REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
SEDE "CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ"

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

Trabajo de Diploma

Título:

Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico para hotel universitario de posgrado.

Autor:

Higino Edmilson H. Dala

Tutores:

Ing. Carlos Hernández Morales

Dr.C. José P. Monteagudo Yanes

"Año 62 de la Revolución"

Cienfuegos 2020.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

_____

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

_____
Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

_____ _____
Nombre y Apellidos. Firma. Firma del Tutor.

Vice Decano.

_____
Nombre y Apellidos. Firma.
Sistema de Documentación y Proyecto.

Pensamiento

Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que le antecedió: es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente, hasta el día en que vive: es ponerlo a nivel de su tiempo, para que flote sobre él, y no dejarlo debajo de su tiempo, con lo que no podrá salir a flote; es preparar al hombre para la vida.

José Martí

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mis padres por la educación que han dado y por hacerme el hombre que soy y por contribuir en el proceso de mi formación académica, también lo dedico a mis hermanos por tomarme como ejemplo y por haberme confiado siempre.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer al señor Dios todo poderoso por haberme dado la vida y la sabiduría necesaria para realizar este sueño.

A mis tutores Ing. Carlos Hernández Morales y Dr.C. José P. Monteagudo Yanes que me han ayudado y han sido pacientes y dedicados conmigo.

A mis padres y mis hermanos por el amor y cariño incondicional que siempre sintieron por mí.

A mis maestro y colega que me ayudaron y contribuyeron en mi formación intelectual y profesional.

A Lazara Clemente Pérez (Mamy Lachi) por el amor y cariño de madre que siempre ha demostrado por mí.

A mi novia por la fuerza que me ha dado de seguir adelante.

A mis compañeros de la beca por el amor y cariño incondicional que tuvieron por mí en el transcurso de mi carrera.

Resumen

El presente trabajo aborda las ventajas de utilización de los sistemas solares de energía en el Hotel Universitario de Posgrado de la Universidad de Cienfuegos ubicado en su sede Carlos Rafael Rodríguez, caracterizado este por un alto consumo de energía eléctrica y tener, producto de los servicios que ofrece, características muy particulares en cuanto a la demanda eléctrica en los diferentes meses del año. Dispone además de gran área de cubierta de techo que pueden ser utilizada para esos fines, evitando el uso de áreas de terrenos que pueden ser empleadas en otros menesteres.

Conocidas las características y dimensiones del edificio se logró mostrar mediante simulación los valores de generación eléctrica que puede ofrecer el área de su techo. Esto se evaluó con diferentes condiciones de posicionamiento de los paneles sobre la superficie y los resultados de la generación se desglosaron en diferentes períodos de tiempo todo esto utilizando simulación mediante el software PVsyst. Se estudiaron las posibilidades de satisfacer parte del consumo energético de este edificio a partir del sistema solar fotovoltaico propuesto. Esto repercutió en un ahorro energético de 69520 kWh/año lo que representa el 52.05 % del consumo anual del edificio. La contribución económica arroja anualmente 14732.65 pesos MT.

El proyecto propuesto garantiza, además, a futuro, la opción de implementación de fuentes renovables de energía para todo el campus universitario y de qué forma puede repercutir la generación sobre las condiciones de vida y la economía de la universidad.

Palabras clave: fotovoltaica; UCF; PVsyst; hotel universitario; energía solar

Summary

This work deals with the advantages of using solar energy systems at the Postgraduate University Hotel of the University of Cienfuegos, located at its Carlos Rafael Rodríguez headquarters and characterized by high electricity consumption and having, as a result of the services that offers very particular characteristics in terms of electricity demand in different months of the year. It also has a large roof covering area that can be used for these purposes, avoiding the use of land areas that can be used for other purposes.

Once the characteristics and dimensions of the building were known, it was possible to simulate the photovoltaic electricity generation values that the roof area can offer. This was evaluated with different conditions of positioning of the panels on the surface and the results of the generation were broken down in different periods of time, all this using simulation by the PVsyst software. The possibilities of satisfying part of the energy consumption of this building from the proposed photovoltaic solar system were studied. This had an impact on an energy saving of 69520 kWh / year, which represents 52.05% of the building's annual consumption. The economic contribution annually yields 14732.65 pesos.

The proposed project also guarantees, in the future, the option of implementing renewable energy sources for the entire university campus and in what way solar generation can impact on the university's living conditions and economy.

KEY WORDS: *photovoltaic; UCF; PVsyst; university hotel; solar energy.*

Contenido

Introducción 1
Problema científico: 2
Hipótesis: 2
Objetivo general: 2
Objetivos específicos: 3
Capítulo 1. Sistemas solares fotovoltaicos. Sistemas instalados en cubiertas. Aspectos generales de interés. 4
1.1. Generalidades sobre la energía solar y su uso en Cuba. 4
1.2. Breve caracterización energética de la universidad de Cienfuegos y el hotelito universitario. Posibilidades para la energía solar fotovoltaica. 7
1.3. Parámetros de ubicación y posicionamiento. Sistemas instalados en cubierta. Características. 12
1.4. Conclusiones parciales: 19
Capítulo 2. Simulación de sistema solar fotovoltaico para cubierta de hotelito universitario de post grado. 20
2.1. Herramienta de simulación para sistemas fotovoltaicos. 20
2.2. Dimensiones, orientación geográfica y características de la cubierta del hotelito universitario. 26
2.3. Parámetros de eficiencia para la simulación. 27
2.4. Conclusiones parciales: 29
Capítulo 3. Evaluación de las simulaciones del SFV para la cubierta del hotelito universitario. 30
3.1. Simulación de predimensionado variando azimut e inclinación de los paneles. Análisis de resultados. 30
3.2. Simulación del sistema solar fotovoltaico en variante de proyecto. Análisis de resultados. 34
3.3. Cálculo económico. 39
3.4. Conclusiones parciales: 40
Conclusiones: 41
Recomendaciones 42
Bibliografía 43
Anexos 45

Introducción

Las crecientes necesidades energéticas en Cuba y la tendencia mundial al uso de las energías renovables han condicionado que investigadores, empresas y el gobierno en general se proyecten a la búsqueda de las mejores formas para insertar nuevas fuentes de generación en el contexto cubano y tratar con la crítica situación de portadores energéticos que vive el país. El precio del combustible ha aumentado y las políticas energéticas necesitan de una flexibilización, así también se ha hecho necesario el despliegue de nuevas tecnologías como las fuentes alternativas donde hasta la propia forma de la demanda eléctrica viene a jugar un papel clave. El hacer frente a esta difícil situación, viene quizás en buena medida a solucionarlo una fuente de energía vital como es el sol, con la generación fotovoltaica ya muy estudiada y desplegada a nivel mundial.

Para la universidad y su entorno resultaría muy ventajoso la posibilidad de contar con estas nuevas maneras de producir energía, más limpia, barata y fácil de distribuir a la red eléctrica, contribuyendo a la economía de la institución y de la localidad Esto conlleva a varios cuestionamientos sobre qué potencialidades reales tiene la universidad para el despliegue de la energía solar y que condiciones constructivas, de infraestructura pueden sostener el uso de estas fuentes de generación con toda la tecnología que lleva su implementación.

El presente trabajo trata sobre un acercamiento a la posibilidad de la explotación de la energía solar fotovoltaica en los techos de las edificaciones universitarias, si bien es una buena parte de área útil aprovechable para este tipo de energía. Pero la pregunta más allá de esto es: ¿En qué magnitud el uso de la energía solar puede contribuir al desarrollo de la vida universitaria?, ya que el impacto más directo es sobre las condiciones de vida y la forma de depender de la energía y nuestra relación a fin con ella. La respuesta a esto vendrá luego de hacer ciertas valoraciones e indagaciones en trabajos anteriores que tratan el tema y que nos permitan enfocar esta investigación para un primer acercamiento a las posibilidades de esta nueva fuente de energía para la universidad.

Luego de algunos análisis y consideraciones se llega a la idea, que, para encaminar este estudio y basado en algunos precedente que en otros capítulos se discutirán, lo más obvio es tomar un edificio universitario estilo Girón, típico dentro del campus universitario, que tenga buen área de cubierta y que las cargas y consumo energético que presenta en el tiempo con respecto a otros edificios tenga características peculiares, por el tipo de servicio que presta y que nos permitan una simulación y evaluación lo más amplia posible, para una posible sustitución de parte de sus consumos por energía solar. Considerando esto se decide utilizar el hotelito universitario para el trabajo.

Problema científico:

Qué valor de generación eléctrica puede ofrecer el área de cubierta de un edificio Girón típico usado como hotelito universitario de posgrado con diferentes orientaciones geográficas?

Hipótesis:

La simulación de sistemas fotovoltaicos para cubiertas de edificios tipo Girón (Hotelito universitario de posgrado) con diferente orientación, ubicación y posición de los paneles, posibilitará conocer en qué medida pudiera contribuir a la reducción del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios.

Objetivo general:

Desarrollar, mediante el software *Pvsyst* 6, el anteproyecto de una instalación solar fotovoltaica para contribuir a satisfacer las demandas energéticas del hotelito universitario de postgrado.

Objetivos específicos:

1. Resumir el estado actual y las tendencias de desarrollo del uso de sistemas solares FV en cubiertas, así como ventajas y desventajas para la generación eléctrica debido a la ubicación de los paneles.
2. Desarrollar la simulación en el software Pvsyst de un sistema solar FV para la cubierta de un edificio tipo Girón utilizado como hotelito universitario de posgrado con diferente orientación geográfica y posiciones de los paneles.
3. Evaluación de las simulaciones para determinar los niveles de sustitución de consumo energético de la red por los sistemas fotovoltaicos para el edificio. Evaluación económica.

Capítulo 1. Sistemas solares fotovoltaicos. Sistemas instalados en cubiertas. Aspectos generales de interés.

El presente capitulo hace un breve recorrido por el uso y tendencias de los sistemas fotovoltaicos a nivel mundial, el uso de este tipo de energía en Cuba y las posibilidades para la Universidad de Cienfuegos. Se abordan características y ventajas sobre los sistemas instalados en cubiertas. Además, se analizan temas relacionados con las características de ubicación y posicionamiento de estos sistemas que puedan afectar su eficiencia y por tanto la producción de energía eléctrica.

1.1. Generalidades sobre la energía solar y su uso en Cuba.

La energía solar se presenta como una fuente primaría de energía renovable que podría ayudar a mitigar los impactos ambientales relacionados con la actividad humana, producto de la industrialización cuyo modelo energético ha estado fundamentalmente basado en la quema de combustibles fósiles. Esta tecnología podría ser la fuente apropiada de electricidad para muchas aplicaciones en países de todo el mundo, ya que se estima que un 15,4% de la población aún carece de electricidad. (Mundial, 2016)

La producción de energía a partir de fuentes renovables es un área que ha venido tomando fuerza y espacio dentro de las necesidades energéticas de cada país, esta situación se puede ver en el crecimiento de la potencia solar instalada a nivel mundial reflejado en la figura 1.1.

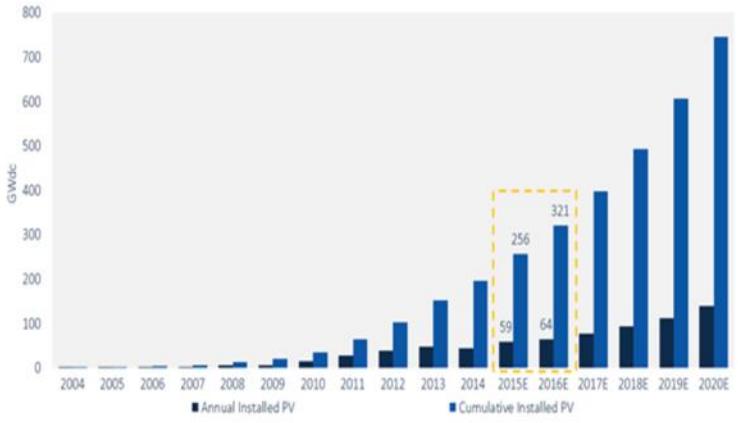


Figura 1.1. Potencia solar a nivel mundial.(Mundial, 2016)

El aumento de los precios del combustible a nivel mundial debido a las continuas y crecientes tensiones políticas y económicas hace que en nuestra región este desplazamiento al uso de fuentes renovables como la solar se haya visto más fuertemente marcado. El contexto actual es adverso, se puede comprobar que Cuba importa gran parte del combustible para la generación de electricidad (Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 2016) y es uno de los países del mundo que produce la mayor parte de su generación eléctrica quemando combustibles fósiles, con mayor proporción de petróleo crudo (Figura 1.2). (Stolik, 2019)

Actualmente esta situación ha llegado a niveles bastante críticos para el país lo que ha hecho que se aceleren también las estrategias y alternativas para hacerle frente a la demanda energética con otras fuentes como la energía solar.

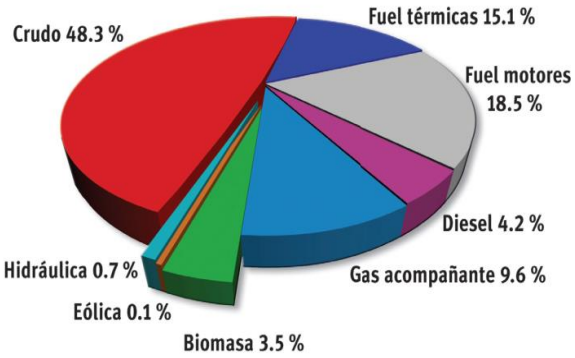


Figura 1.2. Estructura de la generación eléctrica en Cuba en 2013 (Stolik, 2019)

Hace unos 25 años, la energía fotovoltaica (FV) tenía un alto costo, poca confianza y muchos detractores de ella. No obstante, con el transcurso del tiempo, se continuó actualizando y proponiendo variantes de programas de fotovoltaica para Cuba (Stolik, 2011), (Stolik, 2014). Pasaron los años y hoy ha cambiado el escenario de criterios a favor de la fotovoltaica; desaparecieron casi todos los detractores y pesimistas de esta energía.

La realidad ha demostrado que la energía fotovoltaica ha tenido un desarrollo espectacular, los costos han disminuido en forma casi increíble; lo mismo acontece con el aumento de la producción y las instalaciones fotovoltaicas a nivel

mundial; los pronósticos se han venido constantemente sobrecumpliendo, por lo que la fotovoltaica llegó para quedarse.

Esto ha llevado a que actualmente se prefiere instalar una pequeña placa solar fotovoltaica con baterías en una casa rural que utilizar un generador diésel, ya que incluso el mantenimiento de la primera es menor y llega a ser más rentable. La energía solar fotovoltaica genera electricidad de una manera limpia sin gran incidencia negativa en el medio ambiente, la facilidad de instalación hace que esta forma de generación eléctrica sea la más utilizada para lugares alejados de la red eléctrica. (Menendez, 2016)

Actualmente el gobierno cubano se ha concentrado en el despliegue de parques solares fotovoltaicos para llevar este tipo de generación a otra escala, esto por la necesidad urgente de tratar de que para el 2030 un porciento considerable (24%) (López, 2018) de la generación se produzca por estas fuentes renovables de energía. Dentro de estos esquemas también los gobiernos provinciales han pensado en estrategias y la posibilidad de enfocarse en sistemas de generación más locales y que favorezcan incluso a la propia red eléctrica pública.

La política energética del país va marcando este camino y brindando incluso a las instituciones objetivos a corto y mediano plazo para que traten en la medida de lo posible un cambio en su matriz energética, sin afectar el correcto desenvolvimiento de las tareas que en ellas se realizan, sin afectar producciones, impacto social y elevando el ahorro de energía en tiempos tan difíciles. Dentro de esto también los centros educacionales se mantienen atentos a la forma en que estas energías renovables como alternativa puedan usarse para energizar algunas de sus áreas docentes, administrativas y de producción contribuyendo en gran medida al ahorro de energía eléctrica.

Partiendo de las ideas que Stolik defiende en su libro (Stolik, 2019), está claro que para las condiciones actuales de la economía cubana y de la región de Cienfuegos, es necesario ir pensando en que potencialidades tiene la Universidad en este sentido, donde ya algunos investigadores (Monteagudo et al., 2020) han evaluado opciones y formas de implementar sistemas fotovoltaicos en techos. Esto repercutiría, viéndolo a

priori, en la forma en que se garantice la generación eléctrica de esta institución (gran consumidora de energía eléctrica), en la gestión de demandas, ahorros económicos y soberanía energética de esta institución que tanta importancia tiene para el desarrollo regional.

El hablar sobre potencialidades para la energía solar en el campus universitario solo es posible con una previa evaluación de las condiciones generales de la institución desde el punto de vista energético y cómo se comporta históricamente. Una breve caracterización del uso de la energía en esta institución se verá a continuación y las características generales del hotelito universitario, edificio que se tomó como base para el estudio.

1.2. Breve caracterización energética de la universidad de Cienfuegos y el hotelito universitario. Posibilidades para la energía solar fotovoltaica.

