

*Universidad de Matanzas  
Sede: "Camilo Cienfuegos"  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**FACTIBILIDAD DEL EMPLEO DE LA ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA EN IPROYAZ MATANZAS**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica**

**Autor: Oscar Jesús Sablón Felico.**

*Matanzas, 2023*

*Universidad de Matanzas  
Sede: "Camilo Cienfuegos"  
Facultad de Ciencias Técnicas*



**FACTIBILIDAD DEL EMPLEO DE LA ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA EN IPROYAZ MATANZAS**

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica**

**Autor: Oscar Jesús Sablón Felico.**

**Tutor: MSc. Ing. Jorge Luis Lamas Acevedo.**

*Matanzas, 2022*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

---

Presidente

---

Secretario

---

Vocal

## RESUMEN

En este trabajo de grado se realiza un estudio de carga para la introducción de las fuentes energías renovable empleando la energía solar mediante el dimensionamiento de un campo fotovoltaico en la empresa de proyecto azucarero IPROYAZ perteneciente a AZCUBA en Matanzas. A partir de la demanda máxima de consumo energético en esta empresa, su ubicación geográfica, la radiación solar incidente, las horas de trabajo y el área disponible en la institución se dimensiona el campo fotovoltaico con la ayuda del software PVsyst6.88 el cual es una herramienta de gran utilidad en el diseño de estos sistemas. La demanda de la empresa se satisface con la instalación de 360 paneles fotovoltaicos de potencia 250 Wp, ocupando un área de 586 m<sup>2</sup>. Con esto se logra un ahorro anual de 32.4 toneladas de combustible fósil y 103.4 tonelada de CO<sub>2</sub> dejadas de emitir al ambiente. La inversión propuesta se recupera en 12 años.

**Palabras claves:** energía fotovoltaica; medio ambiente; PVsyst; ahorros; radiación solar

## **ABSTRACT**

In this degree work a load study is carried out for the introduction of the sources renewable energy using solar energy through the dimensioning of a photovoltaic field in the IPROYAZ sugar project company belonging to AZCUBA in Matanzas. From the maximum demand for energy consumption in this company, its geographical location, incident solar radiation, working hours and the available area in the institution, the photovoltaic field is sized with the help of the PVsyst6.88 software which is a very useful tool in the design of these systems. The company's demand is satisfied with the installation of 360 panels photovoltaic with a power of 250 Wp, occupying an area of XX m?. This achieves a annual savings of 32.4 tons of fossil fuel and 103.4 tons of CO2 left from emit to the environment. The proposed investment is recovered in 12 years you.

**Keywords:** photovoltaic energy; environment; PVsyst; savings; solar radiation

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	4
1.1 Fuentes renovables de energía .....	4
1.2 Características de la energía solar fotovoltaica .....	8
1.2.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica .....	10
1.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas (PV) y sus aplicaciones .....	12
1.4 Estado actual de las energías renovables en Cuba .....	19
1.5 Medidas para incrementar la trascendencia fotovoltaica en Cuba .....	22
1.6 El software PVsystV6.88 para análisis de sistemas PV. Modo de empleo .....	23
1.7 Conclusiones parciales del capítulo .....	25
Capítulo 2 Materiales y métodos .....	27
2.1 Caracterización de la zona. ....	27
2.1.1 Radiación, selección del recurso solar .....	27
2.1.2 Orientación e inclinación del generador .....	28
2.2 Metodología para el dimensionado de la instalación. ....	29
2.2.1 Cálculo de las horas de sol pico. ....	29
2.2.2 Determinación de la energía total generada por día por los paneles fotovoltaicos. ....	30
2.2.3 Selección del número de módulos fotovoltaicos a instalar .....	30
2.2.4 Método de potencia. ....	30
2.3 Pasos para diseñar el sistema PV en el software: .....	31
2.4 Impacto ambiental del diseño fotovoltaico propuesto .....	36
2.5 Análisis económico .....	37
2.5.1 Costo total de la inversión inicial .....	37
2.5.2 Movimiento de fondos .....	37
2.5.3 Período de recuperación de la inversión .....	38
2.5.4 Valor actual neto. ....	39
2.5.5 Tasa interna de retorno. ....	39
Capítulo 3 Análisis de los Resultados .....	41
3.1 Análisis de la energía generada .....	41
3.2 Análisis económico de los resultados .....	42
3.3 Resultados obtenidos con la simulación del software PVsystV6.88 .....	43
Conclusiones .....	45
Recomendaciones .....	46
Referencias Bibliográfica .....	47
Anexos .....	48

## INTRODUCCIÓN

La energía es fundamental para el desarrollo de las tecnologías y para proporcionar la mayoría de los servicios esenciales que mejoren la condición humana. Sin embargo, el uso de la energía produce invariablemente una ruptura del equilibrio ambiental, provocando una reacción de la naturaleza que puede causar consecuencias adversas para el propio hombre. Desde que se manifestó mundialmente la necesidad de desarrollar una política ambiental, se comenzó a considerar el desarrollo y la utilización de fuentes de energías renovables.

En la década de los 1990, con la instauración del “período especial” a consecuencia del desplome del campo socialista y desaparición de la Unión soviética y por la intensificación del criminal y genocida bloqueo impuesto por los Estados Unidos de Norteamérica, Cuba viene realizando grandes esfuerzos para solucionar el problema energético y entre sus planes incluyó la intensificación de la utilización de energía solar, fundamentalmente en zonas de difícil acceso donde no llega el Sistema Electroenergético Nacional, utilizando paneles solares constituidos por celdas fotovoltaicas. Estos sistemas comenzaron a instalarse fundamentalmente en consultorios del médico de la familia, hospitales rurales, círculos sociales, salas de televisión y escuelas.

Cuba como país subdesarrollado, ha empezado a transformar su economía con el objetivo de disminuir los consumos excesivos de petróleo, buscando energías alternativas, que sustituyan la dependencia económica que tiene sobre el petróleo y disminuya a la vez, la carga contaminante que genera la producción de electricidad a partir de esa fuente de energía (Novygrad, 2019)

En la Industria Nacional se cuenta con la Empresa de Componentes Electrónicos “Ernesto Che Guevara” de Pinar del Río que fábrica paneles fotovoltaicos con una capacidad de producción anual de 15 MWp para dar servicio al programa de montaje de los Parques Solares Fotovoltaicos. Además, fabrica sistemas de bombeo fotovoltaico, cargadores solares de baterías, sistemas de alumbrado y otros equipos domésticos que utilizan el panel como fuente de energía (Novygrad, 2019).



El Sistema Electroenergético Nacional (SEN) se encuentra desde el 2011 en una verdadera alfabetización solar, en la que se halla inmersa no solo el SEN sino el centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) de Santiago de Cuba, el Centro Integrado de Tecnologías del Agua (CITA) de Camagüey, el Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER) de La Habana y el Centro de Estudios Solares de Bartolomé Masó, entre otros; grupos industriales como EcoSol Solar, de COPEXTEL, la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, CUBASOLAR, el Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), entre muchas otras (de Rozas & Korkeakoski, 2022)

En la actualidad la alta dependencia de energía fósil y del petróleo importado ha provocado la grave situación energética que se da en el país en este momento y específicamente en IPROYAZ se necesita encontrar fuentes alternativas de suministro de energía para suplir dichas carencias.

Por todo lo expuesto anteriormente, se define como **situación problemática**: la necesidad de instalar paneles solares para contribuir al ahorro de energía en IPROYAZ Matanzas

**Problema científico**: ¿Cómo elaborar una propuesta para contribuir al ahorro energético en la sede de IPROYAZ a través de la instalación de paneles solares?

En correspondencia con el problema científico planteado se define la siguiente **hipótesis**: De realizarse una evaluación energética en la sede de IPROYAZ Matanzas, se logrará una propuesta para la instalación de paneles fotovoltaicos.

**Objetivo de la investigación**: Elaborar una propuesta para la instalación de paneles fotovoltaicos a partir de la evaluación del requerimiento energético del edificio en la sede de IPROYAZ.

Para el logro del objetivo general de este trabajo se trazaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los fundamentos teóricos que sustentan la instalación de paneles fotovoltaicos.

- Diagnosticar el estado actual del consumo energético del local.
- Elaborar una propuesta sobre la cantidad de paneles fotovoltaicos a utilizar.

El problema científico condiciona el Objeto: Paneles fotovoltaicos.

El Campo de acción: Ubicación de paneles fotovoltaicos en las redes eléctricas de distribución de la sede de IPROYAZ.

Se aplicaron diferentes métodos teóricos y empíricos. Entre los **métodos del nivel teórico:**

El histórico-lógico que permite recorrer los antecedentes hasta llegar a la situación actual del objeto de estudio.

El analítico-sintético que posibilita la interpretación conceptual de los datos e información de las investigaciones utilizadas.

El inductivo-deductivo que viabiliza la conformación empírica de la hipótesis que se tuvo en cuenta durante el desarrollo de la investigación.

Entre los **métodos de nivel empírico:**

La observación directa que contribuye en gran medida a constatar el estado actual con relación al consumo energético del local.

Revisión de documentos: facilita recopilación y selección de la documentación oficial y normas establecida con relación al tema.

Criterio de Especialista: permite conocer criterios de especialistas en el tema acerca de la validez y aplicabilidad de la Propuesta presentada como resultado.

## **CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En el presente capítulo se realiza una revisión bibliográfica, estudio, análisis y síntesis de la literatura científica relativa a la energía fotovoltaica (PV) y el uso de paneles solares, así como conceptos y definiciones de interés para la investigación, se formulan los criterios del autor sobre los conceptos que se exponen. Se brindan características de PV, ventajas y desventajas.

### **1.1 Fuentes renovables de energía**

La participación de las tecnologías energéticas renovables crece a nivel mundial en 20% anual, si se tienen en cuenta todas sus manifestaciones. La mayoría de los países desarrollados invierten sumas millonarias para poner en explotación las diversas fuentes renovables de energía, por su sostenibilidad. Los mayores progresos se observan en las energías eólica y fotovoltaica. Las energías renovables son fuentes limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. El crecimiento de las energías limpias es imparable, como queda reflejado en las estadísticas aportadas en 2015 por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) que representan cerca de la mitad de la nueva capacidad de generación eléctrica instalada en 2014, ya que se han convertido en la segunda fuente global de electricidad, sólo superada por el carbón. De acuerdo a la AIE, la demanda mundial de electricidad aumentará un 70% hasta 2040, elevando su participación en el uso de energía final del 18% al 24% (Novygrad, 2019)

Las energías renovables han recibido un importante respaldo de la comunidad internacional con el Acuerdo de París suscrito en la Cumbre Mundial del Clima celebrada en diciembre de 2015 en la capital francesa. El acuerdo, que entrará en vigor en 2020, establece por primera vez en la historia un objetivo global vinculante, por el que los casi 200 países firmantes se comprometen a reducir sus emisiones de forma que la temperatura media del planeta a final del presente siglo quede “muy por debajo” de los

dos grados, el límite por encima del cual el cambio climático tiene efectos más catastróficos e incluso a intentar dejarlo en 1,5 grados. La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá así mismo efectos económicos muy positivos. Según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), duplicar la cuota de energías renovables en el *mix* energético mundial hasta alcanzar el 36% en 2030 supondría un crecimiento adicional a nivel global del 1,1% ese año (equivalente a 1,3 billones de dólares), un incremento del bienestar del 3,7% y el aumento del empleo en el sector hasta más de 24 millones de personas, frente a los 9,2 millones actuales (Novygrad, 2019) .

Entre las energías renovables se encuentran la hidroeléctrica, eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, la biomasa y los biocombustibles:

#### 1. Energía hidráulica.

Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona, pero se necesita construir infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un costo nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas (Schallenberg Rodríguez et al., 2008).

#### 2. Energía eólica.

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada por las turbinas eólicas que la convierten en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado a través de una serie de engranajes a un generador eléctrico. Es una energía limpia y también la menos costosa de producir (Lamigueiro, 2013).

