficiencias se encuentran en el rango del 20,1 al 20,6.

4. Referencias Bibliográficas

- Energy, environment and development in Cuba—ScienceDirect.* (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2024, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112001177>
- Energy in Cuba: Overview.* (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/373412998_Energy_in_Cuba_Overview
- Masters, H., & Swofford, P. (2018). *Financing Renewable Energy in Cuba.* <https://hdl.handle.net/10161/16595>
- Morales Pedraza, J. (2019). Solar Energy in Cuba: Current Situation and Future Development. *Journal of Solar Energy Research Updates*, 6, 1-14. <https://doi.org/10.31875/2410-2199.2019.06.1>

REN21—Building the sustainable energy future with renewable energy. (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2024, de <https://www.ren21.net/>

Rossati, A. (2016). Global Warming and Its Health Impact. *The International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 8(1), 7-20. <https://doi.org/10.15171/ijoem.2017.963>

Sustainable Development Goals | United Nations Development Programme. (s. f.). Recuperado 18 de mayo de 2024, de <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>

Vazquez, L., Luukkanen, J., Kaisti, H., Kähkönen, M., & Majanne, Y. (2015). Decomposition analysis of Cuban energy production and use: Analysis of energy transformation for sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 638-645. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.156>

Vazquez, L., Majanne, Y., Castro, M., Luukkanen, J., Hohmeyer, O., Vilaragut, M., & Diaz, D. (2018). Energy System Planning towards Renewable Power System: Energy Matrix Change in Cuba by 2030. *IFAC-PapersOnLine*, 51(28), 522-527. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.756>

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

Contribución de los autores: Jandry Fiallo Guerrero, conceptualización, análisis formal, investigación, supervisión y redacción-revisión; Jorge L. Álvarez Suárez, curación de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original y edición.

Recibido: 12 de diciembre de 2024

Aceptado: 25 de diciembre de 2024