La Universidad de Cienfuegos como institución de ciencia cuenta con un gran número de estudiantes y trabajadores, así como servicios e infraestructura que hacen uso y dependen de la energía eléctrica. Visto esto se puede comprobar que el simple hecho de disponer de sistemas vitales como: comunicaciones, hidráulico e iluminación de aulas y locales, hace que el consumo energético de la institución sea un factor clave a tener en cuenta a la hora de valorar que se pudiera ir haciendo en el sentido de nuevas formas de generación y de garantizar de la mejor forma posible los procesos que se dan en la entidad con garantía de calidad, cuya realización depende de la energía eléctrica cada vez más cara y difícil de producir.

Por otra parte, una caracterización del consumo energético puede entonces proporcionar a la entidad una serie de decisores para saber cómo proyectarse a corto, mediano y largo plazo en cuanto a la gestión de la demanda eléctrica y su impacto. En la UCF se toman las lecturas diarias, mensuales y anuales del consumo eléctrico, incluyendo pérdidas o no, planes, consumos reales, etc, lo que brinda un gran cúmulo de información que la mayoría de las veces no se explota en su totalidad, datos como tendencias de consumo, proyecciones para una hora del día, disponibilidad de recursos eléctricos y más pueden derivarse de análisis estadísticos simples o más profundos.

Datos recogidos en el artículo de Monteagudo (Monteagudo et al., 2020) evidencian que los portadores de energía utilizados por la Universidad son energía eléctrica (KWh), diésel para generadores de vapor (litros), diésel para transporte (litros), gasolina para transporte (litros) y gas licuado (kg). Para el análisis de dichos portadores se realiza su conversión a toneladas de combustible equivalente. La estructura de consumo de estos se muestra en la Tabla 1.1.

La estructura del consumo de energía de acuerdo con los datos analizados muestra que es evidente que el mayor consumo corresponde a la electricidad, lo que no significa que la universidad incurra en grandes costos de energía, por el contrario, su consumo es aún más bajo que la mayoría de las empresas de la provincia por contar con una gran cantidad de industrias las cuales son altamente consumidoras.

Tabla 1.1. Portadores energéticos de la Universidad de Cienfuegos.(Monteagudo et al., 2020)

Portador	Unidad	Valor	Toneladas Fuel convencional	%
Electricidad	MWh	790	281.4	67.2
Gasolina	Litros	58443	48.73	12.1
Generación de vapor diésel	Litros	46322	41.48	10.3
Diésel	Litros	36771	32.92	8.2
Gas licuado	Kg	7785	9.05	2.2
Total			413.6	100

Otro análisis pudiera hacerse con los principales indicadores de la UCF en cuanto a comportamiento entre el consumo de energía y las variables: becados (Bec), número de computadoras (PC), número de aire acondicionado (AA), matricula total (MT), matrícula del curso regular diurno (CRD), número de trabajadores (T), y curso regular

diurno más trabajadores (CRD + T). Esto no está en el alcance de este trabajo, pero si es una medida de cómo puede afectar la demanda estas variables en la institución.

Los consumos por áreas y edificios se reflejan en la Tabla 1.2 (Monteagudo et al., 2020) donde se puede observar fácilmente la potencia instalada, los consumos diarios y mensuales de los edificios universitarios lo que enriquece el análisis y una mejor visión de la estructura desglosada de estos.

Tabla 1.2. Potencia instalada y consumos de energía del campus universitario (Monteagudo et al., 2020)

Edificios Nº	Potencia instalada (kW)	Consumos diarios (kWh)	Consumos mensuales (kWh)
1 y 2	11,04	47,2	932,69
3 y 4	18,87	98,28	2 409,072
5	21,90	142,83	3 407,95
6	35,72	244,86	5 535,58
7	31,07	182,27	4 179,39
8	49,32	291,05	6 189,28
11	1,85	8,22	183,39
12	6,56	34,37	710,74
13	7,09	84,29	2 322,19
14	38,33	194,88	3 062,5
15	14,59	102,61	2 390,96
16	23,26	207,77	6 104,39
17	11,24	90,26	2 225,58
18	51,78	453,78	1 3459,92
19	9,27	73,23	1 733,42
20	7,55	46,04	1 135,27
21	25,89	65,47	1504,2
22	11,12	72,05	1 745,3
23	9,27	58,83	1 358,3
24	9,34	71,57	1 694,83
25	9,17	58,25	1 384,6
26	13,01	90,13	2 121,53
Total	417,24	2 718,24	65 791,09

Vista esta caracterización de la Universidad de Cienfuegos puede entenderse la necesidad de pasar a otras formas de generación eléctrica como la solar fotovoltaica.

Pero el problema radica en donde podrían estar emplazados los paneles solares. Un aspecto interesante es que se puede comprobar la existencia de grandes áreas de techo por la cantidad de edificios que presenta la institución, por lo que las áreas de terrenos aledaños a las edificaciones pudieran utilizarse para otros menesteres sin una afectación por el uso de esta tecnología.(Morales, 2017)

Por otra parte, el cálculo para determinar el aprovechamiento de las áreas de los techos para el montaje de los sistemas fotovoltaicos se realiza a partir de esquemas que se encuentran en el artículo citado anteriormente (Monteagudo et al., 2020). En ella se representan las edificaciones y el número para identificar sus funciones, prestándose especial interés al hotelito universitario, caso de estudio para este trabajo.

Para los fines de esta investigación se decidió seleccionar el hotelito universitario (edificio 10) como caso de estudio para valorar las posibilidades de instalación de energía solar en techos de edificios universitarios, debido a las características del mismo por el tipo de servicio que brinda, la ocupación y demandas de energía en diversos periodos del año.

Datos mostrados en la tabla 1.3 evidencian el comportamiento de los consumos del hotelito en algunos meses, según los períodos y el tipo de servicios que ahí se ofrecen que van desde los servicios de alojamiento de posgrado, planes vacacionales en los meses de julio y agosto y hasta actividades recreativas en diferentes momentos del año. Esto hace que tenga características muy peculiares en cuanto al uso y aprovechamiento de la energía en el edificio. Ver tabla 1.3 y Figura 1.3 con el desglose de consumos en KWh entre los meses de mayo a diciembre de 2018.*

Tabla 1.3. Consumos de energía del hotelito universitario para el año 2018 (Departamento de Mantenimiento, 2018)

Año 2018 Hotelito	**Consumo KWh/mes**
mayo	8125
junio	2117.5
julio	15832.5
agosto	28232.5
septiembre	11650
octubre	11275
noviembre	8427.5
diciembre	3390
Año total	**89050**
Media año	**11131.25**
Máximo	**28232.5**
Mínimo	**3390**

**Los únicos datos fiables para la investigación fueron los referidos a esos meses y solo para el año 2018. No se contó con otros datos debido a que se presentan serias irregularidades a la hora de leer los consumos de los edificios y errores en los cálculos por parte de los responsables, aspecto que será sometido a recomendaciones en el presente trabajo. No obstante, esta pequeña muestra permite un análisis adecuado para el alcance de este trabajo.*

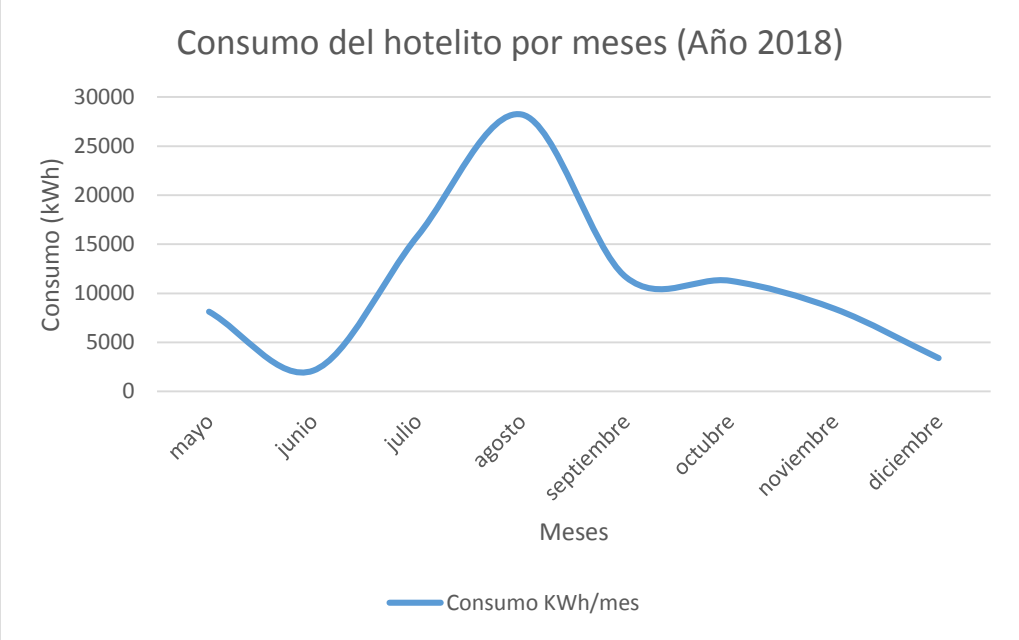


Figura 1.3. Estructura de consumos de energía del hotelito universitario para el año 2018. (Departamento de Mantenimiento, 2018)

Es de notar que los mayores consumos del edificio están desplazados a los meses de veranos con los picos en julio y agosto, meses de plena actividad de servicios de alojamiento y vacacionales de la entidad.

Por otra parte, en este caso se cuenta con la posibilidad de tener el plano (Departamento de Mantenimiento, 2020) de la edificación mostrando el área de la cubierta en metros cuadrados, así como otras condiciones de la cubierta que pueden observarse mediante imágenes satelitales para un mejor análisis, permitiendo conocer posibles obstáculos, sombras cercanas y otras características que puedan entorpecer la ubicación y generación eléctrica de los paneles.

1.3. Parámetros de ubicación y posicionamiento. Sistemas instalados en cubierta. Características.

Para el estudio de la energía solar es necesario conocer de un grupo de conceptos, parámetros y detalles referentes a la teoría de la radiación solar y la forma en que pueden ubicarse los paneles solares para hacer un uso eficiente de esta. Por otra

parte, se abordarán brevemente las características de los sistemas fotovoltaicos instalados en cubiertas de techos y sus ventajas.

Irradiación solar:

De manera general se puede afirmar que la radiación emitida por el sol es consistente, teniendo en cuenta esto existen variaciones significativas de la radiación en la superficie terrestre, ello se debe a la órbita de la tierra y el albedo de ciertas áreas geográficas.(Stapleton & Neill, 2012)

Se hace importante cuantificar la cantidad de radiación solar para estimar el potencial de energía a producir que se tendría de la instalación. La cantidad de energía solar recibida por un área durante un día se le denomina insolación y se mide en kWh/m^{2}día. En la Figura 1.4 se puede observar que el área bajo la curva azul, se puede llevar a un área aproximadamente rectangular conformada por la sumatoria del área bajo la curva sobre la unidad de 1000 W/m^2 conocida como Horas de Sol Pico o HSP. (Stapleton & Neill, 2012) Con las HSP es posible identificar la energía generada por un arreglo fotovoltaico al multiplicar la potencia instalada por las HSP.

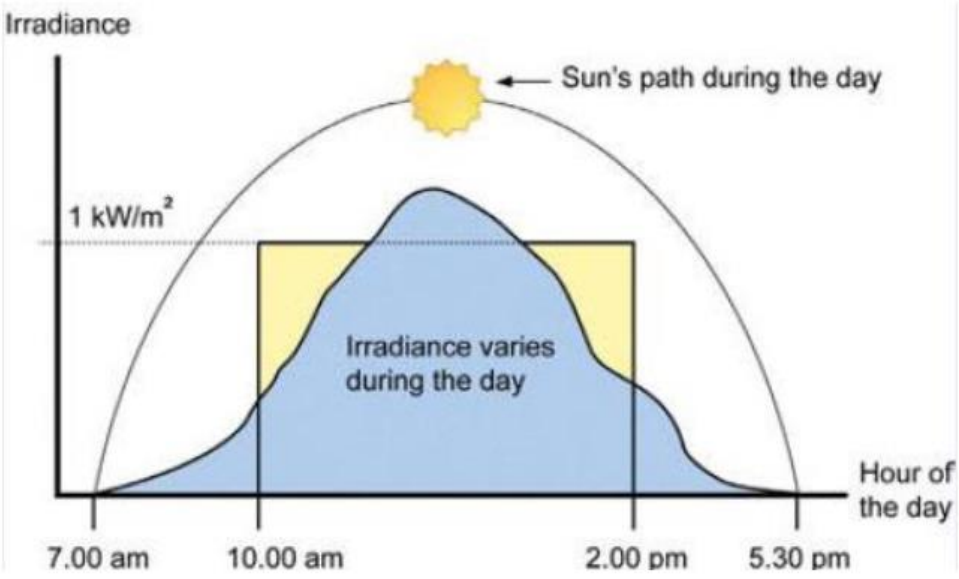


Figura 1.4. Representación de las horas de sol pico (HSP). (Stapleton & Neill, 2012)

Las superficies obtienen mayores niveles de irradiación si son perpendiculares a la dirección del sol, pero debido a que la posición del sol varia a lo largo del día y la latitud de un lugar es constante, es indispensable conocer los conceptos de ángulo de inclinación y azimut con el fin de posicionar adecuadamente los paneles solares y obtener la mayor cantidad de irradiación.

Posición del módulo fotovoltaico:

La posición de los paneles solares se puede especificar mediante dos coordenadas angulares:

- Orientación o ángulo acimutal ($\propto$): Es el ángulo formado por la proyección sobre el plano horizontal de la perpendicular a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. La orientación sur del módulo fotovoltaico se corresponde con el origen y toma el valor 0°, la orientación oeste vale 90°, la orientación norte vale 180° y la orientación este vale 270°.(Mascarós, 2015)
- Inclinación o ángulo de elevación (β): Es el ángulo formado por la superficie del módulo fotovoltaico y el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos en posición horizontal, y 90° para módulos en posición vertical. En instalaciones fijas este ángulo se fija en función de la latitud del lugar.(Mascarós, 2015)

La mayor cantidad de energía que pueden absorber los paneles solares se dan cuando estos se encuentran ubicados de forma perpendicular a los rayos del sol, en algunas aplicaciones los paneles solares no se encuentran fijos, por lo tanto, su inclinación se modifica en función de la estación del año en la que se aproveche de mejor manera la energía proveniente del sol.

Para el caso de aplicaciones donde se tengan paneles ubicados en posiciones fijas o estáticas como es el caso de esta metodología, es necesario encontrar cual es la posición optima de los paneles.

Para el hemisferio norte, se recomienda instalar los paneles fotovoltaicos orientados hacia el sur considerando un ángulo de azimut óptimo de 0°, mientras que, para el hemisferio sur, se recomienda instalarlos orientados hacia el norte con un ángulo de acimut óptimo de 180°.(Mascarós, 2015)

Para determinar la inclinación óptima se utilizará una expresión que resulta del análisis de los cálculos de irradiación solar global horizontal para distintas inclinaciones en distintas latitudes como lo indica la ecuación:

$$\beta opt = 3.7 + 0.69\,|\varphi|$$

Dónde:

βopt= Inclinación óptima para maximizar la captación de energía anual en grados sexagesimales.

φ=Latitud del lugar en grados sexagesimales.

A continuación, en la Figura 1.5 se representa gráficamente las dos posiciones angulares de los paneles solares.

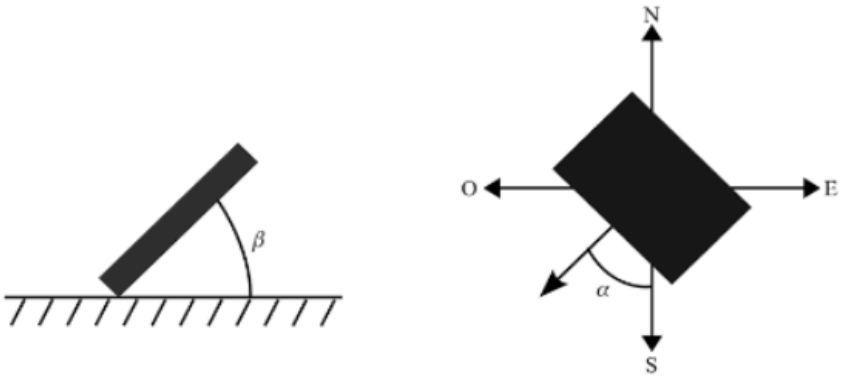


Figura 1.5. Diferentes posiciones angulares de los paneles o módulos FV. (Mascarós, 2015)

Cabe aclarar que no siempre se utilizan estos criterios para ubicar la posición de los paneles, muy posiblemente en muchos casos vendrá impuesta por la disposición de los tejados o la estructura donde se piensan ubicar.