Los mayores recursos eólicos se localizan en las zonas costeras los cuales alcanza cifras superiores a todas las necesidades actuales de energía eléctrica. La energía eólica podría proporcionar cinco veces más electricidad que el total consumido en todo el mundo, sin afectar a las zonas con mayor valor ambiental (Novygrad, 2019).

### 3. La Biomasa.

La biomasa consiste también en otra forma de energía renovable, su formación es a partir de la energía solar que se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado (Lamigueiro, 2013).

### 4. Energía Geotérmica.

La energía geotérmica es aquella que puede ser obtenida mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno de la Tierra llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar (Schallenberg Rodríguez et al., 2008).

### 5. Energía Solar.

La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual. En la Tierra la radiación solar es la principal fuente de energía primaria. Prácticamente es inagotable, no contamina, está territorialmente distribuida y su disponibilidad potencial es muy superior a las necesidades energéticas del hombre. En la naturaleza, la energía solar se transforma en bioquímica, hidráulica, eólica, térmica y eléctrica. Mediante procesos desarrollados por el hombre, la eficiencia de estas transformaciones puede aumentarse muchas veces y utilizarse convenientemente en beneficio del desarrollo social.

El Sol, constituido en su mayor parte por hidrógeno, es la estrella más cercana a la Tierra. Mediante la radiación de su energía electromagnética, el Sol aporta directa o indirectamente toda la energía necesaria para mantener la vida en la Tierra y para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad. La radiación cuando llega a nuestro planeta es capaz de brindar aproximadamente  $1\,360\text{ W/m}^2$ , aunque disminuye por la presencia de la atmósfera y la inclinación de los rayos del Sol debido a la curvatura de la Tierra y a la posición del punto de observación sobre ella. Esta radiación tiene una distribución espectral que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo, y el valor energético de cada zona es de 7% o  $96\text{ W/m}^2$  para el ultravioleta; de 47,3% o  $650\text{ W/m}^2$ , para el visible; y de 45,7% o  $627\text{ W/m}^2$  para el infrarrojo.

La esfera solar mide casi 1,4 millones de kilómetros de diámetro, es decir, 109 veces mayor que el diámetro de la Tierra; su volumen supera al de los planetas del sistema solar juntos y en un millón de veces al de la Tierra; dista de nosotros 150 millones de kilómetros. El Sol se apagará, según dicen los astrónomos, dentro de 4 500 millones de años, pero ese tiempo es muy grande si se sabe que el ser humano evolucionó, según afirman los paleontólogos, desde hace solo seis millones de años. (Lamigueiro, 2013).

#### 6. Energía marina o energía de los mares.

La energía marina o energía de los mares se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Esta energía se puede aprovechar para generar electricidad que alimente las casas, el transporte y la industria.

Entre las ventajas principales de las energías renovables podemos encontrar que son consideradas el socio imprescindible contra el cambio climático, las renovables no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía, lo que las revela como la solución limpia y más viable frente a la degradación medioambiental; son inagotables al contrario que las fuentes tradicionales de energía como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas, las energías limpias cuentan con

la misma disponibilidad que el sol donde tienen su origen y se adaptan a los ciclos naturales (por eso las denominamos renovables).

Por ello son un elemento esencial de un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el de las futuras generaciones, otro aspecto a considerar es que reducen la dependencia energética, la naturaleza autóctona de las fuentes limpias implica una ventaja diferencial para las economías locales y un estímulo para la independencia energética. La necesidad de importar combustibles fósiles produce una subordinación a la coyuntura económica y política del país proveedor que puede comprometer la seguridad del suministro energético.

En cualquier parte del planeta hay algún tipo de recurso renovable (viento, sol, agua, materia orgánica) susceptible de aprovecharlo para producir energía de forma sostenible. Otra ventaja es que son crecientemente competitivas, las principales tecnologías renovables como la eólica y la solar fotovoltaica están reduciendo drásticamente sus costes, de forma que ya son plenamente competitivas con las convencionales en un número creciente de emplazamientos. Las economías de escala y la innovación están ya consiguiendo que las energías renovables lleguen a ser la solución más sostenible, no sólo ambiental sino también económicamente, para mover el mundo (Schallenberg Rodríguez et al., 2008).

## **1.2 Características de la energía solar fotovoltaica**

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante celdas fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica (Solar, 2019). Un panel fotovoltaico, también denominado módulo fotovoltaico, está constituido por varias celdas fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco. Las celdas fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos.

La energía fotovoltaica no es la única manera de obtener energía eléctrica del sol. Quizás no seamos conscientes de que buena parte de nuestras fuentes de energía eléctrica actuales, aparentemente sin relación con el sol, también obtienen su energía a partir de los fotones que nos llegan de éste, así, por ejemplo:

- Hace millones de años, las plantas, mediante fotosíntesis, atraparon la energía solar en forma de moléculas orgánicas que nos han llegado hasta hoy en sus cuerpos fosilizados en forma de petróleo, carbón, etc.; es la energía fósil.
- En el contexto de la energía eólica, el viento mueve unas aspas acopladas a un generador eléctrico. Esta energía también procede, en último término del sol, ya que el viento se debe a la diferencia de presión que se producen por el hecho de que unas regiones hayan sido calentadas por el sol más que otras.
- Mediante la energía hidráulica se aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua almacenada a alturas superiores a la del nivel del mar para mover también los generadores, y es de nuevo el sol el que, al evaporar el agua de los mares, aumenta la energía potencial del agua.

Sin embargo, todas las fuentes de energía mencionadas producen energía eléctrica de forma indirecta a partir de los fotones del Sol. Por el contrario, la energía solar fotovoltaica produce la electricidad directamente (Parida et al., 2011).

Los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar:  $1000 \text{ W/m}^2$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) de radiación solar y  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en  $\text{Wp}$ ; a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo.

La energía producida por los sistemas fotovoltaicos se calcula multiplicando su potencia nominal por el número de horas sol pico, dado que no todas las horas de sol son de la intensidad considerada como pico ( $1000 \text{ W/m}^2$ ). El número de horas sol pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día (en  $\text{Wh/m}^2$ ) entre  $1000 \text{ W/m}^2$  (Kumar et al., 2020).



Las instalaciones solares fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos: sistemas aislados (sistemas autónomos sin conexión a la red eléctrica) y sistemas conectados a la red eléctrica. En regiones rurales o aisladas los sistemas fotovoltaicos autónomos constituyen ya la solución de fondo y son parte fundamental e imprescindible para la garantía del fluido eléctrico y de las comunicaciones. A diferencia de los sistemas conectados a red, los sistemas autónomos requieren de las baterías para almacenar energía que será consumida en los ciclos diarios (Parida et al., 2011).

### **1.2.1 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica**

Ventajas:

1. Como procede de una fuente de energía renovable, sus recursos son ilimitados.
2. Su producción no genera ninguna emisión, es decir, es una energía muy respetuosa con el medio ambiente.
3. Los costos de operación son muy bajos.
4. El mantenimiento es sencillo y de bajo costo.
5. Los módulos tienen un periodo de vida de hasta 20 años.
6. No solo se puede integrar en las estructuras de construcciones nuevas, sino también en las ya existentes.
7. Se pueden hacer módulos de todos los tamaños.
8. El transporte de todo el material es práctico (con esto se hace referencia a que a diferencia, por ejemplo, de la energía eólica, donde el transporte del material es complejo debido al tamaño, el material que se utiliza en la energía fotovoltaica es de transporte más sencillo).
9. El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando.
10. Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde no llega la electricidad.
11. Los paneles fotovoltaicos son limpios y silenciosos, de manera que pueden instalarse en casi cualquier parte sin provocar ninguna molestia.

Desventajas:

1. Los costos de instalación son altos por lo que requiere de una gran inversión inicial.

2. Los lugares donde hay mayor radiación solar, son lugares desérticos y alejados de las ciudades.
3. Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
4. En cuanto a la tecnología actual, hay falta de elementos almacenadores de energía económicos y fiables.

La evolución de la tecnología de las celdas solares ha experimentado importantes avances desde su invención. Esta ha ido paralela a desarrollos y avances tecnológicos producidos en materiales y procesos. Los dispositivos fotovoltaicos de aplicación a la conversión de la energía solar deben construirse con materiales semiconductores sensibles a la radiación solar de modo que el efecto fotovoltaico se produzca de forma eficiente (Righini & Enrichi, 2020). El material utilizado en la fabricación de celdas fotovoltaicas es el silicio, uno de los materiales más abundantes del planeta. Tradicionalmente han coexistido tres tipos de celdas de silicio:

**Silicio Monocristalino:** utiliza lingotes puros de silicio (los mismos que utiliza la industria de chips electrónicos). Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12% (algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años).

**Silicio Policristalino:** se fabrica a partir de restos de silicio monocristalino. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso, cada vez más extendido (Richhariya et al., 2020).

**Módulos de silicio Policristalino:** Se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino, son ligeramente más baratos que estos módulos. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso (Righini & Enrichi, 2020)

**Silicio Amorfo:** se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc. (La garantía del producto puedes ser hasta por 10 a 20 años dependiendo del fabricante) (Aqachmar et al., 2021).

### 1.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas (PV) y sus aplicaciones

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de algunas variables externas como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Por ello, para medir y comparar correctamente los diferentes módulos fotovoltaicos, se han definido unas condiciones de trabajo nominal o estándar. Estas condiciones se han normalizado para una temperatura de funcionamiento de 25° C y una radiación solar de 1.000 W/m<sup>2</sup>, y los valores eléctricos con estas condiciones se definen como valores pico.

Teniendo en cuenta que la unidad de potencia eléctrica es el vatio (Lweis) y sus múltiplos; el kilovatio y el megavatio, la potencia de un módulo fotovoltaico se expresa en vatios-pico (Wp), refiriéndose a la potencia suministrada en las condiciones normalizadas de 25°C de temperatura y 1.000 W/m<sup>2</sup> de radiación solar o irradiación.

Por otro lado, la energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal por el número de horas sol pico, ya que no todas las horas de sol tienen la misma intensidad de 1.000 W/m<sup>2</sup>.(Autores, 2010) (Aqachmar et al., 2021)

El número de horas pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía de ese día (en Wh/m<sup>2</sup>) entre 1.000 W/m<sup>2</sup>.

Principalmente se diferencian dos tipos de instalaciones: las aisladas de red, que se utilizan para autoconsumo, ya sea una vivienda aislada, una estación repetidora de telecomunicación, una baliza de señalización en el mar, y las de conexión a red, donde la energía que se produce se utiliza íntegramente para la venta a la red eléctrica de distribución. Mientras que en las primeras la energía se almacena en baterías para así disponer de su uso cuando sea preciso, en las segundas toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada.

Tanto para las aplicaciones aisladas de la red eléctrica, como para las conectadas a ella es necesario cuidar la incorporación de los sistemas fotovoltaicos al entorno, rural o urbano. Pero es en las aplicaciones urbanas conectadas a red, en las que se unen exigencias

urbanísticas a las motivaciones medioambientales, donde la integración tiene más relevancia. (Breyer et al., 2021)

Sobre las instalaciones aisladas de la red eléctrica, se sabe que estos sistemas tienen como misión garantizar un abastecimiento de electricidad autónomo, es decir, independiente de la red eléctrica pública de consumidores o viviendas aisladas.

Estas instalaciones no tienen ninguna limitación técnica en cuanto a la potencia eléctrica que puede producir, solamente motivos de economía y rentabilidad establecen una acotación al número de módulos y acumuladores a instalar. En su mayoría se utilizan para electrificación de viviendas y edificios, alumbrado público, aplicaciones agropecuarias y ganaderas, bombeo, tratamiento del agua, antenas de telefonía aisladas de la red, etc.

Como los paneles sólo producen energía en las horas de sol y la energía se puede necesitar durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación. Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume para acumular el exceso y posteriormente poder utilizarlo cuando no se esté generando.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula, básicamente, en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad.

Partiendo siempre del criterio de obtener el máximo rendimiento posible en el mes más desfavorable, en nuestro caso noviembre y diciembre, y así el resto del año tendrá como mínimo la energía calculada para el peor mes, cubriendo siempre las necesidades.

Para calcular instalaciones fotovoltaicas aisladas existen multitud de sistemas de cálculo, aunque el más utilizado es el de los “amperios-hora” (Ah).

Este sistema calcula la cantidad de amperios-hora por día que son necesarios en la instalación para que los pueda suministrar la batería a cualquier hora del día, y esos mismos amperios deben producirse a través del campo fotovoltaico, como hemos dicho, siempre teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona donde vaya a estar ubicada la instalación.

Se pueden consultar y adquirir tablas de radiación de todas las provincias del país, y en cada una de estas provincias hay tablas más específicas según zonas.

De tal manera que en una zona donde haya muchos días soleados al año habrá que acumular poca energía y por el contrario si el período sin luz es muy largo, hay que acumular más energía.

El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

- La demanda energética en los meses más desfavorables.
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación.

En este tipo de instalación es recomendable utilizar electrodomésticos e iluminación de bajo consumo, para que de esta manera el sistema sea más económico. Actualmente existe una gran variedad de estos productos de bajo consumo.

Respecto a los elementos constituyentes de las instalaciones aisladas se plantea que básicamente estos sistemas fotovoltaicos constan de los siguientes elementos:

- Generador fotovoltaico: transforma la energía del sol en energía eléctrica y carga las baterías.
- Regulador de carga: controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyen la vida útil del acumulador. Puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.
- Sistema de acumulación: Baterías que acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando no hay generación solar, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.

- Inversor: la corriente que generan los paneles o entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan inversores que convierten la corriente continua en alterna

Sobre el mantenimiento se relaciona que el generador fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, siendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo.

Por otro lado, las baterías con un correcto mantenimiento tienen una vida aproximada de 10 años.

Las operaciones de mantenimiento son:

- Los paneles que forman el generador apenas requieren mantenimiento, basta limpiarlos con algún producto no abrasivo cuando se detecte suciedad solidificada.
- El regulador de carga no requiere mantenimiento, pero si necesita ser revisado para comprobar su buen funcionamiento.
- En las baterías se debe controlar que el nivel de carga del electrolito esté dentro de unos límites aceptables. Para reponerlo se utiliza agua destilada o desmineralizada. Se debe revisar su nivel mensualmente en cada uno de los elementos y mantener los bornes de conexión libres de sulfato. La medida de la densidad del electrolito puede avisar de posibles averías. Actualmente existen baterías sin mantenimiento o de electrolito gelificado que no necesitan reposición de agua.
- El inversor no necesita ningún mantenimiento especial, únicamente debe comprobarse su buen funcionamiento.

Aplicaciones:

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

- Aplicaciones espaciales: desde los orígenes de la aventura espacial los satélites y naves espaciales han utilizado paneles solares fotovoltaicos para alimentar sus equipos electrónicos.
- Sector de gran consumo: calculadoras, relojes, etc.
- Telecomunicaciones: existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica y fiable. Son ejemplos característicos: repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc.
- Señalización: la señalización marítima y terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos en balizamiento de aeropuertos, señalización de carreteras y puertos, etc.
- Bombeo: al estar los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy adecuada. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las necesidades ya que en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce. En estos sistemas el almacenamiento de energía suele ser en forma de energía potencial, bombeando el agua a depósitos elevados.
- Zonas protegidas: en parajes naturales, donde por motivos de protección ambiental se recomienda no instalar tendidos eléctricos aéreos, en ocasiones, resulta más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles.
- Electrificación de viviendas aisladas: la distancia del punto de consumo a la red eléctrica puede hacer, en muchos casos, más rentable esta aplicación debido no solo al coste de instalar el tendido eléctrico sino también a la calidad del suministro eléctrico al evitarse cortes de electricidad, muy frecuentes en lugares aislados.
- Alumbrado de calles y carreteras: la posibilidad de utilizar sistemas de iluminación autónomos de fácil instalación y mínima obra civil, hace que sea una solución adecuada en muchas ocasiones.

- Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas: cuando hay que electrificar una pequeña población rural aislada, la solución más idónea es instalar un sistema centralizado que gestione y distribuya la energía de los habitantes de la pequeña población.
- Para las instalaciones conectadas al sistema electroenergético nacional (SEN) o a la red eléctrica convencional se plantea que estas instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red general de distribución tienen como objetivo vender toda la producción. (Novygrad, 2019)
- En los lugares que disponen de electricidad, la conexión a red de los sistemas fotovoltaicos contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Esta aplicación se ajusta muy bien a la curva de demanda de la electricidad, ya que el momento en que más energía genera los paneles, cuando hay luz solar, es cuando más electricidad se demanda.
- Al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red, se dispone de una mini central eléctrica que proporciona kW/h a la red para que se consuman allí donde sean demandados, lo que elimina las pérdidas en transporte de electricidad.

Para que las instalaciones sean técnicamente viables es necesario:

- La existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica.
- La determinación, con la compañía distribuidora, del punto de conexión.
- Proyectar un sistema que incluya sistemas de generación y transformación de primera calidad, con las protecciones establecidas y debidamente verificados y garantizados por los fabricantes, de acuerdo a la legislación vigente.
- Una instalación realizada por un instalador fotovoltaico.

En las instalaciones conectadas a red, el tamaño de la instalación no depende del consumo de electricidad de la vivienda o edificio, lo que simplifica enormemente su diseño. Para dimensionar la instalación es necesario conocer, el espacio disponible y la inversión inicial.



El consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario sigue comprando la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y además es propietario de una instalación generadora de electricidad que puede facturar los kW/h producidos a un precio superior.

Elementos:

Los elementos que componen la instalación son:

- Generador fotovoltaico, transforma la energía del sol en energía eléctrica, que se envía a la red.
- Inversor, transforma la corriente continua producida por los paneles en corriente alterna de las mismas características que la de la red eléctrica.
- Contadores, un contador principal mide la energía producida en kW/h y enviada a la red, para que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados.

Mantenimiento.

El mantenimiento se reduce a la limpieza de los paneles, cuando se detecte suciedad solidificada, y la comprobación visual del funcionamiento del inversor. La vida media de la instalación se estima superior a 30 años. (Solar, 2019)

Aplicaciones:

Las principales aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica son:

- Tejedos de viviendas: son sistemas modulares de fácil instalación donde se aprovecha la superficie del tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos. El peso de los paneles sobre el tejado no supone una sobrecarga para la mayoría de los tejados existentes.
- Plantas de producción: las plantas de producción de electricidad son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos o sobrepuestas en grandes cubiertas de áreas urbanas. Para aumentar la

capacidad de producción de una planta fotovoltaica de producción eléctrica hasta en un 25% se suelen utilizar sistemas de seguimiento del sol.

- Integración en edificios: En esta aplicación es prioritario el nivel de integración del elemento fotovoltaico en la estructura del edificio. Por integración fotovoltaica debemos entender la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen el elemento fotovoltaico, y que por lo tanto son generadores de energía. La demanda de energía del sector terciario en la unión europea está creciendo de forma significativa, por lo que la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios, con aportaciones energéticas en las horas pico, contribuye a reducir la producción diurna de energía convencional.

Una instalación de unos 3 kW que ocupa cerca de 30 m<sup>2</sup> de tejado, inyectaría a la red tanta energía como la consumida por la vivienda media a lo largo del año.

Para ofrecer una solución más económica se están utilizando sistemas prefabricados que reducen notablemente el tiempo de realización de la instalación y aumentan su fiabilidad.

Una vez terminada la instalación, el sistema fotovoltaico es un elemento más de la vivienda, aportando una fuente adicional de producción de electricidad y un gran valor ecológico añadido. Por sus características y la actual reglamentación, se prevé que sea la aplicación más extendida en los próximos años.

#### **1.4 Estado actual de las energías renovables en Cuba**

En Cuba existe experiencia, desde los años 80 del pasado siglo en el uso de la radiación solar para generar electricidad, con enclaves aislados en comunidades rurales intrincadas y diversos objetivos económicos, ya para el año 2012, las instalaciones fotovoltaicas sumaban en total 3 MW en unos 9000 sistemas fotovoltaicos de baja potencia, casi todas remotas, no conectadas a red, en lugares aislados donde no llega la red eléctrica (escuelas, consultorios y casas) con una gran repercusión social.

Pero, el motor impulsor del desarrollo mundial en esta rama ha sido la energía fotovoltaica conectada a la red. En nuestro caso la red eléctrica llega a más del 96 % de la

población, por lo que es la vertiente que puede significativamente dar su aporte para disminuir la quema de combustible fósil en función de la generación eléctrica y puede tributar, paulatinamente, a una independencia electroenergética, junto con las otras fuentes renovables de energía.

En el 2013, se dio un buen salto al instalarse 11 MW en parques PV, conectados a la red, para finales de 2015 la potencia fotovoltaica acumulada alcanzó los 22 MW y el año anterior se construyeron nuevos parques fotovoltaicos en varias provincias, con lo cual se elevó a cerca de 43 MW la capacidad instalada en el país, tendencia que debe ir aumentando de acuerdo con la voluntad existente y con los planes aprobados por el país, relacionados con las fuentes de energía renovables (FRE). (Novygrad, 2019)

La matriz energética de Cuba esta soportada en aproximadamente un 4,5% sobre fuentes renovables de energía, dependiendo casi totalmente de combustibles importados para la generación, si a esto se le suma los problemas que acarrea esta dependencia, como el alto costo promedio de la energía entregada, la contaminación ambiental que trae consigo la quema de dichos combustibles nos damos cuenta por qué la necesidad inmediata de un cambio, tanto, de mentalidad como de matriz energética.

El Partido Comunista de Cuba y Gobierno dando cumplimiento al lineamiento 202 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución que establece: “*Acelerar el cumplimiento del Programa aprobado hasta 2030, para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía*”. Para el periodo 2015–2030 se prevé alcanzar un 24% de generación a partir de las FRE. Para ello se pretende instalar en el país:

- 633 MW en parques eólicos.
- 700 MWp en parques solares fotovoltaicos.
- 56 MW en pequeñas centrales hidroeléctricas.
- 755 MW en biomasa cañera y no cañera.

Las inversiones necesarias en el desarrollo de las fuentes renovables de energía ascienden a 3 700 millones de dólares que se buscará financiar a través de créditos gubernamentales

convenidos con otros países y la inversión extranjera directa. (de Rozas & Korkeakoski, 2022)

No hay duda de que la estrategia energética de Cuba se dirige hacia una energía limpia, segura y sustentable, o lo que es lo mismo, hacia las fuentes renovables de energía. Constituye una necesidad impulsar el aprovechamiento de esas fuentes energéticas para sustituir los combustibles fósiles expuestos a la subida de sus precios, reduciendo así la dependencia de los combustibles importados y por tanto utilizando más y mejor las energías limpias. (Castro & Vilaragut, 2022)

El efecto fotovoltaico vino a fructificar mucho después como alternativa para la generación eléctrica, gracias a la participación multidisciplinaria de físicos y científicos que continúan aumentando las eficiencias de celdas y módulos a menores costos; ingenieros en estructuras para determinar las resistencias mecánicas de los sistemas fotovoltaicos; ingenieros eléctricos, encargados de toda la gestión y control de las redes eléctricas; químicos para aumentar las posibilidades de almacenamiento eléctrico, por ejemplo, en baterías; ingenieros electrónicos para aumentar las prestaciones de los dispositivos de electrónica de potencia, por ejemplo, en los inversores; informáticos para desarrollar softwares y también para las comunicaciones a distancia de la generación distribuida; ingenieros en automatización para aumentar los procesos de automatización de la fotovoltaica; economistas para disminuir los elevados costos de capital; meteorólogos para definir el comportamiento climático, sobre todo, de corto plazo; metrólogos en todo lo relativo a las normas fotovoltaicas; arquitectos especializados en arquitectura fotovoltaica; ingenieros automotrices para el desarrollo del transporte eléctrico con fotovoltaica, entre otros.