Los paneles solares operan en su máximo cuando tienen luz directa, es decir sin sombras. Un panel sombreado puede generar energía, indirectos (reflejo del entorno) siempre puede generar un poco de energía, pero no será suficiente para consumo. Por lo tanto, hay que preocuparse que el lugar donde se instalaran cuente con la mayor cantidad de luz solar directa durante la mayor parte del día posible.

Por otra parte, a la hora de colocar los paneles solares es necesario tomar en cuenta la localización del resto de equipos y elementos necesarios que estos incorporan. Si se contara con baterías, dependiendo del tipo, debe ser un lugar ventilado por emanación de gases (las de plomo-ácido), si está cercano al inversor (recorrido corto de cables para evitar pérdidas), protecciones eléctricas como fusibles, interruptores magnetotérmicos etc.

Si se consideran todos estos elementos de posicionamiento y ubicación para el sistema FV y sus componentes de una manera adecuada, se logra en determinada medida que la vida útil se alargue y que opere en condiciones lo más cercanas al óptimo, haciendo un uso eficiente de la radiación solar que recibe y convirtiéndola en energía eléctrica aprovechable para disímiles aplicaciones.

Con respecto a este tema en los últimos años se ha evidenciado, además, una tendencia a la instalación de los módulos fotovoltaicos en las cubiertas de las edificaciones, opción de instalación que trae ventajas como el aprovechamiento de áreas de techos libres y la garantía de dejar terrenos, por ejemplo, disponibles para fines agrícolas, recreativos y otros.

Existen en la actualidad numerosas ofertas de componentes constructivos fotovoltaicos para instalar en cubiertas, sean inclinadas o planas, que pueden ser módulos convencionales superpuestos, fijados en railes metálicos, hasta tejas solares. Para cubiertas de grandes dimensiones hay opciones como los paneles metálicos o con láminas delgadas de silicio amorfo pegadas directamente sobre el sustrato metálico. Gracias a la flexibilidad del material amorfo, es una solución también muy adecuada a las cubiertas curvas. Otra tipología adecuada a las cubiertas planas son los sistemas fotovoltaicos integrados en las membranas flexibles de policloruro de vinilo (PVC) o acetato de vinilo etilénico (EVA). Son membranas impermeabilizantes, algunas con aislamiento incorporado. Utilizan igualmente láminas delgadas de silicio amorfo, que les confieren la necesaria flexibilidad, y algunos son encapsulados con el material plástico.(Cronemberger, 2015)

Al integrar sistemas fotovoltaicos en cubiertas inclinadas se debe proporcionar ventilación de la cara posterior de los módulos, para evitar pérdidas de eficiencia. Se suele favorecer la ventilación natural, a través de mecanismos de apertura en las extremidades superiores e inferiores de la cubierta, lo que además evita las condensaciones. La figura 1.6 presenta un ejemplo de estos sistemas colocados sobre cubiertas inclinadas.

Figura 1.6. Paneles solares instalados en naves industriales con cubierta inclinada. España. (Cero Grados Sur, 2020)

Aunque con menos grado de integración las cubiertas planas suelen ser instaladas independientemente de la cubierta existente, con soluciones más económicas por utilizar módulos y fijaciones estandarizados. Este tipo de montaje en edificios existentes, tiene la ventaja de la cara posterior del módulo ventilado sin mayores costos o esfuerzos técnicos.

Existen precedentes de trabajos de tesis que demuestran las posibilidades para el uso de sistemas FV para cubiertas en nuestro contexto regional. Es el caso del anteproyecto de un sistema solar fotovoltaico en la Empresa de Materiales de la Construcción de Cienfuegos realizado en el 2019 (Becerra, 2019), de bajo consumo eléctrico y con grandes áreas techadas en una provincia con un alto índice de radiación

solar.

El desarrollo del anteproyecto (ver figura 1.7) demostró que es posible instalar 162 paneles solares, en un área techada de 572,8 m^2, lográndose obtener una generación de 187,86 kWh/día. Ello debe satisfacer el 70 % de la demanda eléctrica de la entidad y reducir el pago de energía eléctrica en 12 554,21 $/año.

Figura 1.7. Áreas de cubierta de techo de la EMCC Cienfuegos donde se puede apreciar la posibilidad de instalar un sistema fotovoltaico aprovechando las características de este. (Becerra, 2019)

1.4. Conclusiones parciales:

- La energía solar fotovoltaica en la actualidad se presenta como una necesidad en primer lugar y opción fundamental en un contexto global donde los combustibles fósiles escasean y se encarecen cada vez más, llevando a los gobiernos a trazar políticas energéticas más flexibles y amigables con el medio ambiente.
- Cuba no se queda fuera de este problema planteándose, debido a las limitaciones económicas imperantes, la necesidad urgente de tratar de que para el 2030 un porciento considerable (24%) de la generación se produzca por estas fuentes renovables de energía.
- Las posibilidades de las instituciones como actores principales en este camino pueden propiciar que se comience un despliegue a una escala mayor de lo que desde hace un tiempo el gobierno cubano viene implementando con los parques solares. Las posibilidades de la Universidad de Cienfuegos en este aspecto pudieran repercutir desde una pequeña pero eficiente contribución con la solar fotovoltaica.
- Tendencias actuales plantean el uso de las cubiertas de las edificaciones para el montaje e instalación de sistemas fotovoltaicos sin necesidad de afectar áreas comunes y para otros fines, propiciando economía de espacios y recursos en sentido general.
- Se ha valorado la posibilidad en los edificios universitarios tipo Girón de la sede Carlos Rafael Rodríguez, específicamente hotelito de posgrado, debido a su estructura de consumos eléctricos con buenas perspectivas para el montaje de uno de estos sistemas.

Capítulo 2. Simulación de sistema solar fotovoltaico para cubierta de hotelito universitario de post grado.

El presente capítulo está encausado en describir los materiales, métodos y herramientas para lograr la simulación del sistema fotovoltaico del hotelito y su posterior evaluación. Se describirá el manejo de la herramienta de *software* PVsyst. Por otra parte, se analizarán las dimensiones, orientación geográfica y características de la cubierta del hotelito universitario, así como los parámetros a modificar en el software para el pre-dimensionado y diseño de proyecto del sistema FV.

2.1. Herramienta de simulación para sistemas fotovoltaicos.

La simulación es una opción muy interesante y útil dentro de la ingeniería y la ciencia en sentido general y para los sistemas solares fotovoltaicos se han desarrollado un sinnúmero de aplicaciones de softwares que permiten conocer resultados de generación, parámetros, problemas de emplazamiento y otras características de estos sistemas antes de llegar a un diseño definitivo.

PVsyst es uno de los softwares más utilizados para el diseño y simulación de sistemas fotovoltaicos, desarrollado por la Universidad de Ginebra (PVsyst Team, 2020). Está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores, y también es una herramienta pedagógica muy útil. Ampliamente utilizado por investigadores incluso en el contexto cubano y en la propia universidad de Cienfuegos presenta un grupo de características que lo hacen atractivo:

- 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.
- Útil aplicación 3D 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 recuperación de la inversión.
- exportación de cálculos a archivos CSV

- Muchas herramientas para simular el comportamiento de los módulos y células fotovoltaicas de acuerdo con la radiación, la temperatura y los sombreados.

Incluye un menú de Ayuda contextual detallado que explica los procedimientos y modelos que se utilizan, y ofrece un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto. PVsyst puede importar datos meteorológicos, así como datos personales de muchas fuentes diferentes. La figura 2.1 presenta el menú principal de este software

En un primer momento y para el desarrollo de la investigación se abordarán algunos aspectos generales sobre el software PVsyst y la forma de funcionamiento para el pre-dimensionado de proyectos de instalaciones solares fotovoltaicas.

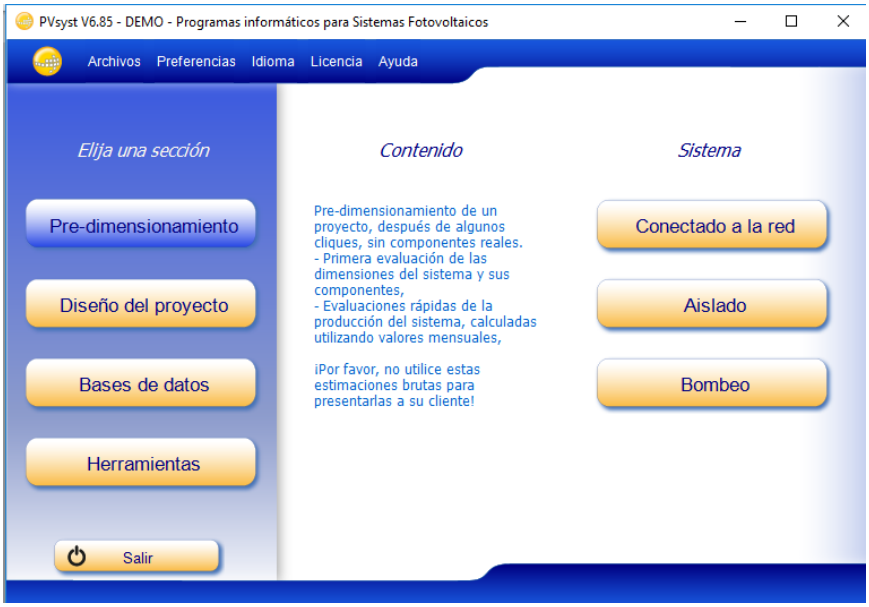


Figura 2.1. Captura de la pantalla principal de PVsyst. (PVsyst Team, 2020)

Para el caso nuestro se utilizará la opción de un sistema conectado a red lo que permitirá en momentos de poca demanda entregar la energía sobrante a la red eléctrica pública. El esquema básico de esta opción dentro del programa se observa en la figura 2.2.

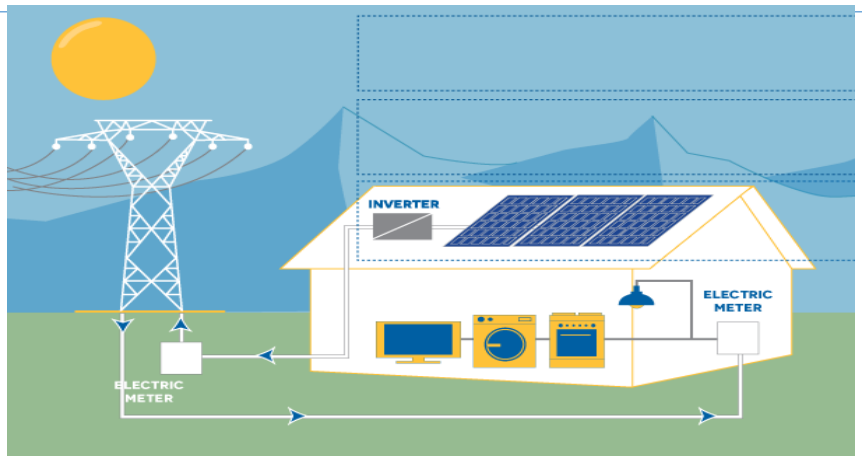


Figura 2.2. Esquema básico de instalación proporcionada por el software.(PVsyst Team, 2020)

De vital importancia resulta seleccionar adecuadamente el área geográfica de Cienfuegos y seleccionar de las bases de datos de internet los valores meteorológicos para esta ubicación, para este caso se tomaron los datos recolectados por la NASA entre los años 1983 al 2005 (Ver figura 2.3) lo que garantiza una fiabilidad mayor de los datos y cálculos más exactos del simulador.

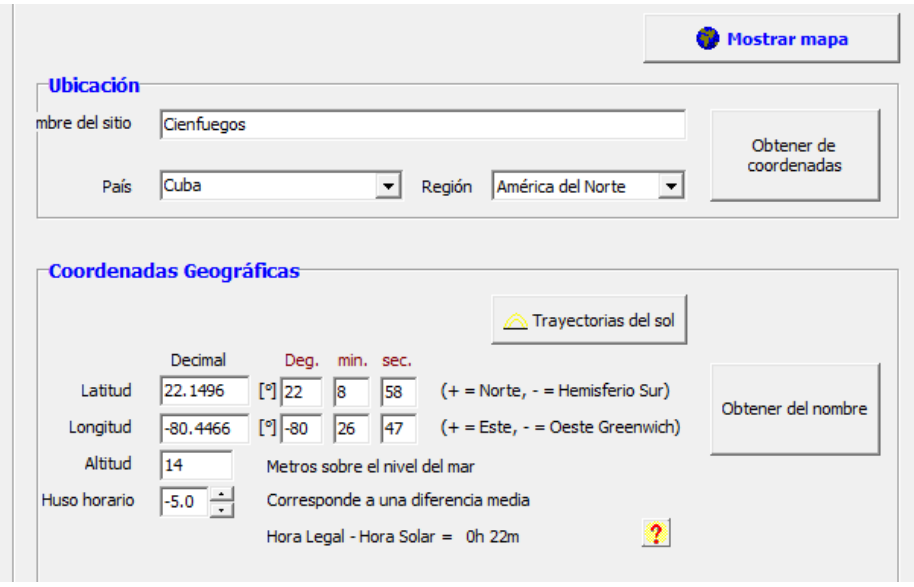


Figura 2.3. Coordenadas geográficas del sitio Cienfuegos utilizadas por el software. (PVsyst Team, 2020)

Uno de los pasos más importantes del pre-dimensionamiento es la ventana dada en la figura 2.4, donde se especifica el área en m^2 y se puede seleccionar el valor de inclinación de los paneles sobre la superficie (*tilt*) y el ángulo de azimut. Con estos datos el programa calculará la potencia que será capaz de entregar el sistema y la producción de energía diaria, mensual y anual.

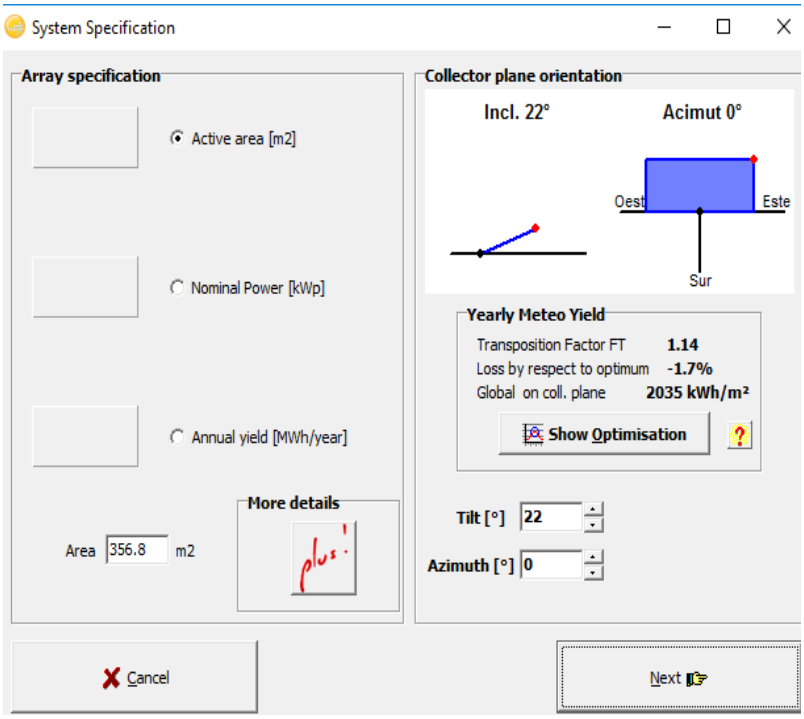


Figura 2.4. Especificación de área, ángulo de inclinación y azimut de los colectores.(PVsyst Team, 2020)

Una vez realizado este paso el programa solicitará otras especificaciones como el tipo de módulo solar, la disposición a la hora de montar (techo plano, techos inclinados etc.), la tecnología de construcción de las celdas (monocristalinas, policristalinas, película delgada) y las condiciones de ventilación como se aprecia en la figura 2.5.