La energía fotovoltaica es la fuente de generación eléctrica que promueve más niveles de empleo. En los múltiples estudios realizados para transiciones futuras de paradigma de los sistemas de redes eléctricas se plantea la disminución de las componentes fósiles y el aumento de las FRE, fundamentalmente con el aporte, en mayores proporciones, de la generación hidroeléctrica, eólica, de bioenergías y fotovoltaica, en un proceso sostenido y paulatino, con los siguientes comportamientos: disminución de la generación base del

carbón (Cuba no tiene carbón), aumento de la geotérmica (Cuba no tiene potencial porque las altas temperaturas son muy profundas), la alternativa nuclear no tiene las mismas expectativas de antes (no es nada recomendable para Cuba), las potencialidades hidroeléctricas se aprovecharán al máximo (el potencial en Cuba es pequeño), no se cuenta mundialmente con grandes posibilidades de las tecnologías marinas.

Mundialmente se cuenta con la energía eólica y la fotovoltaica para el nuevo y futuro eléctrico; pero en el caso de Cuba, esas son las dos opciones que pueden tributar más a este propósito, en lo que concierne a la fotovoltaica; la misma se distribuye con buena radiación solar en los 110 000 km<sup>2</sup> del archipiélago. (de Rozas & Korkeakoski, 2022)

### **1.5 Medidas para incrementar la trascendencia fotovoltaica en Cuba**

Según Novygrad (2019) plantea una serie de medidas para implementar el desarrollo fotovoltaico en el país las cuales son:

- Aumentar la generación fotovoltaica por los bordes de la red. Con esto se logra evitar las pérdidas de tensión de largos cableados, o sea, que esté lo más cerca posible el consumidor de el sistema generador.
- Utilizar la distribución dispersa de instalaciones para disminuir las fluctuaciones de la radiación solar. El aumento de los sistemas permite que uno que este limitado por causas externas pueda ser ayudado por otro de que este relativamente cerca.
- Utilizar la distribución dispersa de instalaciones para disminuir las fluctuaciones de la radiación solar. El aumento de los sistemas permite que uno que este limitado por causas externas pueda ser ayudado por otro de que este relativamente cerca.
- Instalar plantas fotovoltaicas de nivel *utility*, que inyecten 100% a la red. Aquí también se debe cumplir con la ubicación de estar lo más cerca del consumo. Cuba tiene un buen cubrimiento nacional de red eléctrica, por lo que es una oportunidad que se debe aprovechar al máximo

- Desarrollar sistemas de autoconsumo fotovoltaico. Además de la inyección a 100% a la red, es importante promover el autoconsumo descentralizado. El autoconsumo conectado a red puede llegar a tener un por ciento alto de generación eléctrica fotovoltaica, pero con la característica que solo una menor parte de la generación se inyecta a la red eléctrica, o sea, en lugar de consumirse en una zona o región por muchos clientes, se consume solo por un cliente.
- Promover las instalaciones fotovoltaicas del lado del cliente de consumo mayormente diurno durante el día consumen mucho más electricidad: escuelas, hospitales, bancos, universidades, empresas, ministerios, centros de investigaciones, comercios de atención diurna, oficinas de atención al público, cooperativas, cuentapropistas, entre otros. Por tanto es de gran ayuda ya que a la hora de su mayor consumo se autoabastece gracia al sistema PV.
- Utilizar la fotovoltaica para aumentar sensiblemente el desarrollo industrial del país este elemento se produce al priorizar fábricas e instalaciones productoras de bienes materiales de todo tipo que consumen electricidad, fundamentalmente en horario diurno, lo cual tiende a subir la curva de carga que se consume en horas diurnas; pero también, una gran parte se puede autoconsumir sin incorporarla a la red.

### **1.6 El software PVsystV6.88 para análisis de sistemas PV. Modo de empleo**

Se expone la caracterización del estado inicial del problema investigado y se muestra la herramienta fundamental (*software PVsystV6.88*) a utilizar para el desarrollo de la investigación.

Uno de los softwares fotovoltaicos más antiguos, desarrollado por la Universidad de Ginebra. PVsyst está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores, y también es una herramienta pedagógica muy útil. Podría considerarse como la navaja suiza del software fotovoltaico.

Principales características:

- Diseño completo de sistemas fotovoltaicos remotos.
- Diseño completo de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.
- Base de datos completa de paneles fotovoltaicos, inversores, datos meteorológicos.
- Aplicación 3D útil para simular sombras cercanas.
- Importación de datos de radiación de PVGIS, bases de datos de la NASA.
- Importación de datos de módulos fotovoltaicos de *PHOTON INTERNATIONAL*.
- Evaluación económica y *payback*.
- Exportación de cálculos a archivos CSV.
- Muchas herramientas para simular el comportamiento de los módulos y células fotovoltaicas según la radiación, la temperatura y las sombras.

*PVsyst* incluye una ayuda contextual detallada, que explica los procedimientos y modelos utilizados, ofrece un enfoque ergonómico con guía en el desarrollo de un proyecto. *PVsyst* puede importar datos meteorológicos de muchas fuentes diferentes, así como datos personales. proporciona resultados en forma de un informe completo, gráficos y tablas específicos, así como la exportación de datos para su uso en otro software (Siregar & Hutahuruk, 2020).

Para la realización de esta investigación se utilizó el software *PVsystV6.88* el cual contiene miles de módulos fotovoltaicos, inversores, baterías, generadores y bombas. Estos facilitan el uso de los productos disponibles en el mercado y se actualizan regularmente.

Además, *PVsyst* ofrece una serie de capacidades que nos permiten agregar/importar los módulos fotovoltaicos solares, inversores, etc. más recientes. Si Sunpower lanza un nuevo módulo, por ejemplo, simplemente puede importar el archivo .PAN del módulo a *PVsyst*. (Kumar et al., 2021)

Simulaciones poderosas: *PVsyst* le permite simular su uso de energía en un día determinado en tiempo real y ver el rendimiento general del sistema. Simplemente

haciendo clic, puede averiguar cuánta electricidad usa, cuánta energía recibe su banco de baterías y cuánta electricidad usa cada componente del sistema (Kumar et al., 2021)

*PVsyst* es una pieza de software enormemente poderosa y tampoco la más fácil de aprender. Hay cientos de parámetros que deben ingresarse en una simulación solar. Saber cómo usar el *software* es una cosa. Saber qué entradas alimentar al modelo es otra. Un buen diseñador fotovoltaico sabe que las entradas se basan en buenos datos y hace buenas estimaciones siempre que puede.

Partiendo del consumo electroenergético del área asignada con la ayuda de esta herramienta se busca implementar las ventajas de la energía renovable.

Al utilizar el *software* en su modo prueba el cual se contó con todas sus prestaciones durante un periodo, una de las consecuencias por las cuales no se usa en nuestro país con frecuencia es que en la base de datos geográficos que trae por defecto no aparece ninguna parte de Cuba, problema que se soluciona al entrar a la web a través del *software* y solicitar los datos geográficos y de radiación para la ubicación exacta donde se llevará a cabo la instalación futura.

## **1.7 Conclusiones parciales del capítulo**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

1. Debido al gran avance que existe en el mercado y la alta fiabilidad que presenta, la energía solar fotovoltaica constituye una alternativa viable para contribuir con el ahorro de energía.
2. De convertirnos a largo plazo en una potencia solar, se podrá contribuir no solo a las necesidades nacionales sino también a la exportación.
3. En el mundo las grandes potencias económicas son líderes de la energía fotovoltaica, convirtiéndola en una energía alternativa para un desarrollo sostenible.
4. Para un necesario desarrollo industrial y agropecuario del país, es necesario incrementar la generación de electricidad diurna, de tal forma que el pico de



consumo eléctrico sea extendido durante las horas de sol, aspecto que debemos encarar tecnológicamente y que responde a una gran necesidad económica

## **CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS**

En el presente capítulo se abordan los métodos, materiales y técnicas que se utiliza para dimensionar adecuadamente una instalación fotovoltaica para dar cumplimiento al objetivo de la investigación mediante el desarrollo de la herramienta PVsystV6.88.

### **2.1 Caracterización de la zona.**

La Oficina Provincial de IPROYAZ de Matanzas de la Unidad Empresarial de Base de Ingeniería y Proyectos UEB Occidente se encuentra ubicada en una zona residencial del corredor turístico matancero en Vía Blanca Km 5½, Reparto Canímar, del municipio Matanzas, provincia del mismo nombre.

La edificación cuenta con tres plantas ubicándose las oficinas en estudio en el segundo y tercer piso del ala izquierda de la misma y posee un buen estado constructivo, con todas sus áreas terminadas. Colinda al Norte con Vía Blanca, al Sur con la delegación MINAGRI, al Este con la zona residencial y al Oeste con el Río Canímar.

La unidad radica en el edificio de la Empresa Azucarera Matanzas del Grupo Azucarero AZCUBA; donde también se encuentran otras entidades que pertenecen al sector (DATAZUCAR, ESAZUCAR, Dirección General de la Empresa Azucarera de Matanzas, Sindicato Provincial Azucarero e IPROYAZ). Los servicios de limpieza y comedor son contratados por la Empresa de Servicios ESAZUCAR.

Partiendo de la base de un consumo anual de 137 Mwh, facilitado por la empresa IPROYAZ, se toma como base para diseñar el sistema PV utilizando la herramienta PVsyst (ver anexo 5).

#### **2.1.1 Radiación, selección del recurso solar.**

Cuba se caracteriza por tener una radiación solar promedio de más de 5 kWh/m<sup>2</sup>/día, por lo que al año se tiene por cada m<sup>2</sup> de superficie 1 825 kWh/m<sup>2</sup>, con una variabilidad aproximada de ± 10% a lo largo y ancho de la isla, aspecto muy positivo, a diferencia de otras latitudes mayores. La componente directa de la radiación está entre un 65% y 80%,

siendo la componente difusa relativamente alta, lo que enriquece el espectro solar en las longitudes de onda del azul.

En el territorio cubano, con un poco más de 110 mil km<sup>2</sup> (sin contar los mares adyacentes), se recibe una radiación solar equivalente a 50 millones de toneladas de petróleo cada día, con un valor energético mayor que todo el petróleo que se consume durante cinco años; ya que se recibe 1 800 veces más energía solar que el petróleo que consume.

Por las condiciones climatológicas del territorio, su ubicación y características, es frecuente que en las tardes exista una mayor probabilidad de nublados con relación a las horas de la mañana, lo que provoca una disminución de la incidencia solar en horas de la tarde. Aun así, y debido al valor de la irradiación solar, Cuba cuenta con un alto potencial para la explotación de esta fuente renovable (Novygrad, 2019)

### **2.1.2 Orientación e inclinación del generador.**

El generador fotovoltaico deberá contar con una orientación e inclinación particularmente adaptadas al lugar y a la aplicación. Nuevamente, la orientación siempre será hacia el Sur en el hemisferio Norte y hacia el Norte en el hemisferio Sur.

La inclinación depende no sólo de la latitud sino también del perfil del consumo, la radiación incidente en el lugar donde va situada la instalación, el cielo solar, donde influye la sombra de objetos que no pueden ser eliminados, como edificios, montañas, entre otros.

Se tienen en cuenta, además, las características de la instalación: si es única o híbrida, autónoma o acoplada a la red y el objetivo de la instalación, lo que define el régimen de uso y de consumo. El efecto de la selección de un ángulo de inclinación óptimo es equivalente a una modificación del ángulo de incidencia de la radiación solar para lograr la máxima captación.

A pesar que los sistemas fotovoltaicos presentan un bajo rendimiento, mediante la correcta selección del ángulo de inclinación se puede obtener una mayor eficiencia,

debido a que se alcanza una mayor captación del recurso y un mínimo de pérdidas, alcanzando mejores resultados desde el punto de vista energético y económico.

Así, para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, el objetivo es maximizar la radiación en los meses de menor insolación y por tanto la inclinación debe ser  $\beta = |\varphi| + 10^\circ$ . Para instalaciones con consumo menor en los meses de baja radiación se busca maximizar la radiación en los equinoccios y de ahí que  $\beta = |\varphi|$  (igual a la latitud). Finalmente, para instalaciones con uso predominante en verano conviene emplear un ángulo inferior a la latitud,  $\beta = |\varphi| - 10^\circ$ . En general, la inclinación debe superar los  $15^\circ$  para conseguir que la lluvia pueda desplazar la suciedad acumulada en los paneles. (Lamigueiro, 2013) La eficiencia de estos sistemas depende directamente de la radiación existente en el lugar donde se encuentra la instalación. Asimismo, la cantidad de radiación será mayor cuando el plano del panel esté completamente perpendicular a la fuente de luz (Novygrad, 2019).