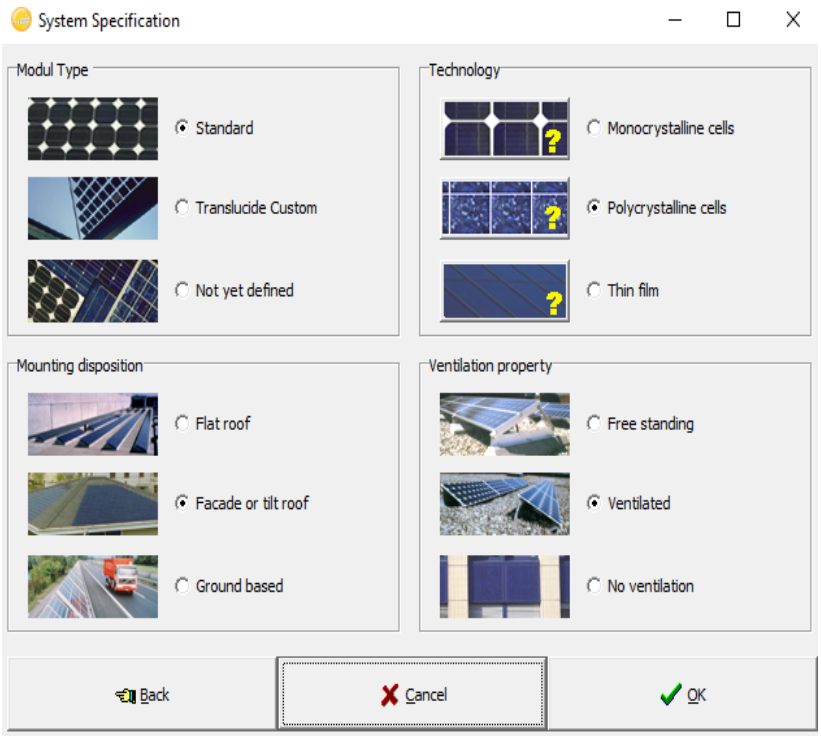


Figura 2.5. Especificación de los módulos, tecnologías y condiciones de montaje y ventilación. (PVsyst Team, 2020)

Al final el programa generará un informe preliminar con los resultados de la simulación donde puede verse la potencia nominal del sistema instalado a la salida de los inversores (para esa área en kW), la producción de energía al año en MWh/año y otros resultados como el costo de la inversión para el montaje. Un grupo de tablas y gráficos pueden verse también con estos resultados para análisis más específicos y detallados donde se brinda también la posibilidad de exportarlos a formato PDF. La figura 2.6 y figura 2.7 muestran dos de los reportes fundamentales con la simulación de un caso particular.

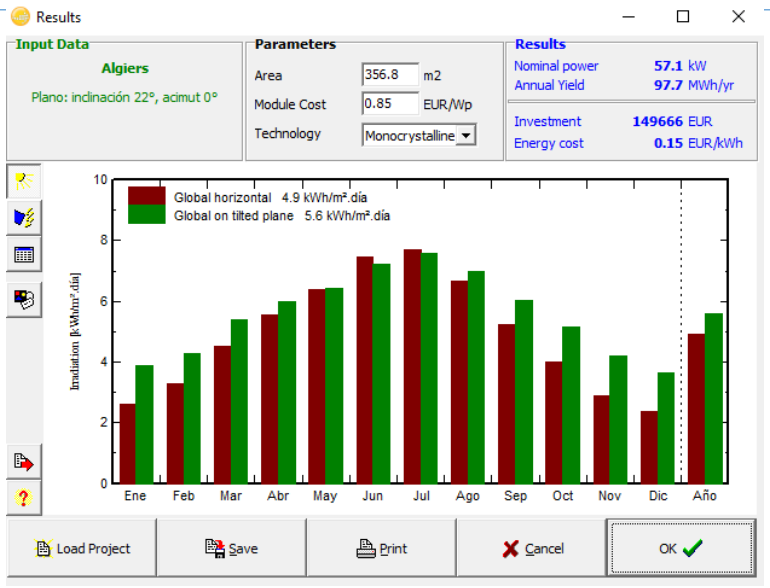


Figura 2.6. Ventana con el informe preliminar de los resultados de la simulación.(PVsyst Team, 2020)

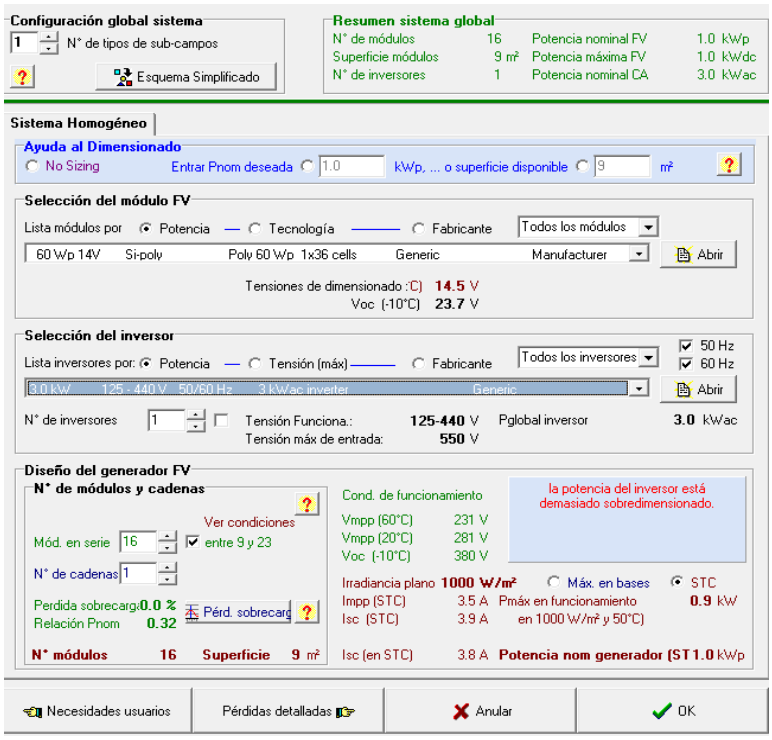


Figura 2.7. Ventana previa a los resultados de simulación para definir especificaciones globales y eléctricas del sistema en la variante “Diseño de proyecto”. (PVsyst Team, 2020)

2.2. Dimensiones, orientación geográfica y características de la cubierta del hotelito universitario.

La elección del hotelito universitario como objeto de estudio para la simulación del sistema está dado fundamentalmente por las características de los servicios que presta y el nivel de actividad que presenta anualmente lo que provoca que se incremente en algunos periodos de tiempo el consumo eléctrico. En los meses de julio y agosto se presentan los picos de demanda eléctrica del edificio si bien los vacacionistas hacen uso de las instalaciones de este y en otros meses en menor medida se pueden presentar picos que están de acuerdo con actividades más cotidianas como actividades de postgrado, visitas, fiestas y algún que otro evento casual. Por tanto, la simulación y análisis de un sistema solar fotovoltaico podría dar una idea de que potencialidades tiene el uso de este tipo de generación para desplazar a niveles inferiores el pago por consumo eléctrico y brindar más y mejores servicios en el futuro.

En un primer momento se obtuvieron algunos datos sobre las condiciones constructivas, entorno y características de la cubierta del edificio. Se recogieron los datos principalmente de los planos y de imágenes de satélite para una mejor comprensión y facilidad de adquisición. A continuación, en la figura 2.8 se muestra el plano del 4to nivel del hotelito universitario donde pudieran ser montados los paneles para el sistema que se pretende simular.

Figura 2.8. Plano del 4to nivel del hotelito.(Departamento de Mantenimiento, 2020)

La cubierta, con orientación en su parte estrecha N-S y en la parte larga E-W, cuenta con un área útil de *356.8 m²*, esto fue calculado con el software *CADReader* con los planos proporcionados por el departamento de mantenimiento. No se consideraron en el cálculo los cuatro espacios adyacentes al rectángulo principal que incluye sistemas hidráulicos y escaleras.

En la vista satelital dada en la figura 2.9 se puede observar la cubierta del edificio comprobándose que no existen objetos cercanos ni sombras en el área que pueda entorpecer los valores de generación por este concepto. La propia altura de la edificación evita también cualquier obstáculo a los paneles.

Figura 2.9. Imagen satelital del hotelito.(Google, 2020)

2.3. Parámetros de eficiencia para la simulación.

Como pudo apreciarse en el primer capítulo la generación eléctrica en un sistema fotovoltaico depende de varios factores que van desde la velocidad del viento, la altura de la edificación hasta la posición geográfica del edificio y ubicación de los paneles.

Muchos de estos parámetros el software los interpreta y calcula de acuerdo a las bases de datos geográficas y meteorológicas. Otros no están presentes en las condiciones de esta investigación, por ejemplo, la sombra, al no haber objetos cercanos que provoquen esta sobre los paneles ubicados en la cubierta.

En este caso específico y para la simulación que se pretende se realizarán algunas pruebas de parámetros de eficiencia que nos permita modificar el programa como:

- Inclinación de los paneles (dado por la latitud de Cienfuegos)
- La ubicación con respecto al sur o Azimut.

En la inclinación de los paneles se probará con el valor de 22 grados y 15 grados, este último valor fue aconsejado por especialistas de la UNE para instalaciones en la región de Cienfuegos ya que no representan estos dos valores una gran variación para la captación de energía y para la conversión energética. Estos aspectos pueden apreciarse en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Grados de inclinación de los paneles y su efecto sobre la captación de energía y conversión energética.(Monteagudo et al., 2020)

<table>
<tr><th colspan="8">Grados de inclinación de los paneles</th></tr>
<tr><td>5º</td><td>10º</td><td>15º</td><td>22º</td><td>25º</td><td>30º</td><td>35º</td><td>40º</td></tr>
<tr><td colspan="3">Pérdidas en la captación de energía, Wh/m^2</td><td rowspan="4">Inclinación adecuada para la provincia de Cienfuegos</td><td colspan="4">Pérdidas en la captación de energía, Wh/m^2</td></tr>
<tr><td>-176</td><td>-59</td><td>-18</td><td>-23</td><td>-63</td><td>-103</td><td>-143</td></tr>
<tr><td colspan="3">Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp</td><td colspan="4">Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp</td></tr>
<tr><td>-32,4</td><td>-11,4</td><td>-5,0</td><td>-6,4</td><td>-17,4</td><td>-28,5</td><td>-39,6</td></tr>
</table>

Por otra parte, el azimut es el ángulo de giro del panel con dirección este-oeste y es uno de los parámetros que más repercute en la eficiencia del sistema fotovoltaico. Este parámetro será modificado con diferentes ángulos típicos de orientación: 0^0, 45^0, 90^0, 180^0, para comprobar el efecto sobre la producción eléctrica del sistema dada la ubicación geográfica, condiciones del entorno y características constructivas del hotelito.

2.4. Conclusiones parciales:

- En el capítulo se presenta el método de trabajo que incluye el pre-dimensionado y simulación del sistema solar fotovoltaico para un posible proyecto de instalación solar FV en el hotelito universitario.
- Se indagó en las características generales constructivas y condiciones geográficas, de posición y orientación de la edificación, la cual presenta orientación N-S en su parte estrecha y en la parte larga E-W. La misma cuenta con un área útil de cubierta de *356.8* m^2 y no existen obstáculos ni sombras que entorpezcan la captación de energía por los paneles.
- Además, se estudió y abordaron parámetros de ubicación y posicionamiento de los paneles sobre las cubiertas (inclinación y azimut) que repercuten en la eficiencia energética del sistema, tomándose para la simulación como ángulos típicos los azimut de 0^0, 45^0, 90^0, 180^0 y de inclinación sobre la superficie de 15^0 y 22^0.

Capítulo 3. Evaluación de las simulaciones del SFV para la cubierta del hotelito universitario.

En el presente capítulo se obtendrán y analizarán los resultados de las simulaciones del SFV para la cubierta del hotelito universitario, para realizar un análisis comparativo y así valorar posibilidades de reducción del consumo eléctrico convencional para el edificio. Se interpretará el grupo de resultados para al final llegar a una evaluación económica.

3.1. Simulación de predimensionado variando azimut e inclinación de los paneles. Análisis de resultados.

El análisis y las comparaciones de los resultados para las distintas posiciones (azimut) e inclinación de los paneles en la cubierta se realizaron de acuerdo a la forma planteada en el capítulo 2. Para esto se recurrió a un grupo de evaluaciones con distintos parámetros mediante el software *PVsyst,* manteniendo el área constante de 356.8 m^2 medida tomada de los planos. Uno de los aspectos de mayor interés a la hora de implementar este conjunto de pruebas fue la realización de distintas simulaciones a 22 grados y a 15 grados, esta última recomendada por la UNE, lo que permitió llegar a una idea más completa del comportamiento de la producción de energía según estos factores permitiendo determinar tendencias, variaciones y valores críticos para las distintas pruebas posteriores.

Los valores referentes a las evaluaciones se obtuvieron de los reportes en formato PDF que mostró el software, permitiendo tabular y graficar adecuadamente los datos. Las características geográficas fueron las mismas para todas las corridas donde solo se varió la inclinación y el azimut: (ver Figura 3.1)

Pre-dimensionamiento sistema red

Sitio geográfico	Cienfuegos		País	Cuba
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	14 m
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	-180°

Figura 3.1. Pre-dimensionamiento del sistema conectado a la red. Selección de la ubicación geográfica. (PVsyst Team, 2020)

Dentro de las características del arreglo de paneles solares al programa se le proporcionó el uso de módulos estándar, tecnología de celdas policristalinas dispuestas en un techo plano y con ventilación. (ver figura 3.2).

Figura 3.2. Selección de los parámetros del módulo fotovoltaico y características adicionales. (PVsyst Team, 2020)

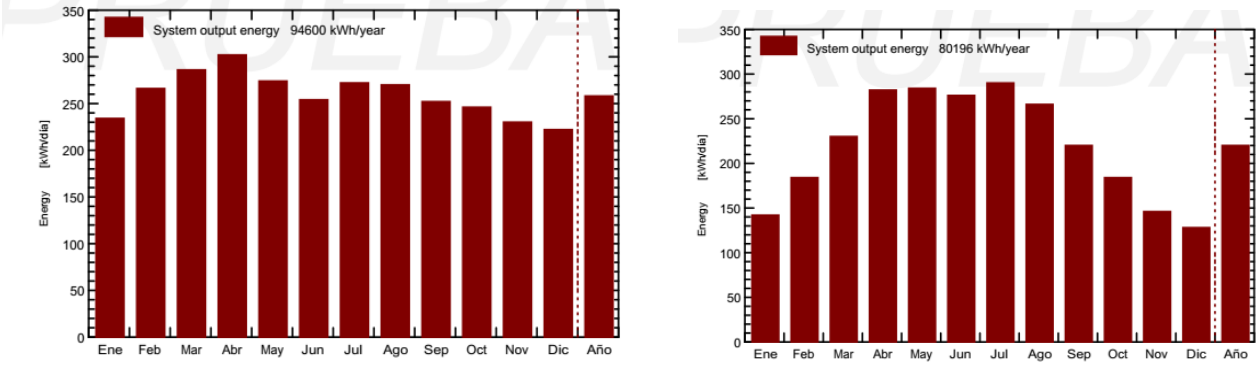
La evaluación del pre-dimensionado presentó un resultado en cuanto a la potencia nominal del sistema a la salida de los inversores para las dos inclinaciones de los paneles estudiados (tabla 3.1):

Tabla 3.1. Potencia nominal del SFV a partir de diferentes inclinaciones. Fuente (Elaboración propia)

Inclinación (tilt)	Potencia nominal
15 grados	57.1 kWp
22 grados	53.8 kWp

El hecho recae en que, a menor inclinación del panel, existe la posibilidad de instalar más paneles en una misma área disponible, esto está dado por la incidencia de la sombra y por consideraciones internas y cálculos del software. En conclusión, sería más factible, viéndolo a priori para esta instalación, poner los paneles a 15 grados como aconsejó la UNE, lo que llevaría a suministrar adicionalmente 3.3 kW de potencia nominal repercutiendo en una mayor producción de energía.

La generación eléctrica del sistema por meses (Figura 3.3) también se evaluó para azimut de 0 grados y azimut de 180 grados tomado como valores extremos. Esto permitió conocer que los meses de mayor generación del sistema será para esta ubicación de los paneles abril y julio con aproximadamente 300 kWh.



Azimut 0 a 15 grados

Azimut 180 a 15 grados

Figura 3.3. Producción de energía del campo fotovoltaico por meses para Azimut 0^0 y 180^0 respectivamente. (PVsyst Team, 2020)

A partir de los valores obtenidos, se elaboró un gráfico con la generación eléctrica del sistema con las combinaciones de azimut e inclinación; uno de los resultados más importantes del trabajo, la tabla 3.2 presenta la generación del parque fotovoltaico a partir de varios ángulos de inclinación.

Tabla 3.2. Generación eléctrica del campo fotovoltaico a partir de varios ángulos de azimut e inclinación. Fuente (Elaboración propia)

Ángulo	MWh/yr (15grad)	MWh/yr (22grad)
ang 0	94.6	90
ang 45	92.7	87.6
ang 90	87.9	81.4
ang 180	80.2	70.4

La figura 3.4 presenta las curvas de generación eléctrica del SFV para diferentes azimut y 15 grados y 22 grados respectivamente.

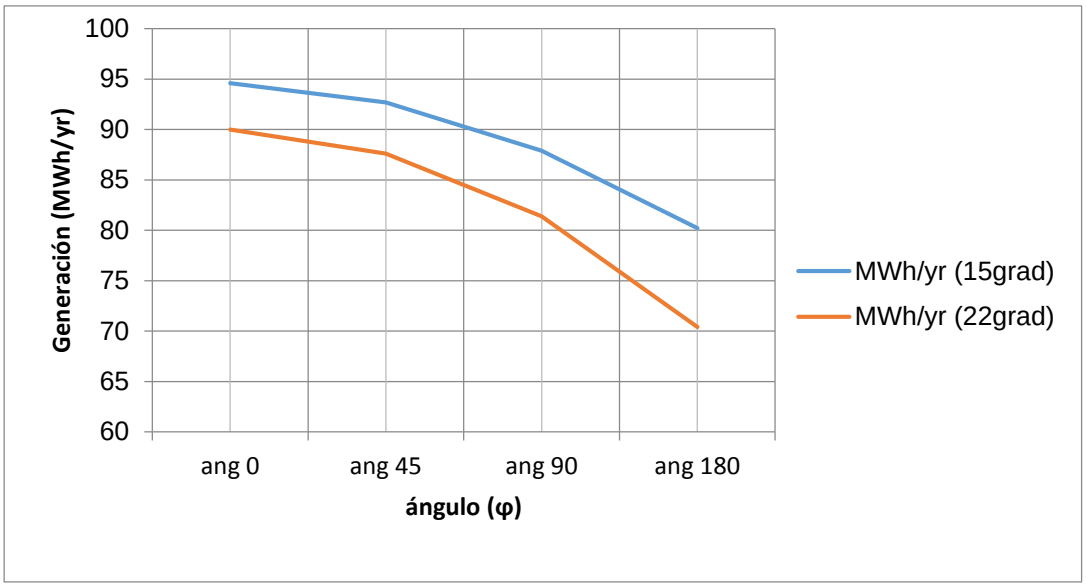


Figura 3.4. Generación del SFV para 15 grados y 22 grados respectivamente. Fuente: (Elaboración propia)

Del análisis del gráfico se desprenden dos importantes conclusiones en cuanto a la generación eléctrica del sistema en un año. Una es que para 15 grados va a ser mayor siempre la producción como se vio anteriormente por meses. La otra es que para valores de azimut bajos por ejemplo ángulo 0, la producción del sistema va a ser mayor, esto porque a 0 grados los paneles están orientados al sur como es recomendable para la latitud de Cienfuegos. De aquí se puede observar que el peor de los casos recae en la ubicación de los paneles a 180 grados de azimut y 22 grados de inclinación y el óptimo para estas condiciones a 0 grados de azimut y 15 grados de inclinación.

3.2. Simulación del sistema solar fotovoltaico en variante de proyecto. Análisis de resultados.

Luego se procedió a realizar la simulación definitiva del sistema en su variante de proyecto, tomando en cuenta ahora los parámetros eléctricos (tipo de inversores y de módulos fotovoltaicos, características técnicas, corrientes, voltajes y potencias a la salida de las cadenas y de los inversores, etc). Se tomaron para esto los módulos de paneles solares (Numen Solar, 2019) e inversores (SMA Solar Technology, 2019) que se comercializan en Cuba actualmente y que se están utilizando para el despliegue de la solar fotovoltaica. Luego de introducidos todos los parámetros el software devolvió resultados que se evidencian en el siguiente gráfico similar al del predimensionado: (Ver anexos para los informes completos de las simulaciones).

Tabla 3.3. Generación eléctrica anual a partir de varios ángulos de azimut e inclinación. Fuente (Elaboración propia)

Ángulo	MWh/yr (15grad)	MWh/yr (22grad)
ang 0	69.21	69.52
ang 45	67.81	67.55
ang 90	64.83	63.5
ang 180	60.5	56.8
ang -45	68.22	68.22

Con esta tabla se elaboró un gráfico que representa la generación eléctrica anual a partir de varios ángulos de azimut e inclinación lo que permite más facilidad para la interpretación y análisis de los distintos valores (Figura 3.5).

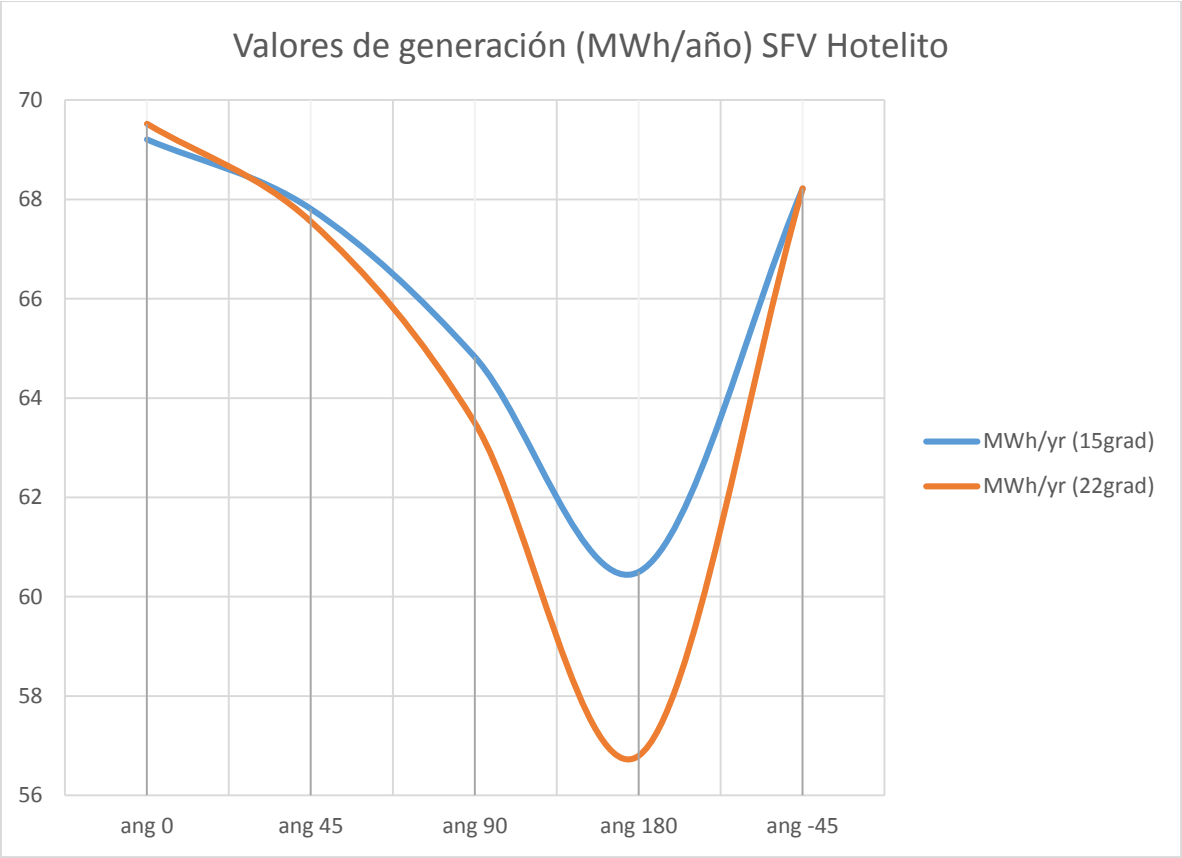


Figura 3.5. Gráfico de generación eléctrica anual a partir de varios ángulos de azimut e inclinación. Fuente: elaboración propia.

Un análisis simple del gráfico demuestra en primer lugar que los valores de generación decaen con respecto al predimensionado y es lógico ya que la simulación tiene en cuenta parámetros reales y más precisos a la hora de los cálculos. Se obtienen resultados "contradictorios" en algunos valores puntuales con respecto al predimensionado pero efectivos y nada fuera de los valores lógicos. Como primer y más importante resultado del trabajo se evidencia que el óptimo de generación eléctrica al año ocurre con los paneles orientados al sur (0 grados) e inclinados a 22 grados, lográndose como máximo 69.52 MWh/año. Ahora en casos excepcionales en que haya que ubicar los paneles a otros ángulos de azimut por ejemplo (90 grados y 180 grados) se aprecia que la mayor generación se alcanza entonces a 15 grados de inclinación.

Como caso curioso es de notar que a 45 grados de azimut se observa un pequeño incremento en la generación cuando los paneles están a 15 grados.

Viendo estas cifras y los valores de la tabla 3.3 donde se refleja la estructura de consumo del hotelito se puede plantear que pudiera sustituirse mediante el uso de esta fuente el 78.07 % de la energía que consume el hotelito en un año entre los meses de mayo a diciembre. Para un año completo de enero a diciembre, con características típicas se puede hablar de un grado de sustitución de alrededor del 52.05 % valor que refleja la factibilidad del sistema. Repercute por tanto en un ahorro considerable de energía y de pagos por concepto del uso de esta para el edificio.

El desglose por meses del asunto permite un análisis más completo del tema y la posibilidad de evaluar el comportamiento de la generación de manera más individual. Datos proporcionados por la simulación (Figura 3.6) dan una idea de este comportamiento mediante un grupo de balances y resultados principales:

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	139.5	135.5	5.974	5.846	0.847
Febrero	116.9	53.80	21.54	135.5	131.2	5.703	5.584	0.833
Marzo	154.5	78.30	23.63	165.5	159.9	6.891	6.755	0.824
Abril	159.0	77.50	24.46	157.1	151.6	6.495	6.355	0.817
Mayo	156.2	80.20	26.31	146.1	140.6	6.018	5.879	0.813
Junio	150.5	82.80	26.63	136.9	131.4	5.672	5.537	0.817
Julio	160.7	80.40	27.16	146.9	141.2	6.038	5.897	0.811
Agosto	155.7	84.30	27.14	151.0	145.4	6.211	6.072	0.812
Septiembre	123.7	70.50	25.55	127.4	122.9	5.289	5.165	0.819
Octubre	116.1	67.00	24.92	128.5	124.3	5.383	5.262	0.827
Noviembre	110.4	54.20	22.11	132.2	128.3	5.598	5.481	0.837
Diciembre	107.3	46.40	21.53	136.5	132.7	5.809	5.687	0.841
Año	1624.3	828.69	24.26	1703.2	1645.0	71.081	69.519	0.825

PVsyst PRUEBA

Figura 3.6. Balances y resultados principales de las simulaciones.(PVsyst Team, 2020)

Leyendas:

GlobHor: Irradiación global horizontal

DiffHor: Irradiación difusa horizontal

T_Amb: Temperatura ambiente.

GlobInc: Global incidente plano-receptor

GlobEff: Global efectivo

EArray: Energía efectiva en la salida del conjunto

E_Grid: Energía inyectada en la red

PR: Índice de rendimiento

De esta tabla se obtienen los valores *E_Grid* que son los que corresponden con la energía útil a la salida de los inversores y que es inyectada a la red. Con esto se elaboró una tabla (Tabla 3.4) para comparar por meses el grado de sustitución que representa la energía fotovoltaica inyectada a la red con respecto a los consumos del hotelito.

Tabla 3.4. Grado de sustitución por meses basado en un año típico. Fuente (Elaboración propia)

Año 2018	**Consumo MWh/mes**	**Media año**	**SFV(E_Grid) (MWh/mes)**	**% de sust**	**Energía disponible (MWh)**
mayo	8.125	11.1312	5.879	72.3570	
junio	2.1175	11.1312	5.537	100.0000	3.4195
julio	15.8325	11.1312	5.897	37.2462	
agosto	28.2325	11.1312	6.072	21.5071	
septiembre	11.65	11.1312	5.165	44.3348	
octubre	11.275	11.1312	5.262	46.6690	
noviembre	8.4275	11.1312	5.481	65.0370	
diciembre	3.39	11.1312	5.687	100.0000	2.297

Resulta interesante destacar que en los meses donde menos por ciento de sustitución se obtiene es en los de vacaciones (julio-agosto) cuando el hotelito tiene las máximas demandas energéticas, lo que repercute en un mayor uso de la solar fotovoltaica. En este caso además en el mes de junio y diciembre, propio de las características de consumo de estos meses hace que puedan ser entregada a la red 3.4195 MWh y 2.297 MWh excedentes y ser consumidos por otros edificios, por ejemplo.

El siguiente gráfico ilustra más claramente las posibilidades con esta fuente:

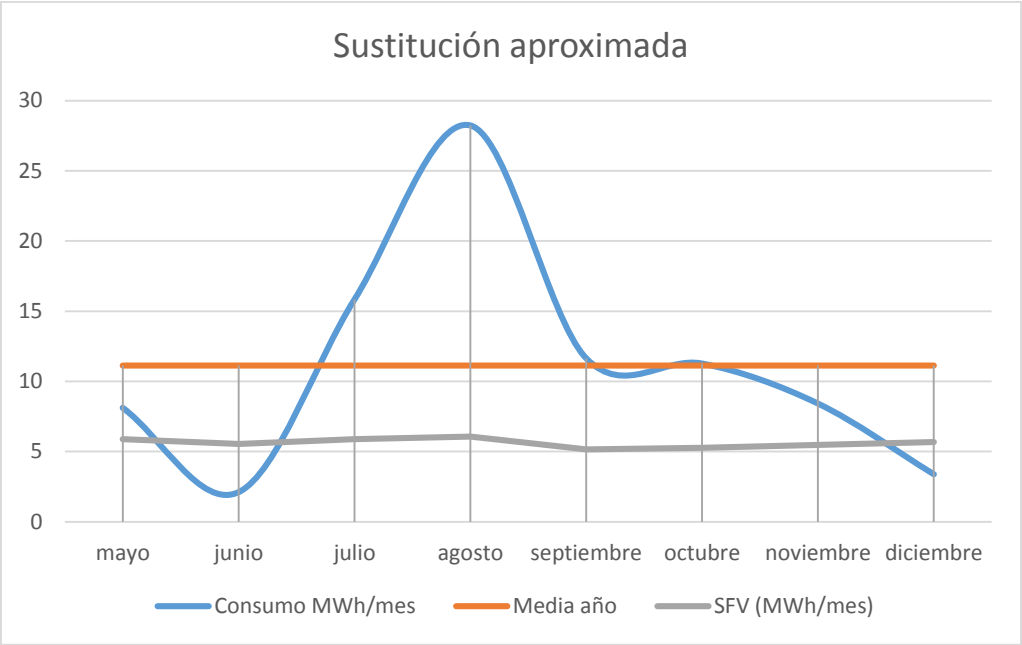


Figura 3.7. Grado de sustitución aproximado en base a consumos y media para un año típico. Fuente: Elaboración propia.

De manera general y como conclusión parcial puede verse que exceptuando los meses de julio y agosto el sistema fotovoltaico puede sustituir en buena medida el consumo eléctrico del edificio resultando en un ahorro de recursos importante e incluso en condiciones óptimas llegando a entregar energía excedente, reflejo de las distintas actividades que se desarrollan en el edificio en las diferentes épocas del año.

Las posibilidades de sustitución energética vistas en el hotelito a partir de la generación fotovoltaica abren un camino bien prometedor para las restantes edificaciones de la universidad. Esta nueva forma de producir energía repercutirá siempre en alguna medida en la economía y en la vida universitaria y es inminente su despliegue a pesar de las limitaciones de recursos que enfrenta el país, si bien es ya política del estado cubano de lograr la soberanía energética y de ponernos a tono con el mundo.

3.3. Cálculo económico.

El cálculo económico se realizó utilizando el método de Período Simple de Recuperación de la Inversión. Para esto se utilizó como base una tabla proporcionada por Copextel (ver Tabla 3.5) donde están recogidos los valores de costo que implica el suministro, instalación y montaje de sistemas solares fotovoltaicos para las empresas y entidades. Esta tabla se adecuó a las necesidades de este sistema simulado y arrojó los resultados que se presentan más adelante.

Tabla 3.5. Suministro, instalación y montaje por Copextel.(Copextel, 2019)

Tipo de Moneda	Suministro + Instalación y Montaje para 1 kWp	Potencia a instalar (kWp)	Importe TOTAL de la inversión (vi)
CUC	$1,800.00	76	$136,800.00
CUP	$750.00	76	$57,000.00
MT	$2,550.00	76	$193,800.00
CL Disponible (USD)	$1,500.00	76	$114,000.00

Con la potencia a instalar en el hotelito que representa 49.5 KWp según las simulaciones se obtiene que el importe total de la inversión (basados en la tabla de Copextel) será de 126,225.00 MT para el suministro instalación y montaje del sistema.
Teniendo esto se procede a calcular los ingresos por concepto de la energía que se puede inyectar a la red eléctrica pública (energía disponible del sistema FV) y que es bonificada por la Unión Nacional Eléctrica según Decreto Ley 345 de 2019 con 0.23 centavos/kW. (Ministerio de Justicia, 2019)

Energía disponible = Energía consumida hotelito – Energía Producida FV
Energía aprox. consumida por el hotelito al año: 133575 kWh – (133.575 MWh)
Energía producida en un año FV: 69520 KWh - 69.52 MWh
Energía disponible: 133575-69520= 64055 KWh

Ingresos ($/año): 64055 x 0.23 = 14732.65 pesos
PSRI = Inversión ($) / Ingresos ($/año) = (8.57 años) 8 años y medio

3.4. Conclusiones parciales:

- La simulación de pre-dimensionado en PVsyst de la instalación para el área de la cubierta del hotelito demostró que los paneles ubicados a 15 grados según UNE podrían generar 57.1 kWp, y a 22 grados 53.8 kWp.
- La generación óptima de electricidad, para el pre-dimensionado del sistema estará dada, en condiciones muy específicas, por la ubicación de los paneles a 0 grados de azimut (sur) y 15 grados de inclinación logrando 94.6 MWh/año.
- Los mejores valores obtenidos fueron resultado de la simulación definitiva del sistema con todos los parámetros eléctricos y de ubicación en cuenta, obteniéndose 69.52 MWh/año y lográndose la sustitución de una parte considerable de la energía consumida por el edificio.
- Un análisis mensual más detallado arrojó posibilidades de inyección a la red de energía excedente en algunos períodos del año.
- La estimación inicial del período de recuperación simple de la inversión para el sistema resultó en que en 8 años y medio aproximadamente se repodrían los gastos, valor este que hay que someter a futuras consideraciones.