### **Ángulo de inclinación $\beta$ .**

Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es  $0^\circ$  para módulos horizontales y  $90^\circ$  para verticales (Novygrad, 2019).

### **Ángulo de azimut $\alpha$ .**

Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son  $0^\circ$  para módulos orientados al Sur,  $-90^\circ$  para módulos orientados al Este y  $+90^\circ$  para módulos orientados al Oeste (Novygrad, 2019).

## **2.2 Metodología para el dimensionado de la instalación.**

### **2.2.1 Cálculo de las horas de sol pico.**

El método de cálculo seleccionado se basa en las horas de sol pico que consiste en la relación que hay entre la sumatoria de la radiación total a lo largo del día dividido entre  $1000 \text{ W/m}^2$ , que es la cantidad máxima de radiación que puede incidir sobre la superficie terrestre. La ecuación se expresaría de la siguiente forma:

$$hsp = \frac{\sum_{i=1}^n radiacion}{1000} \quad (2.1)$$

Dónde:

Radiación [Wh/m<sup>2</sup>]

hsp – horas solares pico

### **2.2.2 Determinación de la energía total generada por día por los paneles fotovoltaicos.**

La productividad es otro aspecto a considerar en aras de obtener la potencia fotovoltaica necesaria para cubrir la carga. Esta no es más que un indicador que permite simplificar el cálculo de la energía generada. En este cálculo se tendrá en cuenta las horas del sol pico, la potencia generada por cada panel y el número total de paneles. Se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$E_{tg} = hsp * P_{np} * N_{tp} \quad (2.2)$$

Dónde:

E<sub>tg</sub> – energía total generada [kWh]

hsp - tiempo equivalente del día en el que el panel recibe 1kW/m<sup>2</sup> de radiación solar u horas de sol pico [h/día].

P<sub>np</sub> - potencia nominal del panel [W].

N<sub>tp</sub> - Número total de paneles.

### **2.2.3 Selección del número de módulos fotovoltaicos a instalar.**

### **2.2.4 Método de potencia.**

$$Np = \frac{Ev*1.3}{hsp*Pnp} \quad (2.4)$$

Dónde:

$N_p$  – número total de módulos

$E_v$  – energía diaria consumida por los ventiladores [Wh]

$F_s$  – factor de seguridad (1,3 - sobredimensionado de 30%)

$h_{sp}$  – horas solar pico (mes peor) [h]

$P_{np}$  – potencia individual por paneles [Wp] (Novygrad, 2019).

## 2.3 Pasos para diseñar el sistema PV en el software:

1. Al abrir el programa, seleccionar diseño del proyecto (figura 1)



Figura 1. Ventana inicial del software. Fuente PVsystV6.88

2. Clic en conectar a la red.

3. Se coloca la ubicación en la cual instalaremos los módulos fotovoltaicos (este paso requiere conexión a internet para a través de su mapa interactivo acceder a las coordenadas geográficas) y damos importar. (figura 2)

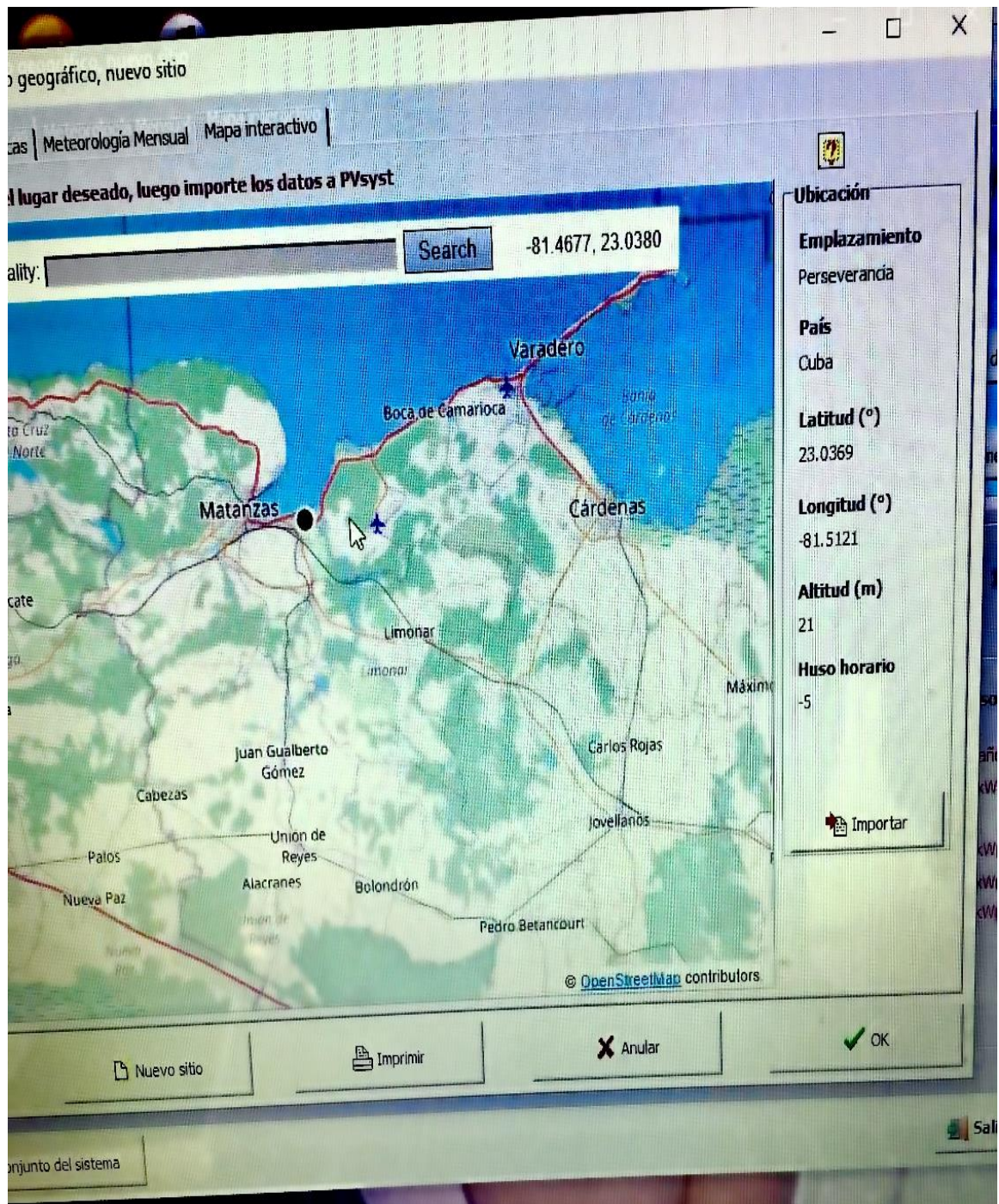


Figura 2. Ventana de mapa interactivo. Fuente PVsystV6.88



4. Se selecciona el archivo meteorológico antes descargado (figura 3)

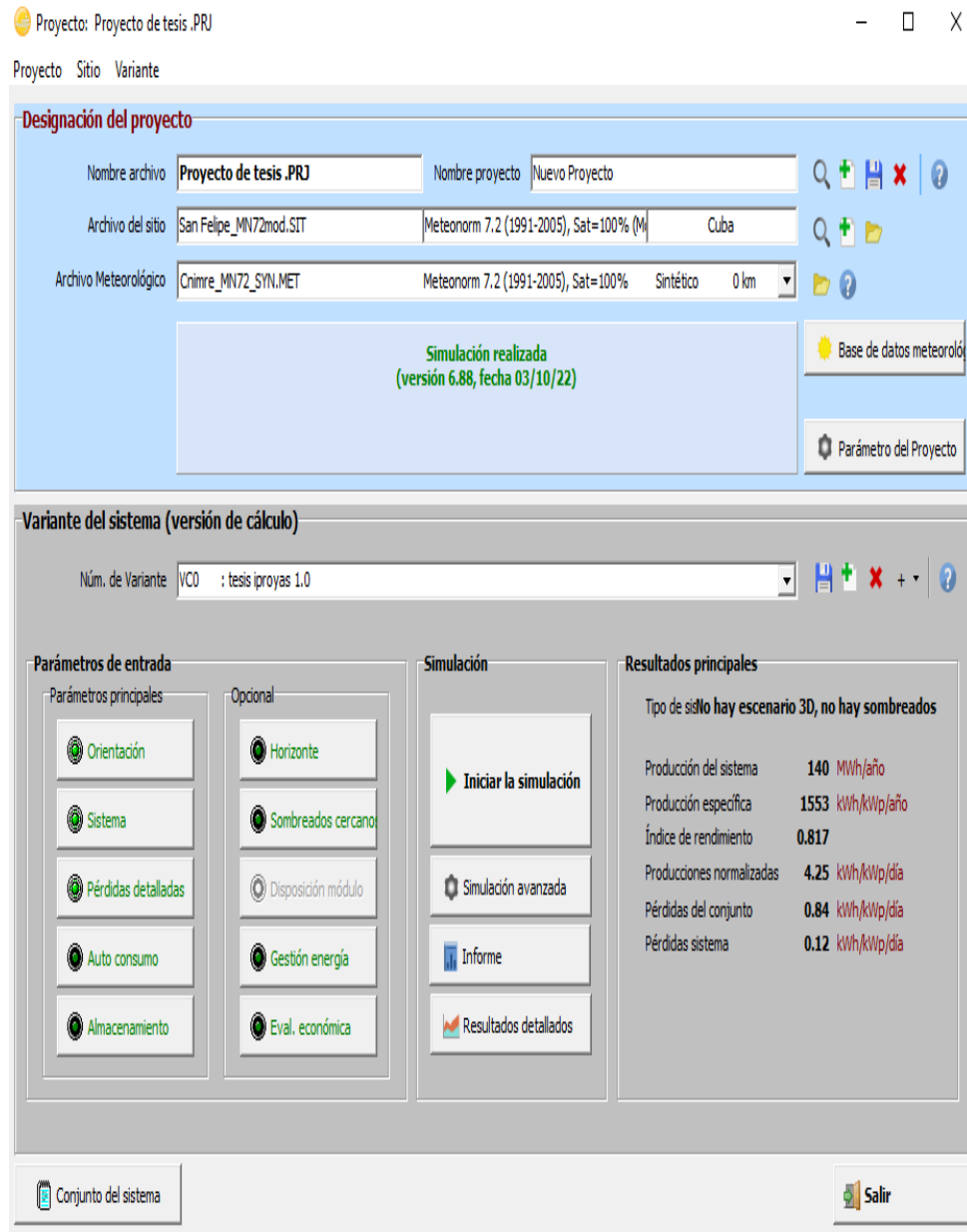


Figura 3. Ventana de diseño del proyecto. Fuente PVsystV6.88

5. Se salva el proyecto.
6. Clic a la opción orientación (en esta se selecciona el grado de inclinación del sistema (figura 3))