Conclusiones:

- Actualmente las condiciones económicas del país exigen un uso más generalizado y eficiente de las fuentes de energía renovables prestando especial atención a la solar fotovoltaica. Esto hace que se evalúen posibilidades para las instituciones como la Universidad de Cienfuegos en ese sentido.
- Se logró estudiar y conocer las ventajas del uso de los paneles solares en cubiertas, una tendencia actual dentro del tema y los principales efectos de la ubicación de los paneles como la inclinación y el azimut sobre la generación de electricidad. Estas características se abordaron desde la idea de sustituir parte del consumo eléctrico del hotelito universitario de posgrado por la solar fotovoltaica, edificio cuya demanda eléctrica tiene características muy particulares dentro del campus y tiene una buen área de cubierta.
- Fue eficiente el uso del software PVsyst para la simulación del sistema solar fotovoltaico arrojando resultados bien importantes para el contexto actual.
- La simulación arrojó que el óptimo de generación eléctrica al año ocurre con los paneles orientados al sur (0 grados de azimut) e inclinados a 22 grados, lográndose como máximo 69.52 MWh/año.
- En el mes de junio y diciembre, propio de las características de consumo de estos meses hace que puedan ser entregada a la red 3.4195 MWh y 2.297 MWh excedentes.
- Para un año con características normales se puede hablar de un grado de sustitución del consumo del edificio de alrededor del 52.05 %, valor que refleja la factibilidad del sistema.
- La estimación inicial del período de recuperación simple de la inversión para el sistema resultó en que en 8 años y medio se repodrían los gastos, valor este que hay que someter a futuras consideraciones.

Recomendaciones

- Continuar investigando sobre las potencialidades del uso de los sistemas fotovoltaicos instalados en cubierta para su posible despliegue en edificios tipo Girón.
- Desarrollar el diseño de proyecto en PVsyst para un análisis más completo y definitivo de resultados de la generación solar en edificios universitarios.
- Estimar mediante otros métodos económicos el período de recuperación de la inversión (VAN, TIR).
- Evaluar la posibilidad de extender esta experiencia de simulación a otros edificios universitarios.

Bibliografía

Becerra, R. M. (2019). Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en la Delegación Provincial de Materiales de la Construcción. Cienfuegos. Universidad de Cienfuegos.

Cero Grados Sur. (2020). Placas solares para naves industriales. http://www.cerogradossur.es/placas-solares-para-naves-industriales/

Copextel. (2019). Suministro, instalación y montaje.

Cronemberger, J. (2015). Integración de sistemas fotovoltaicos en edificios de oficinas. Universidad Politécnica de Madrid.

Departamento de Mantenimiento. (2018). Reportes de consumo eléctrico Universidad de Cienfuegos. UCF.

Departamento de Mantenimiento. (2020). Planos de la Universidad de Cienfuegos Sede CRR. Union Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.

Google. (2020). Universidad de Cienfuegos. Google Maps. https://www.google.com/maps/place/Universidad+de+Cienfuegos+Carlos+Rafael+Rodr%C3%ADguez/@22.1722523,-80.4505172,147m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8f2b37de0f4b7465:0xdeba3a5a13295f56!8m2!3d22.1725622!4d-80.450542

López, A. (2018). Intervención en 11no Congreso Internacional Universidad 2018. Ministerio de Energía y Minas. www.congresouniversidad.cu

Mascarós, V. (2015). Instalaciones generadoras fotovoltaicas. Paraninfo.

Menendez, S. (2016). Dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo para el Nodo Central de la Red del ISMMM. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa ISMMM.

Ministerio de Justicia. (2019). Decreto Ley 345 “Desarrollo de fuentes renovables y uso eficiente de la energía.” Ministerio de Justicia de la República de Cuba.

Monteagudo, J. P., Jiménez, R., & Morales, D. (2020). Potencialidades del uso de la energía solar en la sede “Carlos Rafael Rodriguez” de la Universidad de Cienfuegos. Congreso Universidad 2020.

Morales, D. (2017). Anteproyecto de sistema fotovoltaico para la Universidad de Cienfuegos Sede “Carlos Rafael Rodriguez.” Universidad de Cienfuegos.

Mundial, B. (2016). Acceso a la electricidad (% de población). http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS

Numen Solar. (2019). Especificaciones técnicas serie DSM-270. www.cce.cu

Oficina Nacional de Estadísticas e Información. (2016). *Anuario Estadístico de Cuba 2015*. www.one.cu

PVsyst Team. (2020). PVsyst Photovoltaic Software. https://www.pvsyst.com/download-pvsyst/

SMA Solar Technology. (2019). Sunny Tripower 15000TL-20000TL-25000TL. www.sma-solar.com

Stapleton, G., & Neill, S. (2012). Grid connected Solar Electric Systems. Frank Jackson.

Stolik, D. (2011). Necesidad de un programa fotovoltaico para Cuba. *Energía Y Tú*, 53.

Stolik, D. (2014). La energía fotovoltaica: oportunidad y necesidad para Cuba. *Economía Y Desarrollo*, 2. www.scielo.sld.cu

Stolik, D. (2019). Energía fotovoltaica para Cuba. Cubasolar. http://www.cubasolar.cu

Anexos

Anexo 1: Resultados completos de simulación (15 grados de inclinación y -45 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h26		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	15°	Acimut	-45°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²

Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV

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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

PVsyst PRUEBA

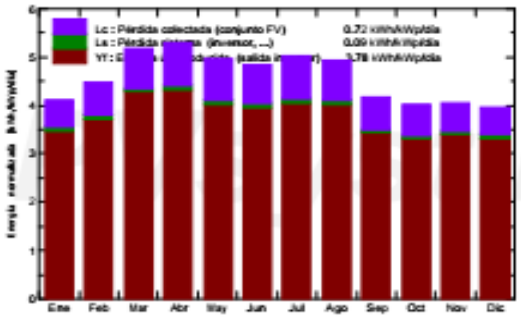
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

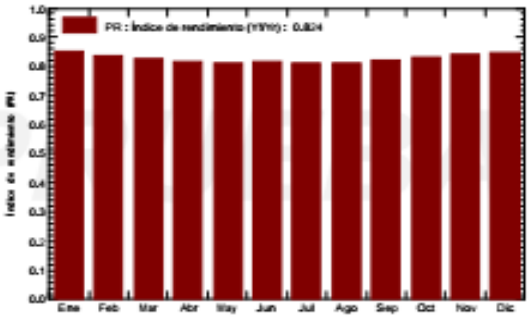
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			
Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**68.22 MWh/año**	Produc. específica	1378 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.44 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	127.2	122.6	5.466	5.343	0.849
Febrero	116.9	53.80	21.54	124.8	120.2	5.278	5.164	0.836
Marzo	154.5	78.30	23.63	160.4	154.6	6.694	6.560	0.826
Abril	159.0	77.50	24.46	158.9	153.3	6.565	6.423	0.817
Mayo	156.2	80.20	26.31	153.7	148.1	6.321	6.178	0.812
Junio	150.5	82.80	26.63	145.2	139.5	6.000	5.862	0.815
Julio	160.7	80.40	27.16	155.4	149.4	6.363	6.218	0.808
Agosto	155.7	84.30	27.14	153.1	147.3	6.286	6.145	0.811
Septiembre	123.7	70.50	25.55	125.4	120.9	5.212	5.089	0.820
Octubre	116.1	67.00	24.92	124.1	119.6	5.208	5.089	0.829
Noviembre	110.4	54.20	22.11	121.3	116.7	5.156	5.045	0.840
Diciembre	107.3	46.40	21.53	122.2	117.5	5.218	5.103	0.844
Año	1624.3	828.69	24.26	1671.7	1609.5	69.766	68.218	0.824

Leyendas:
- GlobHor: Irradiación global horizontal
- DiffHor: Irradiación difusa horizontal
- T_Amb: T amb.
- GlobInc: Global incidente plano receptor
- GlobEff: Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray: Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid: Energía inyectada en la red
- PR: Índice de rendimiento

Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

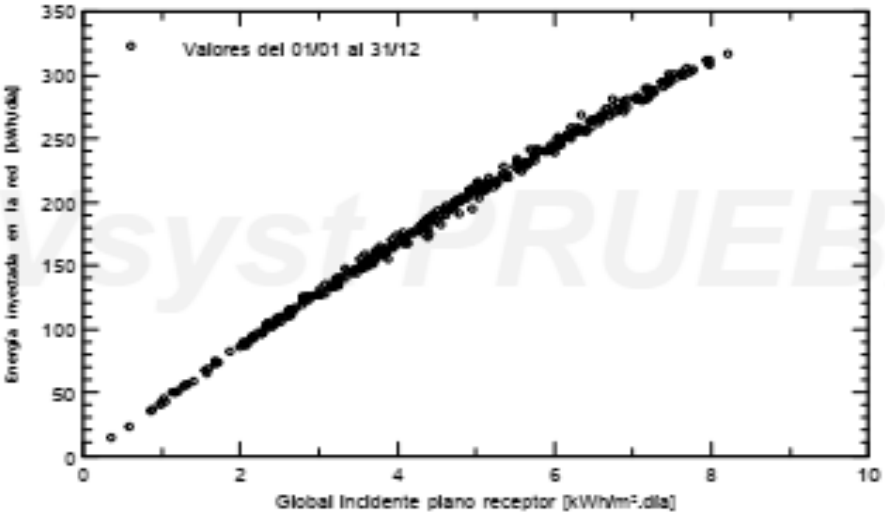
Proyecto : Nuevo Proyecto

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

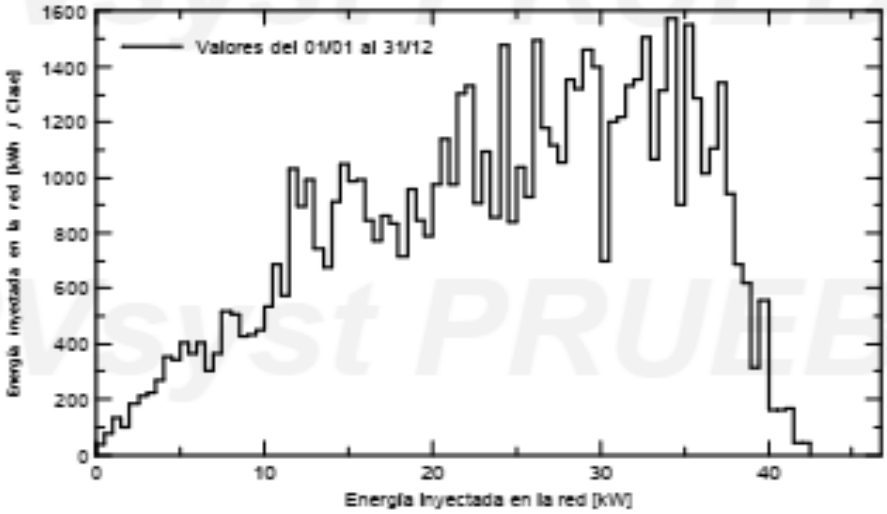
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

PVsyst PRUEBA

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



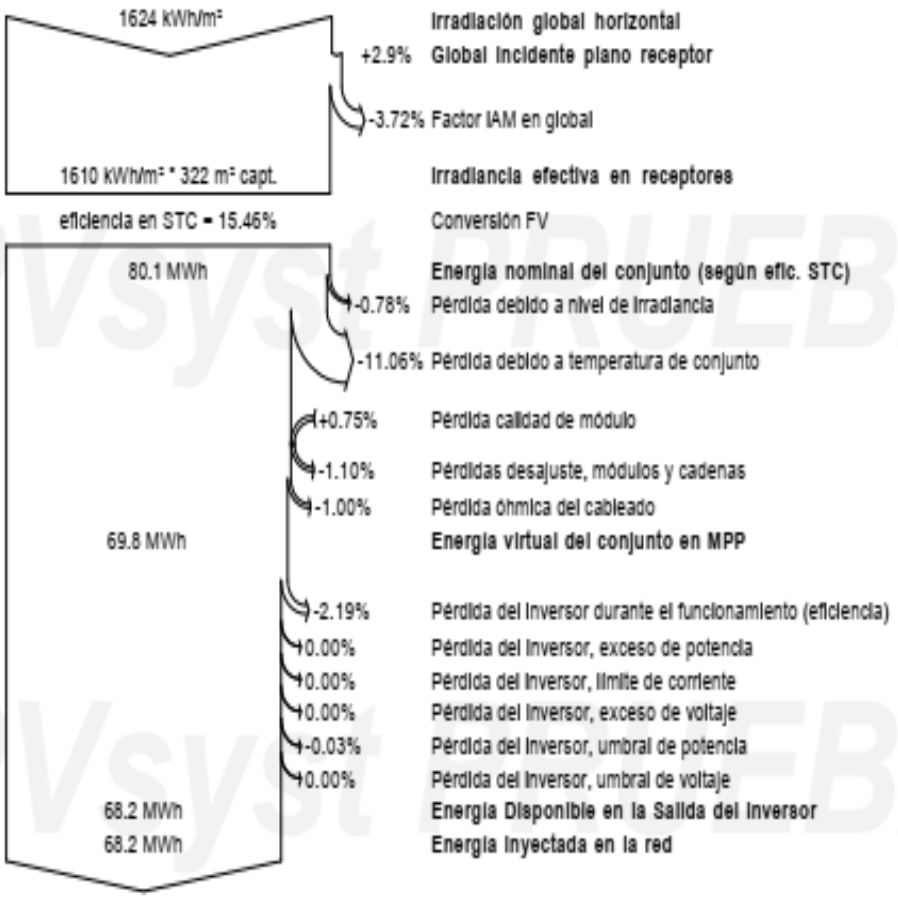
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 2: Resultados completos de simulación (15 grados de inclinación y 90 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h22		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	15°	Acimut	90°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²
Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV				
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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

PVsyst PRUEBA

CEEMA

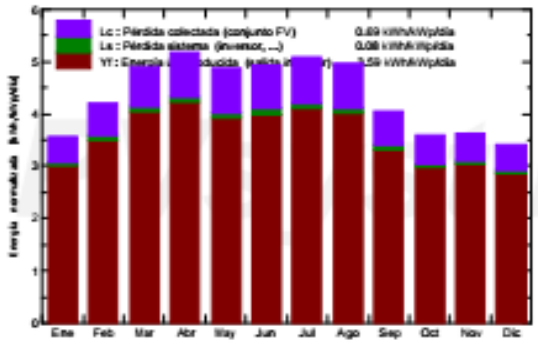
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

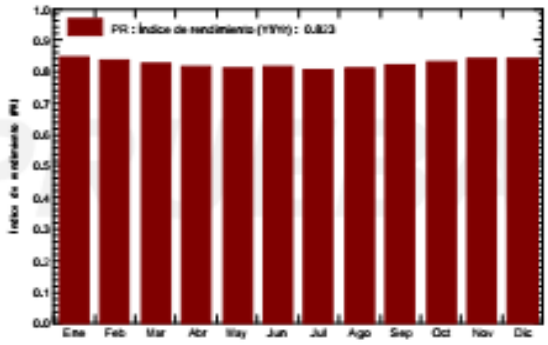
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**			
Orientación Campos FV	inclinación	15°		acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells		Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198		Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30			20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0		Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)				
Resultados principales de la simulación					
Producción del sistema	**Energía producida**	**64.83 MWh/año**	Produc. específica		1310 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.33 %			

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	110.1	104.8	4.722	4.610	0.846
Febrero	116.9	53.80	21.54	117.4	112.6	4.969	4.860	0.837
Marzo	154.5	78.30	23.63	151.8	146.1	6.346	6.217	0.828
Abril	159.0	77.50	24.46	155.4	149.8	6.415	6.276	0.816
Mayo	156.2	80.20	26.31	150.6	145.1	6.176	6.034	0.809
Junio	150.5	82.80	26.63	147.4	141.9	6.076	5.937	0.814
Julio	160.7	80.40	27.16	157.8	152.0	6.449	6.304	0.807
Agosto	155.7	84.30	27.14	153.8	148.2	6.315	6.174	0.811
Septiembre	123.7	70.50	25.55	121.3	116.5	5.055	4.935	0.822
Octubre	116.1	67.00	24.92	111.2	106.5	4.681	4.568	0.830
Noviembre	110.4	54.20	22.11	108.5	103.8	4.622	4.516	0.841
Diciembre	107.3	46.40	21.53	105.5	100.5	4.502	4.395	0.842
Año	1624.3	828.69	24.26	1590.7	1527.7	66.328	64.827	0.823

Leyendas:
- GlobHor — Irradiación global horizontal
- DiffHor — Irradiación difusa horizontal
- T_Amb — T amb.
- GlobInc — Global incidente plano receptor
- GlobEff — Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray — Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid — Energía inyectada en la red
- PR — Índice de rendimiento

PVSYST PRUEBA

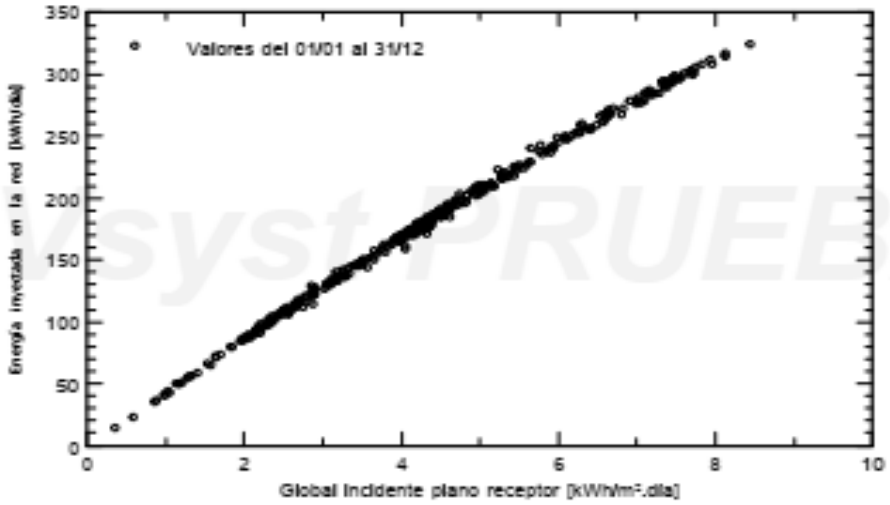
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

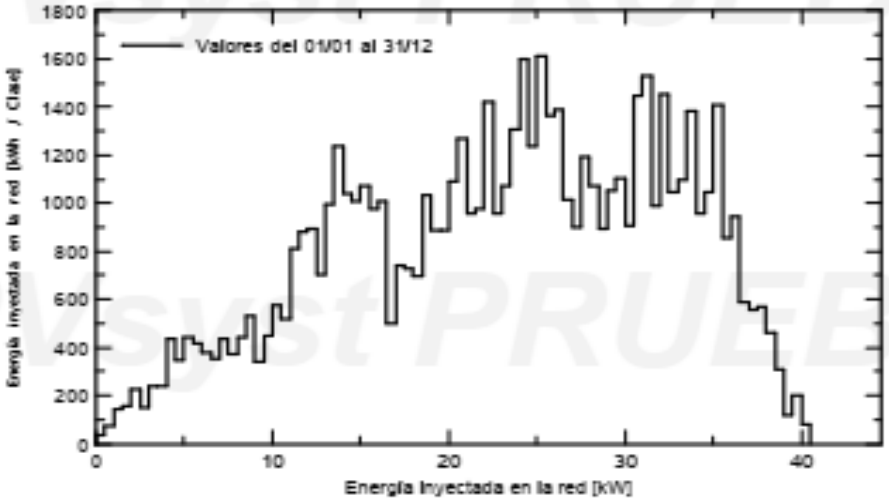
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

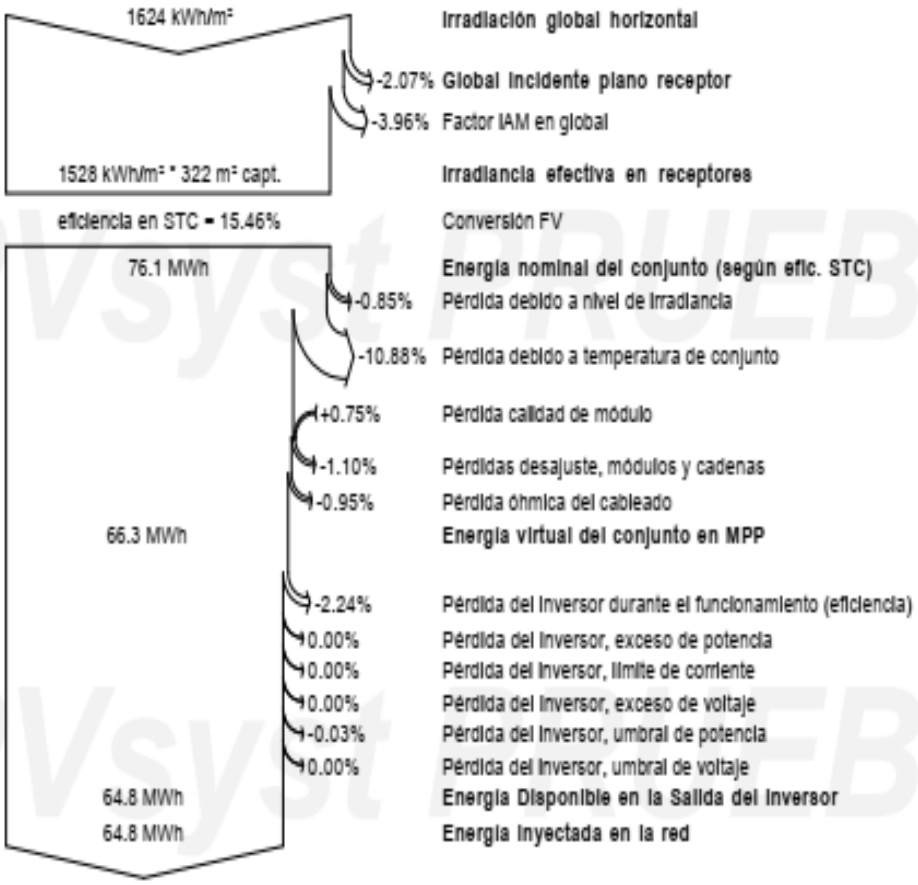
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 3: Resultados completos de simulación (15 grados de inclinación y 180 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h24		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	15°	Acimut	180°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²

Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV

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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

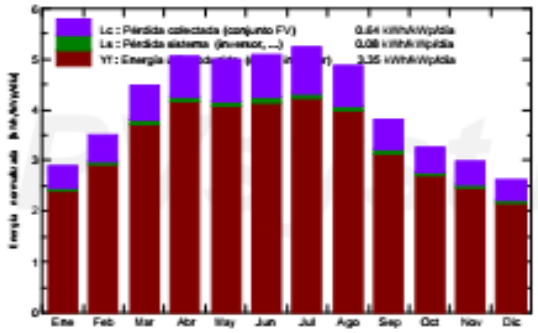
Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

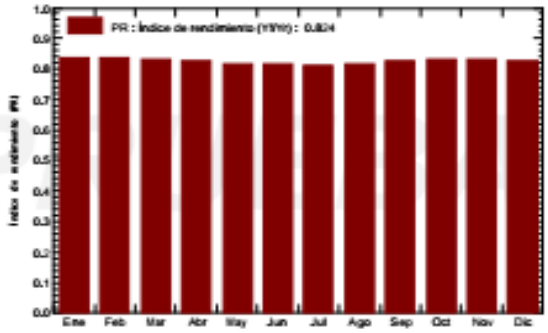
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**60.50 MWh/año**	Produc. específica	1222 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.35 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	89.4	82.7	3.799	3.696	0.835
Febrero	116.9	53.80	21.54	98.0	92.1	4.150	4.050	0.835
Marzo	154.5	78.30	23.63	138.9	132.3	5.837	5.716	0.831
Abril	159.0	77.50	24.46	151.8	146.1	6.326	6.192	0.824
Mayo	156.2	80.20	26.31	154.7	149.2	6.386	6.244	0.815
Junio	150.5	82.80	26.63	152.3	146.7	6.302	6.162	0.817
Julio	160.7	80.40	27.16	161.6	155.7	6.637	6.492	0.812
Agosto	155.7	84.30	27.14	150.9	145.2	6.240	6.103	0.817
Septiembre	123.7	70.50	25.55	114.2	109.1	4.787	4.671	0.826
Octubre	116.1	67.00	24.92	101.3	95.8	4.269	4.163	0.830
Noviembre	110.4	54.20	22.11	89.2	83.1	3.775	3.679	0.833
Diciembre	107.3	46.40	21.53	81.7	74.9	3.428	3.332	0.824
Año	1624.3	828.69	24.26	1484.2	1412.9	61.935	60.500	0.824

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
	DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
	T_Amb	T amb.	E_Grid	Energía inyectada en la red
	GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Índice de rendimiento

PVsyst PRUEBA

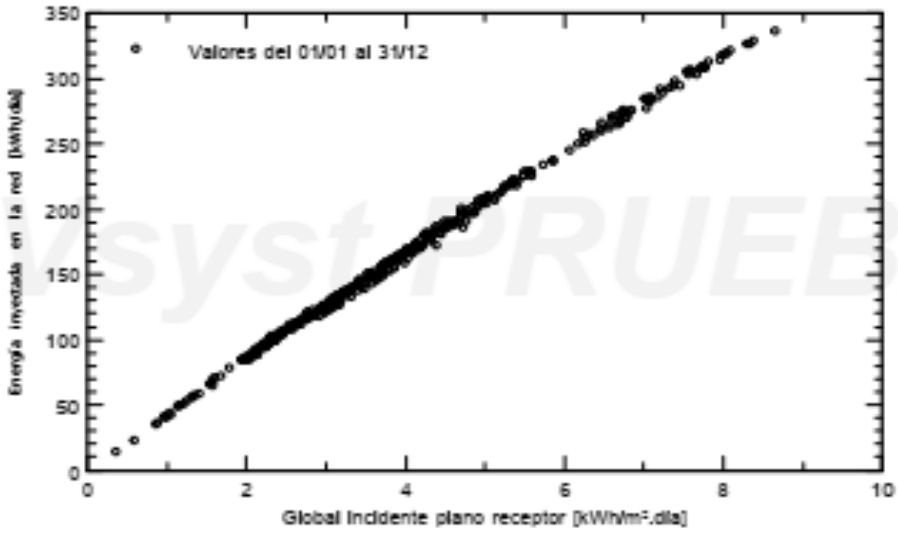
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

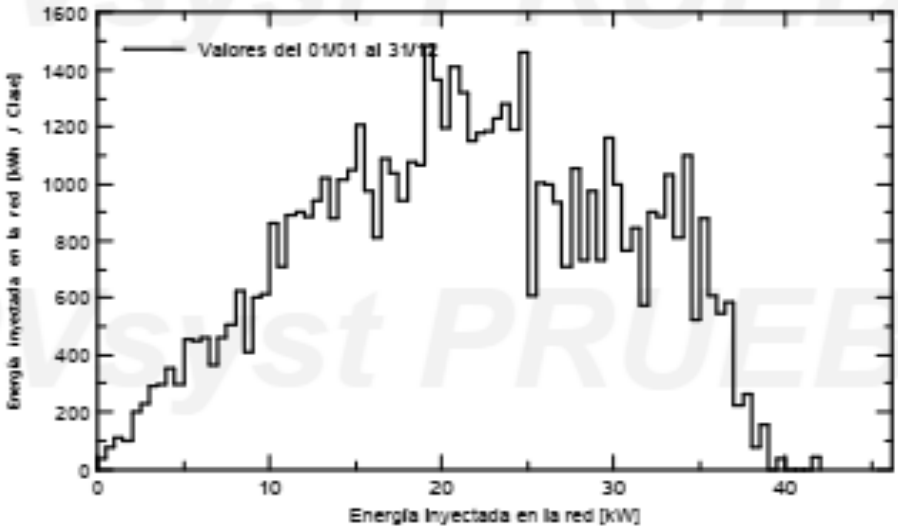
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



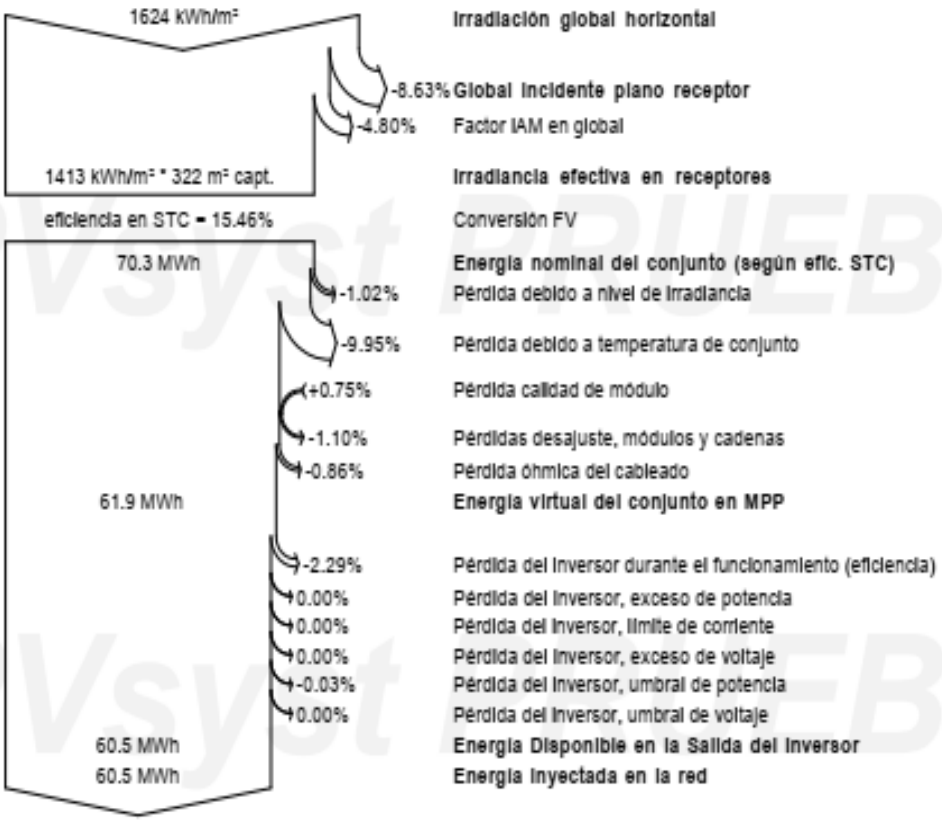
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 4: Resultados completos de simulación (15 grados de inclinación y 0 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h16		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	15°	Acimut	0°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²
Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.82

Factores de pérdida del conjunto FV				
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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

PVsyst PRUEBA

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

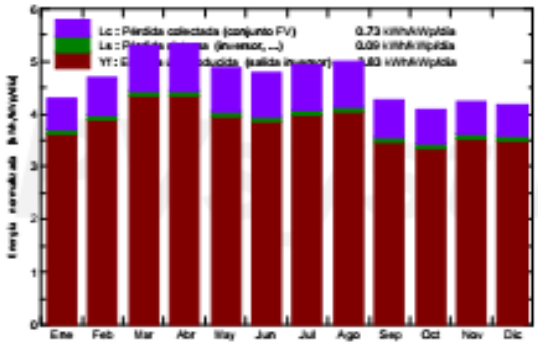
Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

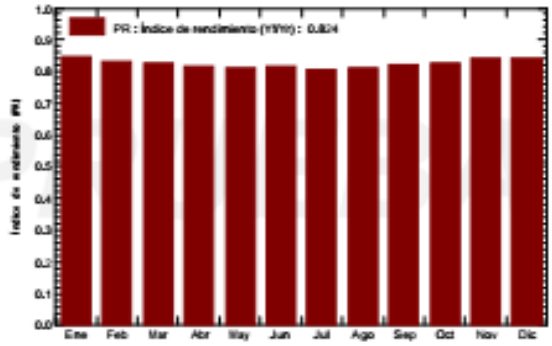
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**69.21 MWh/año**	Produc. específica	1398 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.36 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	132.7	128.4	5.698	5.574	0.848
Febrero	116.9	53.80	21.54	131.1	126.5	5.526	5.410	0.833
Marzo	154.5	78.30	23.63	163.9	158.0	6.824	6.688	0.824
Abril	159.0	77.50	24.46	159.6	153.9	6.587	6.446	0.816
Mayo	156.2	80.20	26.31	151.1	145.3	6.204	6.062	0.811
Junio	150.5	82.80	26.63	142.8	137.0	5.891	5.754	0.814
Julio	160.7	80.40	27.16	153.0	146.9	6.259	6.115	0.807
Agosto	155.7	84.30	27.14	154.3	148.5	6.333	6.192	0.811
Septiembre	123.7	70.50	25.55	127.6	122.8	5.295	5.171	0.819
Octubre	116.1	67.00	24.92	125.9	121.4	5.278	5.159	0.828
Noviembre	110.4	54.20	22.11	126.7	122.4	5.374	5.261	0.839
Diciembre	107.3	46.40	21.53	128.8	124.5	5.491	5.373	0.843
Año	1624.3	828.69	24.26	1697.6	1635.6	70.760	69.206	0.824