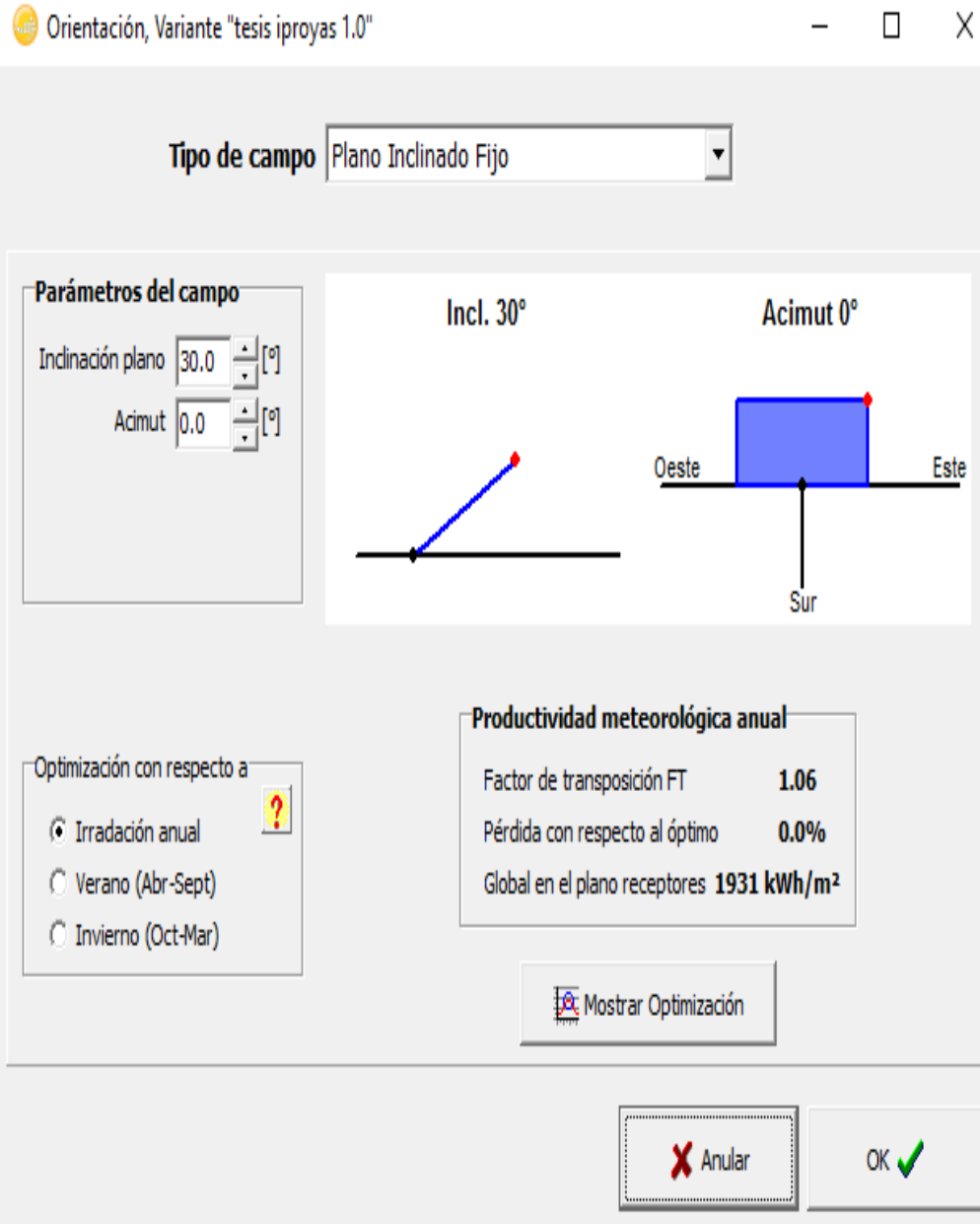


Figura 4. Ventana de orientación. Fuente PVsystV6.88

7. Se abre la opción sistema en la cual se introduce la potencia nominal deseada, en esta misma ventana se escoge el tipo de módulo fotovoltaico y un inversor correspondiente a la demanda (figura 5). Al seleccionar los módulos fotovoltaicos a utilizar el software brinda una gran ayuda para seleccionar su inversor

correspondiente ya que indica si está correcto, sobredimensionado o no cumple con los requisitos.

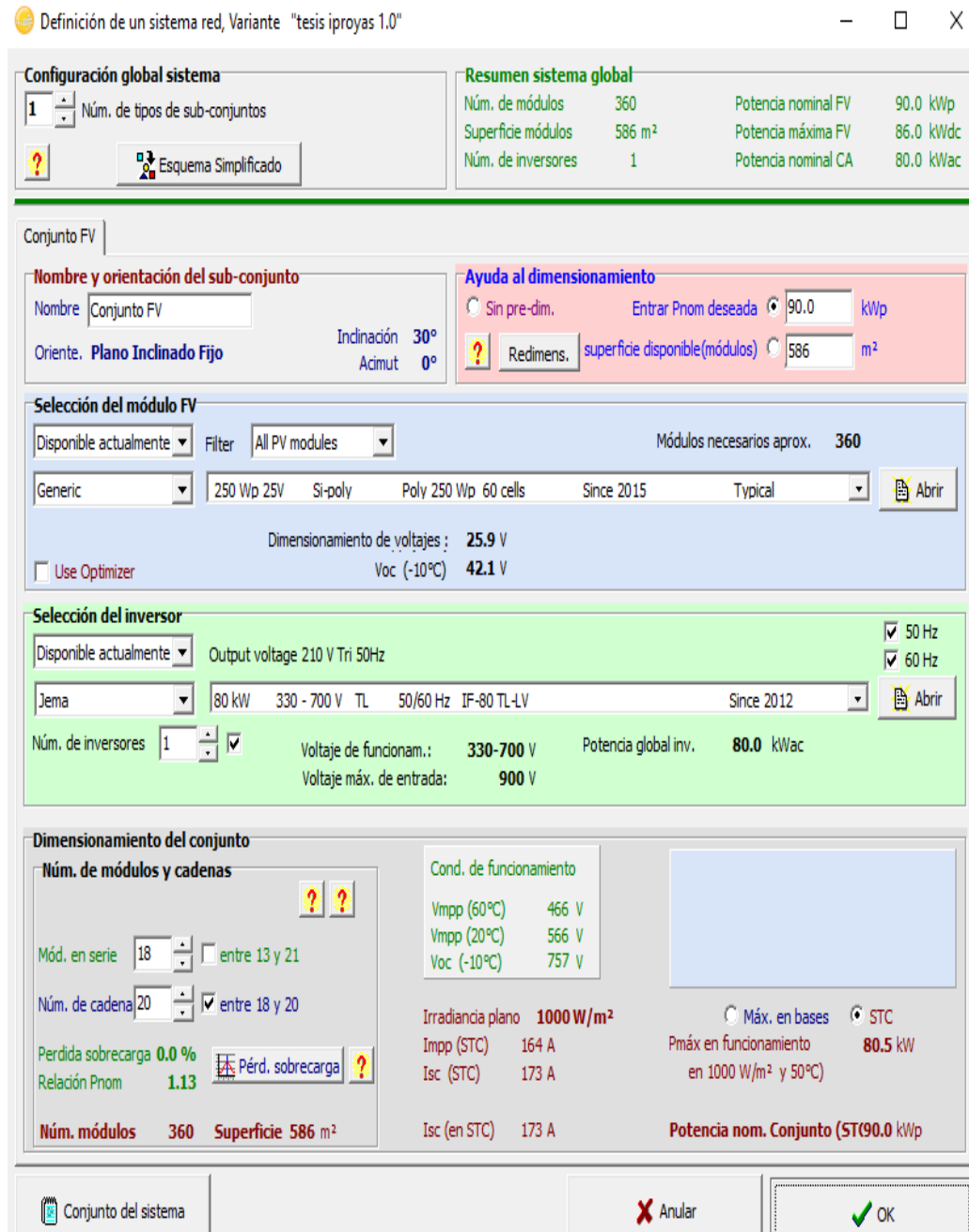


Figura 5. Ventana de orientación. Fuente PVsystV6.88

8. Cerrar la ventana pulsando ok.
9. A continuación llevar a cabo la simulación

10. Para revisar los resultados obtenidos se presiona la opción informe y se guarda en formato de pdf

## 2.4 Impacto ambiental del diseño fotovoltaico propuesto

Teniendo en cuenta los objetivos que se persiguen con la implementación de la tecnología fotovoltaica resulta factible, después de realizado el diseño de la instalación, analizar los beneficios económicos y medioambientales que esta aporta, dado la necesidad de atenuar el uso de los combustibles fósiles y de mitigar de esta manera los efectos de la contaminación ambiental.

De ahí la importancia de valorar la inserción de esta tecnología en la matriz energética nacional, teniendo en cuenta la reducción de CO<sub>2</sub> que se obtiene con su implementación.

Al realizar el análisis energético, se puede determinar la cantidad de combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, y se calcula mediante la expresión:

$$\text{Combustible ahorrado} = \frac{E \cdot g}{1000} \quad (2.5)$$

Dónde:

E – energía consumida [kWh/año]

G – consumo específico de combustible (se toma el de los grupos electrógenos, escogiendo la peor condición, o sea, aquel que ahorrará menos y es igual a 236 g/ kWh.

Se puede obtener la cantidad de CO<sub>2</sub> dejado de emitir a la atmósfera, haciendo uso de la expresión:

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = \frac{\text{Combustible ahorrado} \cdot k}{\rho} \quad (2.6)$$

Dónde:

k - Coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO<sub>2</sub> no vertidas a la atmósfera (3,119 kg/l). (Novygrad, 2019)

ρ - Densidad del combustible (0,9781 kg/l). (Novygrad, 2019)

## 2.5 Análisis económico

### 2.5.1 Costo total de la inversión inicial.

Un indicador muy importante para la realización del análisis económico es el costo total de la inversión inicial, pues es la base para el cálculo de los demás indicadores y se calcula de la forma siguiente:

$$CI = C_{mon} + C_{inv} \quad (2.7)$$

Dónde:

$C_{inv}$  - Costo de la inversión [\$]

$C_{mont}$  - Costo del montaje [\$]

El costo de la inversión y montaje se obtiene del proveedor.

### 2.5.2 Movimiento de fondos.

El movimiento de fondos de una inversión consiste en determinar en cada uno de los períodos en que se dividió el horizonte, cuántos cobros y cuántos pagos se realizan. Para facilitar su confección y análisis se realizará este movimiento en forma de tablas a partir del momento en que se debe culminar la inversión; la resultante de esta tabla va a ser el movimiento de fondos, y se confecciona por períodos, teniendo en cuenta que todo lo que se ahorra se cobrará a más tardar al finalizar el año, y lo que se compra se pagará a más tardar al finalizar el año.

El valor resultante puede ser positivo o negativo, el valor positivo es lo que se desea; el valor negativo significa que la inversión no es recuperable en el horizonte determinado, esto ocurre generalmente cuando el valor de la producción que se logra con la inversión se encuentra por debajo del punto de isorentabilidad de la empresa.

La depreciación se calcula como tiene normado el país, y se encuentra regulado por el fisco, un 10 % anual del costo de la inversión; sustituyendo en la siguiente ecuación se obtiene el valor de la depreciación para cada variante:

$$D = 0.10 * CI \quad (2.8)$$

Para el cálculo del movimiento de fondos en los costos fijos se tiene en cuenta la depreciación del equipamiento, su falta de inclusión falsearía los resultados, el resto de los costos fijos y variables son los mismos, debido a que se mantienen los mismos operadores y no se introduce ningún consumidor extra de agua ni de electricidad, por lo que al no sufrir ninguna variación no se incluyen en el movimiento de fondos. El total de cobros no son más que los ahorros que se pueden lograr.

### 2.5.3 Período de recuperación de la inversión.

Se calcula en función de los costos y los ingresos promedios anuales durante el horizonte analizado; para ello se utilizó la siguiente ecuación adaptada para una inversión que va a durar menos de un año; además tiene en cuenta que todos los cobros y los pagos anuales son iguales.

$$Tri = \frac{CTI}{[\text{Cobros} - \text{Pagos} * (Ib + 1)] * (1 - Isr)} \quad (2.9)$$

Dónde:

Tri - período de recuperación de la inversión [años]

Ib - Intereses a pagar por préstamos en el año k o intereses dejados de cobrar por extraer dinero del banco.

n - Horizonte analizado.

Isr - Impuesto sobre la renta, es la parte de lo ahorrado que se paga cómo impuesto a la ganancia de la empresa.

#### 2.5.4 Valor actual neto.

Este criterio tiene en cuenta que el dinero invertido pierde valor con el tiempo, debido fundamentalmente al interés bancario. En su cálculo se actualizan todos los flujos de fondo de un año base, y se compara el flujo equivalente, si es mayor que cero es económico realizar la inversión, ya que permite obtener una mayor cantidad que el dinero invertido inicialmente. Todos los cálculos se realizan sobre la base de un interés conocido.

Su ecuación es la siguiente:

$$VAN = \sum \frac{St * k}{(1+i)^k} \quad (2.10)$$

Dónde:

St - Movimiento de fondos [\$]

k - Período analizado (en este caso el año)

#### 2.5.5 Tasa interna de retorno.

Consiste en la tasa de interés calculada cuando la ecuación del valor actual neto se iguala a cero. Se aplica generalmente para determinar qué interés máximo se debe aceptar de los créditos propuestos o existentes en el mercado financiero; o sea, cualquier interés de crédito o préstamo menor que el calculado es aceptable para realizar la inversión. Se calcula despejando el interés de la siguiente ecuación.

$$0 = \sum \frac{St * k}{(1+Tir)^k} \quad (2.11)$$

Dónde:

TIR - Tasa interna de retorno, en fracción.

En este análisis se debe tener en cuenta el costo de la instalación, el aporte útil energético de la instalación, el ahorro energético, el respaldo energético.

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este capítulo tiene como fin dar respuesta a la metodología planteada en el capítulo anterior, analizar los resultados calculados, determinar el número de componentes para la instalación, realizar la correcta selección del dimensionado, así como analizar los valores energéticos que posibiliten la protección del medio ambiente.

### 3.1 Análisis de la energía generada.

La energía producida por el arreglo fotovoltaico satisface plenamente la exigencia energética de los bloques del sistema energético de la empresa, siendo tal arreglo planificado, se genera 138 000 kWh anualmente, mientras que la demanda es de 137 200 kWh (figura 3.1).

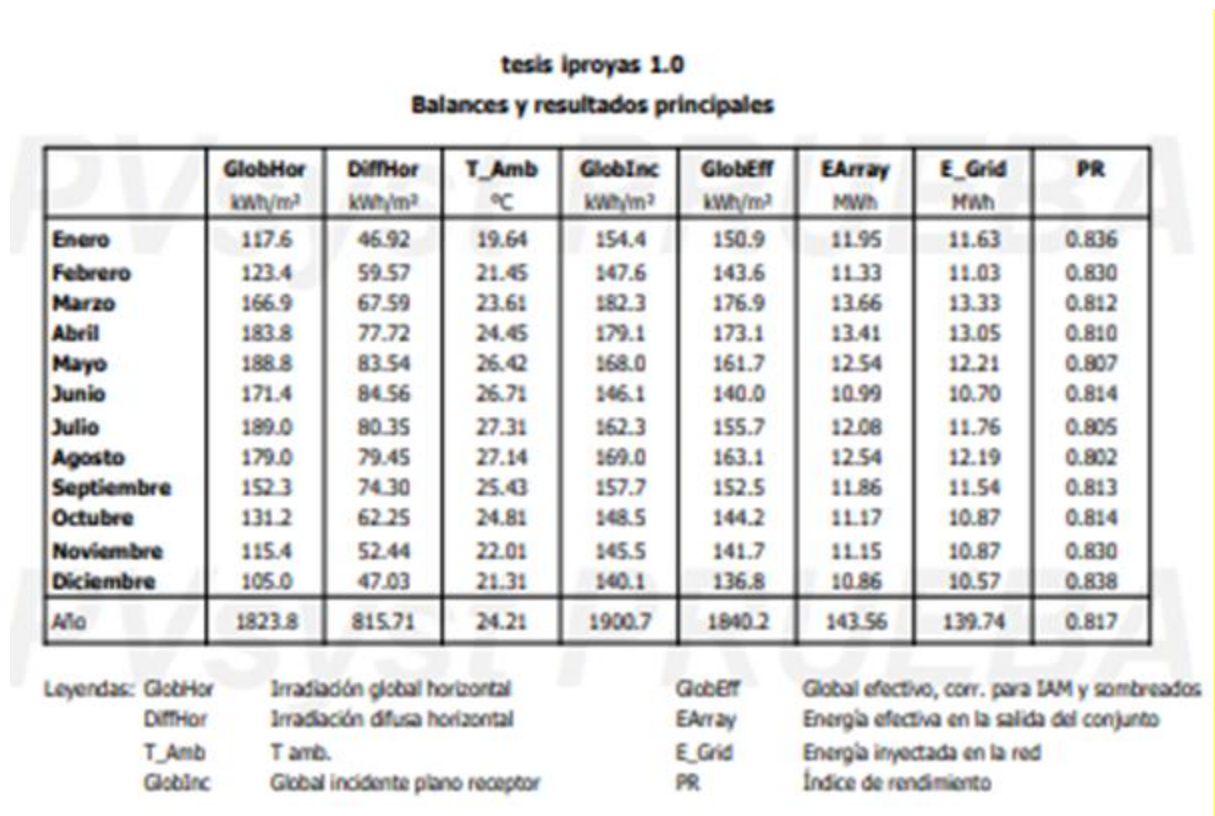


Figura 3.1. Radiación solar sobre el plano inclinado y productividad específica mensual a 30°.



Se ahorra anualmente 432 000 CUP que a su tasa de cambio por empresa equivale 18 000 USD, siendo esta una cifra considerable, y más significativa aún las 32.4 toneladas de combustible que no serán quemadas favoreciendo así la protección y cuidado del medio ambiente, esto trae como consecuencia que se deje de emitir a la atmosfera 103.4 toneladas de CO<sub>2</sub>. Lo cual está es considerado como otro paso en favor de la preservación ambiental.

*Tabla 3.2. Promedio de incidencia aprovechable diaria en cada mes [h] (Nasa Surface Meteorology and Solar Energy, 2018)*

Valores de las horas de sol pico en los meses del año.	
Mes	Tiempo promedio aprovechable del día [h]
Enero	4,11
Febrero	5,05
Marzo	6,03
Abril	7,03
Mayo	7,14
Junio	6,78
Julio	7,08
Agosto	6,81
Septiembre	5,91
Octubre	5,07
Noviembre	4,18
Diciembre	4.03

### **3.2 Análisis económico de los resultados.**

Mediante el cálculo asistido por *Excel* se determina que el tiempo en que se recupera la inversión aproximadamente será de 12 años (figura 5).

El costo total de la instalación fotovoltaica es aproximadamente 1 000 USD/Kwp para 90 Kwp será de 90 000 USD (Novygrad, 2019).

Tri =	12,00	años	<b>Datos</b>	
VAN =	8872,55	\$	Tasa de interes	% 2
TIR =	7,80	%	Impuesto sobre renta	% 15
			Costo de inversión	\$ 90000,00
			Ahorro	\$/año 18000

Figura 5. Resultados económicos. Fuente Excel asistido.

### 3.3 Resultados obtenidos con la simulación del software PVsystV6.88

Tabla 3.2. Resultados del sistema fotovoltaico a instalar.

<i>Indicaciones de la simulación</i>	<i>Resultados</i>
<i>Orientación Campos FV</i>	<i>inclinación 30°</i>
<i>Módulos FV</i>	<i>Poly 250 Wp 60 cells Pnom 250 Wp</i>
<i>Conjunto FV</i>	<i>360 paneles de Pnom total 90.0 Kwp</i>
<i>Inversor</i>	<i>IF-80 TL-LV Pnom 80.0 kW ac</i>
<i>Necesidades del usuario</i>	<i>Conectado a la red</i>
<i>Producción del sistema</i>	<i>139.7 Mwh/año</i>

<i>Índice de rendimiento</i>	<i>81.69</i>
------------------------------	--------------

Con la simulación del sistema fotovoltaico en el software se obtuvieron otros resultados los cuales aportan un poco más a la vital utilización del mismo en los diseños de proyectos fotovoltaicos (Ver anexos).

## CONCLUSIONES

1. La demanda energética de la empresa se satisface con la instalación de 360 paneles fotovoltaicos de 250 Wp.
2. Con la propuesta la empresa se ahorra 137 Mwh anuales para un monto económico de 432 000 CUP.
3. La inversión del campo fotovoltaico se recupera en 12 años, lo que demuestra su factibilidad económica teniendo en cuenta la vida útil de los paneles de 30 años.
4. Las modificaciones propuestas ejercen un impacto ambiental positivo sobre el medio ambiente al disminuir la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero en 103,4 toneladas de CO<sub>2</sub>, ya que dejan de consumir 32,4 toneladas de combustible fósil.

## **RECOMENDACIONES**

1. Implementar el funcionamiento de parques solares fotovoltaica en el país.
2. Llevar a cabo la ejecución de la propuesta realizada según el presupuesto de inversión de la empresa.
3. Capacitar al personal relacionado con la actividad de explotación y mantenimiento de la instalación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aqachmar, Z., Ben Sassi, H., Lahrech, K., & Barhdadi, A. (2021). Solar technologies for electricity production: An updated review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(60), 30790-30817. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.190>
- Autores, C. d. (2010). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos* UNIVERSIDAD DE JAÉN].
- Breyer, C., Bogdanov, D., Khalili, S., Keiner, D. J. E. o. S. S., Technology, Meyers, R., Ed., & Springer: New York, N., USA. (2021). Solar photovoltaics in 100% renewable energy systems. 1-30.
- Castro, M., & Vilaragut, M. J. D. D. S. E. C. (2022). III. 2. Historia y necesidades de desarrollo futuro de la red electroenergética cubana. 66.
- de Rozas, M. L. F. S., & Korkeakoski, M. J. F. E. E. C. (2022). II. 6. Panorama de la política energética cubana: del pas-ado al futuro. 134.
- Kumar, N. M., Chopra, S. S., de Oliveira, A. K. V., Ahmed, H., Vaezi, S., Madukanya, U. E., & Castañón, J. M. (2020). Chapter 3 - Solar PV module technologies. In S. Gorjian & A. Shukla (Eds.), *Photovoltaic Solar Energy Conversion* (pp. 51-78). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00003-X>
- Kumar, R., Rajoria, C., Sharma, A., & Suhag, S. J. M. T. P. (2021). Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software: A case study. 46, 5322-5328.
- Lamigueiro, O. P. J. C. C. e. E. p. (2013). Energía solar fotovoltaica.
- Lweis, N. S. N., Daniel G. (2009). Poweringtheplanet:Chemicalchallengesinsolar energy utilization. *PNAS*.
- Novygrad, D. S. (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba* (D. M. G. Medina, Ed.). <http://www.cubasolar.cu>
- Parida, B., Iniyán, S., Goic, R. J. R., & reviews, s. e. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. 15(3), 1625-1636.
- Richhariya, G., Kumar, A., & Samsher. (2020). Chapter 2 - Solar cell technologies. In S. Gorjian & A. Shukla (Eds.), *Photovoltaic Solar Energy Conversion* (pp. 27-50). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00002-8>
- Righini, G. C., & Enrichi, F. (2020). Chapter One - Solar cells' evolution and perspectives: a short review. In F. Enrichi & G. C. Righini (Eds.), *Solar Cells and Light Management* (pp. 1-32). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102762-2.00001-X>
- Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., & Unamunzaga Falcón, P. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. In: InstitutoTecnológico de Canarias.
- Siregar, Y., & Hutahuruk, Y. (2020). Optimization design and simulating solar PV system using PVSyst software. 2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM),
- Solar, E. (2019). Energía solar fotovoltaica. In: Obtenido de ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: [http://www.greenenergylatinamerica ...](http://www.greenenergylatinamerica...)

## ANEXOS

### Anexo 1. Parámetros de la simulación

#### Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

<b>Proyecto :</b>		<b>Nuevo Proyecto</b>							
<b>Sitio geográfico</b>	<b>San Felipe</b>	<b>País</b>	<b>Cuba</b>						
<b>Ubicación</b>	Latitud	23.04° N	Longitud	-81.50° W					
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	31 m					
	Albedo	0.20							
<b>Datos meteorológicos:</b>	<b>San Felipe</b>	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético							
<b>Variante de simulación : tesis iproyas 1.0</b>									
	Fecha de simulación	03/10/22 15h12							
<b>Parámetros de la simulación</b>	<b>Tipo de sistema</b>	<b>No hay escenario 3D, no hay sombreados</b>							
<b>Orientación plano captador</b>	Inclinación	30°	Acimut	0°					
<b>Modelos empleados</b>	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm					
<b>Horizonte</b>	Sin horizonte								
<b>Sombreados cercanos</b>	Sin sombreado								
<b>Necesidades del usuario :</b>	Carga ilimitada (red)								
<b>Características del conjunto FV</b>									
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>Poly 250 Wp 60 cells</b>						
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Generic						
Número de módulos FV		En serie	18 módulos	En paralelo	20 cadenas				
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	360	Pnom unitaria	250 Wp				
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	<b>90.0 kWp</b>	En cond. de funciona.	80.5 kWp (50°C)				
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	491 V	I mpp	184 A				
Superficie total		Superficie módulos	<b>586 m²</b>	Superficie célula	525 m²				
<b>Inversor</b>									
		Modelo	<b>IF-80 TL-LV</b>						
Base de datos PVSyst original		Fabricante	Jema						
Características		Voltaje de funcionam.	330-700 V	Pnom unitaria	80.0 kWac				
Paquete de inversores		Núm. de inversores	1 unidades	Potencia total	80 kWac				
				Relación Pnom	1.13				
<b>Factores de pérdida del conjunto FV</b>									
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s				
Pérdida óhmica en el Cableado		Res. global conjunto	51 mOhm	Fración de pérdidas	1.5 % en STC				
Pérdida Calidad Módulo				Fración de pérdidas	-0.8 %				
Pérdidas de "desajuste" Módulos				Fración de pérdidas	1.0 % en MPP				
Pérdidas de "desajuste" cadenas				Fración de pérdidas	0.10 %				
Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Fresnel, vidrio normal, n = 1.526									
	0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
	1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

## Anexo 2. Resultados principales

PVSYST V6.88

03/10/22

Página 2/4

### Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

**Proyecto :** Nuevo Proyecto

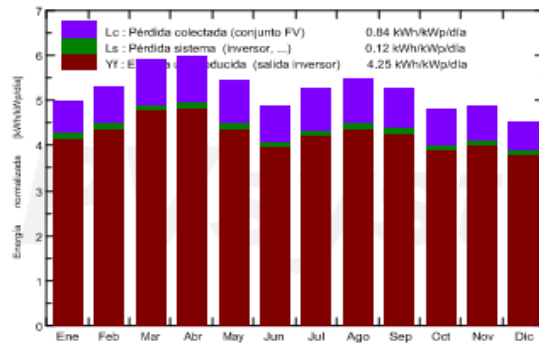
**Variante de simulación :** tesis iproyas 1.0

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados	
Orientación Campos FV		inclinación	30°	acimut 0°
Módulos FV		Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom 250 Wp
Conjunto FV		Núm. de módulos	360	Pnom total <b>90.0 kWp</b>
Inversor		Modelo	IF-80 TL-LV	Pnom 80.0 kW ac
Necesidades del usuario		Carga ilimitada (red)		

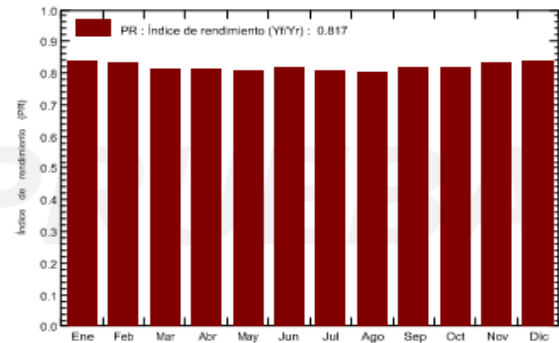
#### Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	Energía producida	139.7 MWh/año	Produc. específica	1553 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	81.69 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 90.0 kWp



Índice de rendimiento (PR)

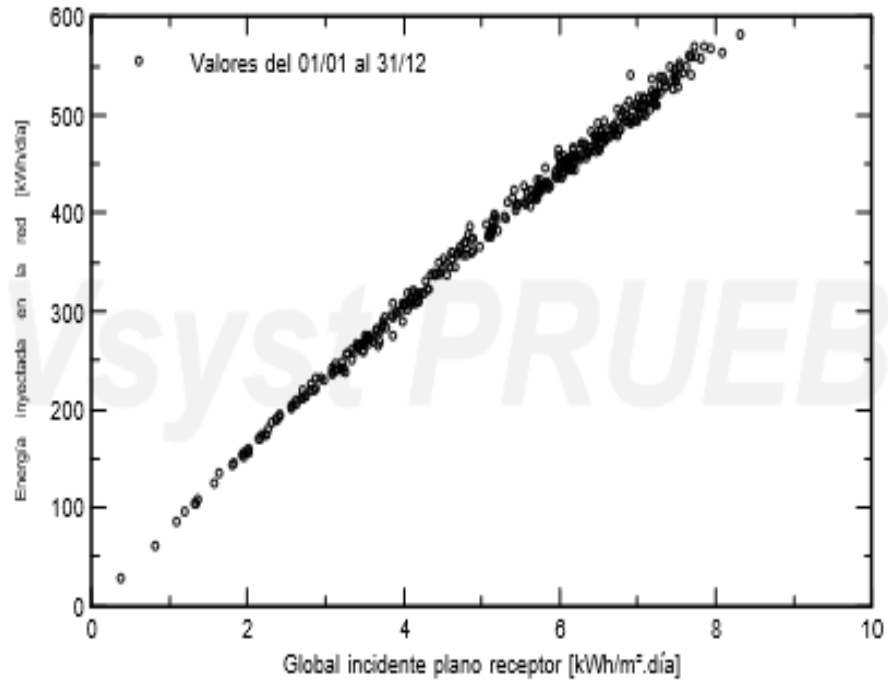


tesis iproyas 1.0  
Balances y resultados principales

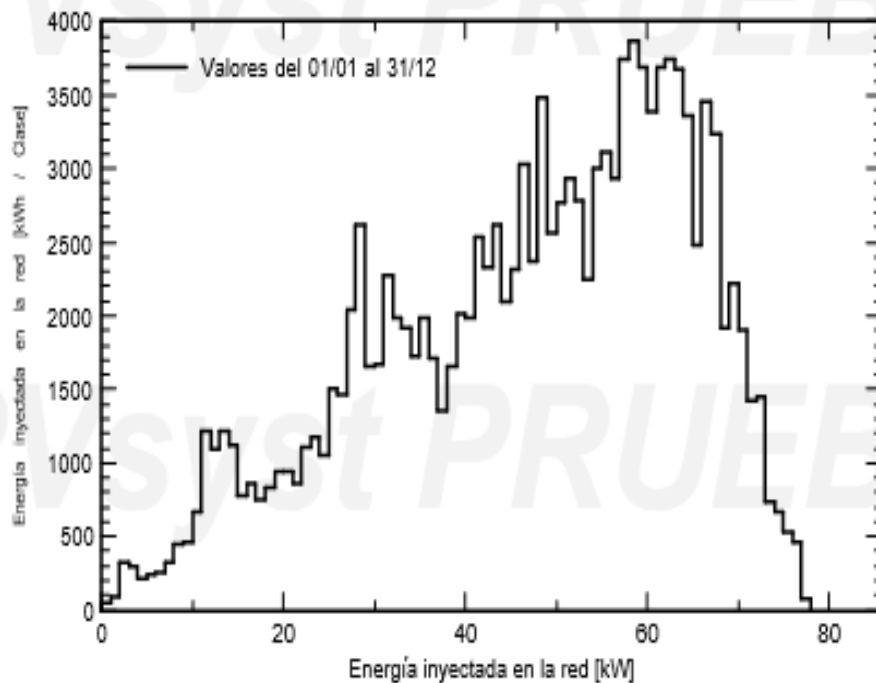


### Anexo 3. Diagramas de potencia

Diagrama entrada/salida diaria

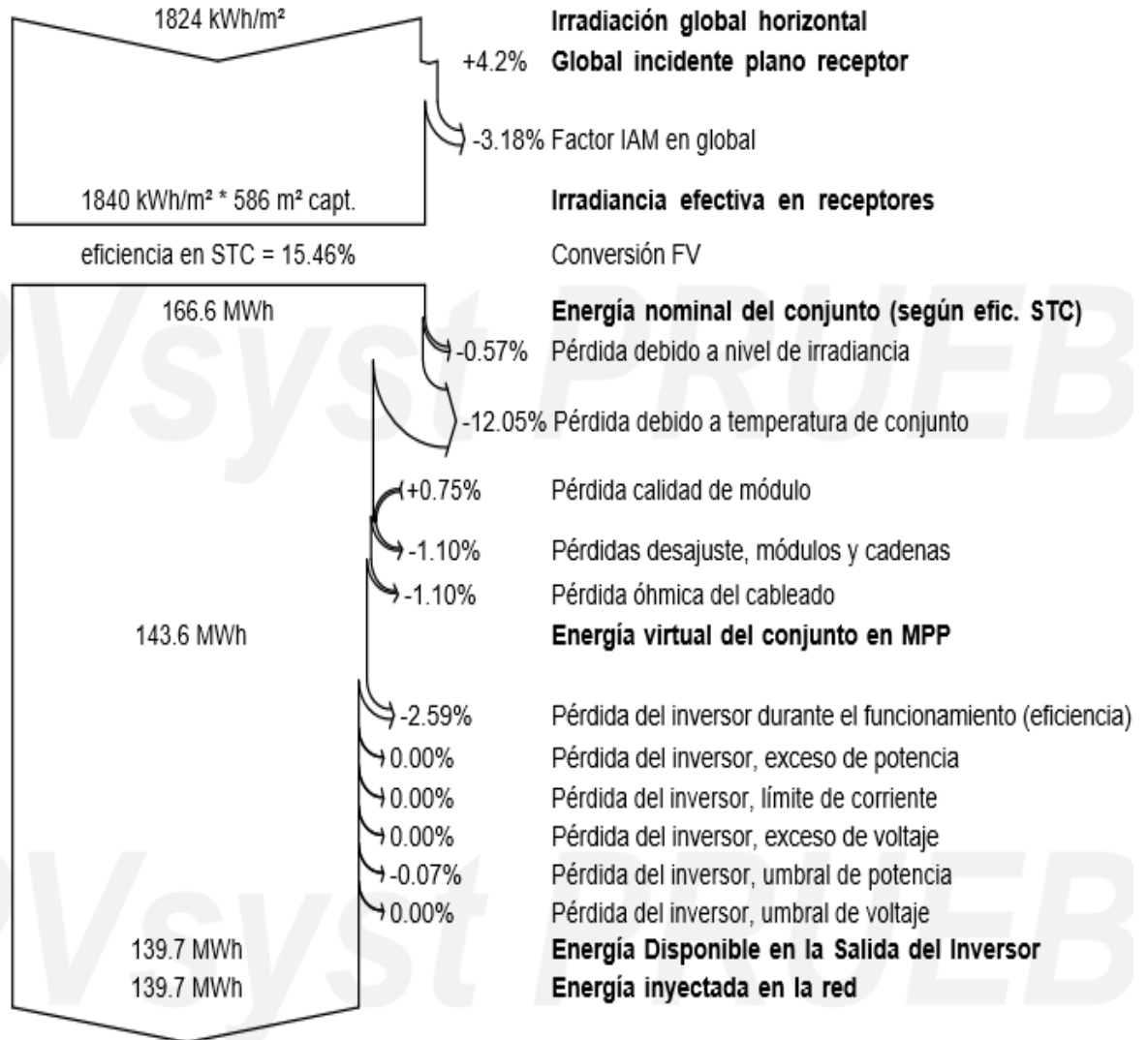


Distribución de la potencia de salida del sistema



## Anexo 4. Pérdidas del sistema

Diagrama de pérdida durante todo el año



**Anexo 5. Consumo anual de AZCUBA**

<b>ACTUALIZACION DE LOS INDICES DE OPERACIÓN.</b>		
<b>INDICES.</b>	<b>ANTES DEL ESTUDIO</b>	<b>DESPUES DEL ESTUDIO.</b>
Consumo de Energía Eléctrica Anual (kWh)	191381,00	137200,00
Actividad Anual de la Entidad (?)	2.733.471,70	2.047.004,76
Ind. de Consumo (kWh/)	0,70	0,71
Capacidad de Carga Instalada (kVA)	137,50	137,50
Capacidad de Carga Conectada (kVA)	137,50	137,50