Leyendas:
- GlobHor — Irradiación global horizontal
- DiffHor — Irradiación difusa horizontal
- T_Amb — T amb.
- GlobInc — Global incidente plano receptor
- GlobEff — Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray — Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid — Energía inyectada en la red
- PR — Índice de rendimiento

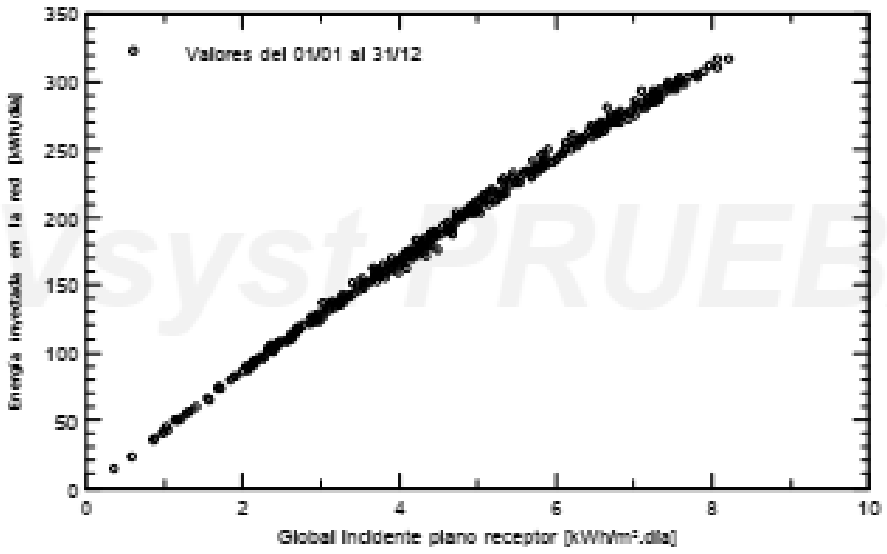
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

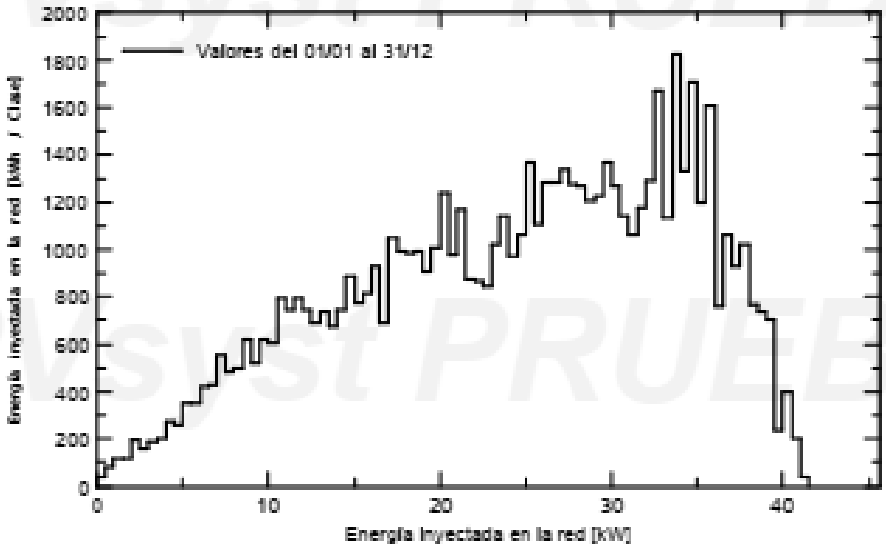
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	0°
Modulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

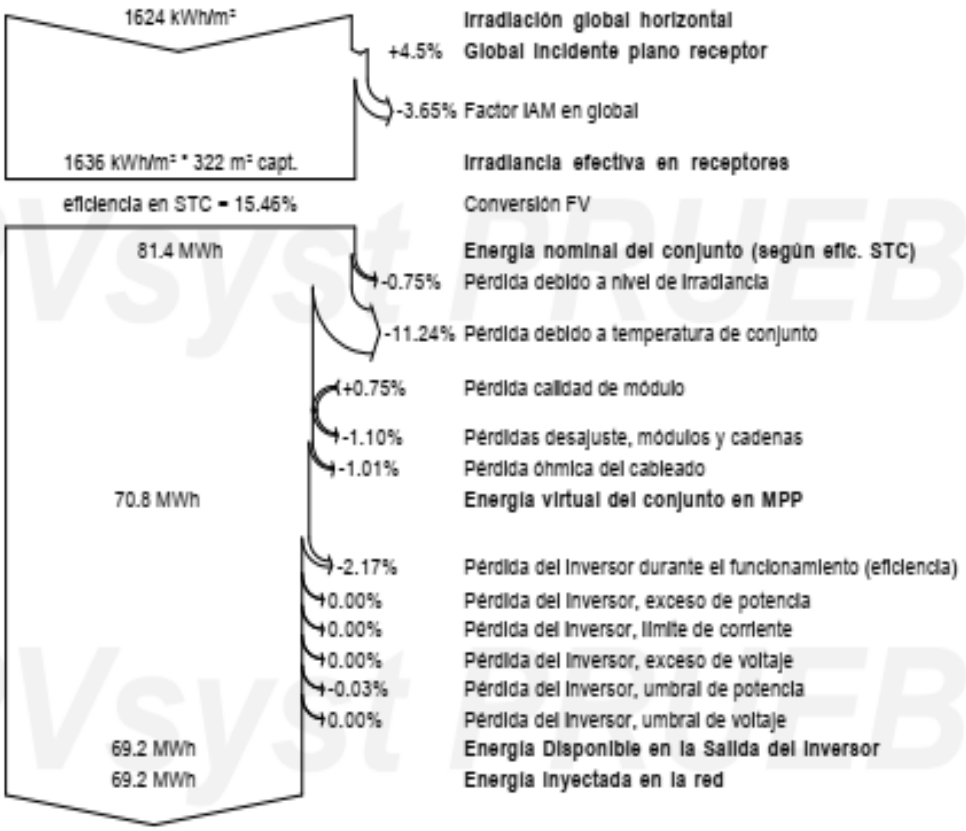
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 5: Resultados completos de simulación (15 grados de inclinación y 45 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h19		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	15°	Acimut	45°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²

Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV

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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

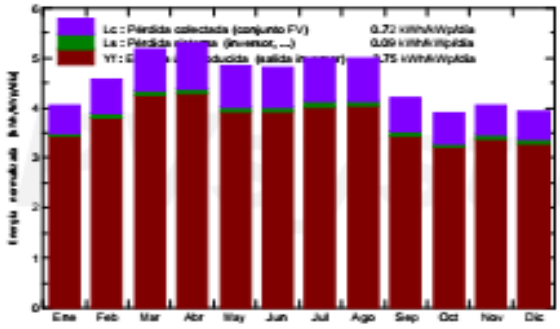
Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

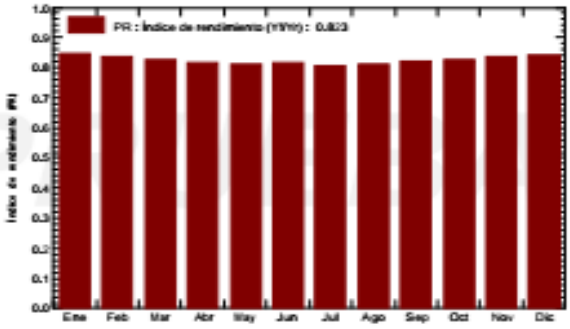
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**67.81 MWh/año**	Produc. específica	1370 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.29 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	125.6	120.9	5.388	5.268	0.847
Febrero	116.9	53.80	21.54	127.7	123.3	5.393	5.278	0.835
Marzo	154.5	78.30	23.63	160.1	154.3	6.667	6.533	0.824
Abril	159.0	77.50	24.46	158.3	152.6	6.524	6.384	0.815
Mayo	156.2	80.20	26.31	150.1	144.6	6.160	6.018	0.810
Junio	150.5	82.80	26.63	144.2	138.6	5.948	5.811	0.814
Julio	160.7	80.40	27.16	154.8	148.8	6.327	6.183	0.807
Agosto	155.7	84.30	27.14	154.7	149.0	6.345	6.204	0.810
Septiembre	123.7	70.50	25.55	125.9	121.1	5.230	5.108	0.819
Octubre	116.1	67.00	24.92	120.6	115.9	5.053	4.936	0.827
Noviembre	110.4	54.20	22.11	121.2	116.7	5.137	5.025	0.838
Diciembre	107.3	46.40	21.53	121.6	117.0	5.180	5.066	0.842
Año	1624.3	828.69	24.26	1664.8	1602.8	69.352	67.812	0.823

Leyendas:
- GlobHor — Irradiación global horizontal
- DiffHor — Irradiación difusa horizontal
- T_Amb — T amb.
- GlobInc — Global incidente plano receptor
- GlobEff — Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray — Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid — Energía inyectada en la red
- PR — Índice de rendimiento

PVsyst PRUEBA

Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

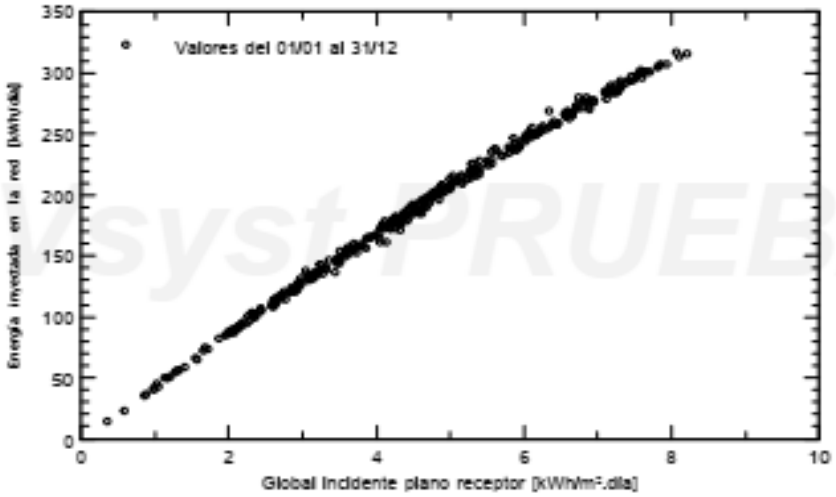
Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

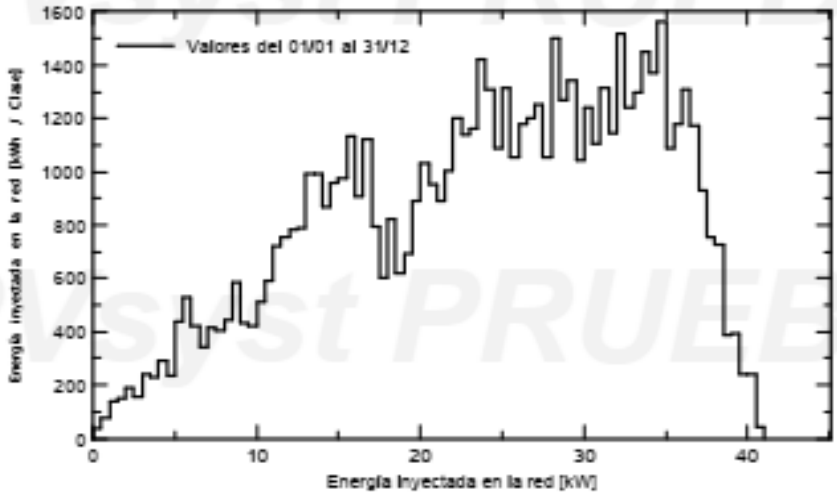
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

PVsyst PRUEBA

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



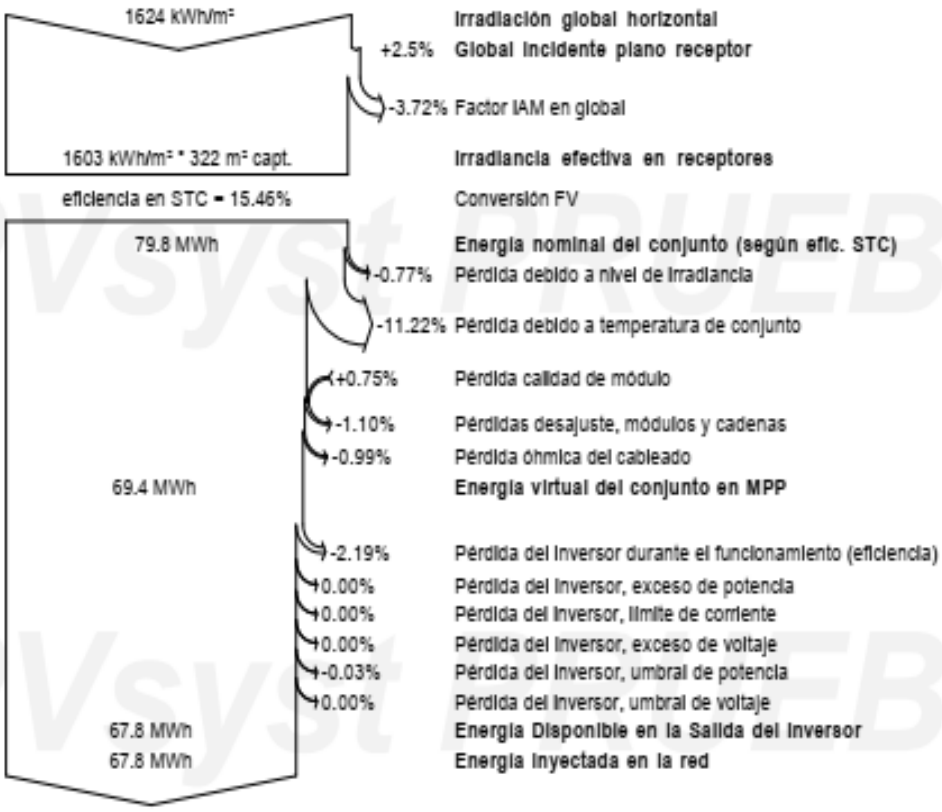
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	15°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 6: Resultados completos de simulación (22 grados de inclinación y -45 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h12		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	-45°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²
Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV				
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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

PVsyst PRUEBA

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

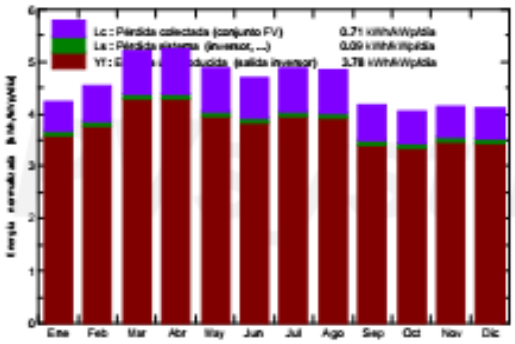
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

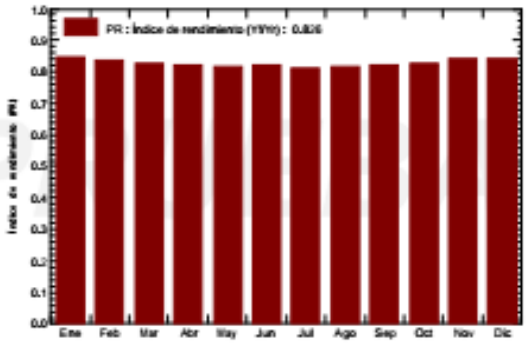
Resultados principales de la simulación

Producción del sistema	**Energía producida**	**68.22 MWh/año**	Produc. específica	1378 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.62 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	131.5	127.2	5.641	5.516	0.847
Febrero	116.9	53.80	21.54	126.6	122.4	5.358	5.243	0.837
Marzo	154.5	78.30	23.63	160.7	155.5	6.722	6.587	0.828
Abril	159.0	77.50	24.46	156.5	151.4	6.487	6.346	0.819
Mayo	156.2	80.20	26.31	150.3	145.1	6.207	6.066	0.815
Junio	150.5	82.80	26.63	140.7	135.5	5.840	5.704	0.819
Julio	160.7	80.40	27.16	150.5	145.0	6.193	6.049	0.812
Agosto	155.7	84.30	27.14	149.5	144.3	6.161	6.021	0.814
Septiembre	123.7	70.50	25.55	124.7	120.5	5.185	5.061	0.820
Octubre	116.1	67.00	24.92	125.8	121.6	5.277	5.158	0.828
Noviembre	110.4	54.20	22.11	124.4	120.1	5.281	5.167	0.839
Diciembre	107.3	46.40	21.53	127.0	122.7	5.419	5.301	0.843
Año	1624.3	828.69	24.26	1668.1	1611.2	69.771	68.219	0.826

Leyendas:
- GlobHor — Irradiación global horizontal
- DiffHor — Irradiación difusa horizontal
- T_Amb — T amb.
- GlobInc — Global incidente plano receptor
- GlobEff — Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray — Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid — Energía inyectada en la red
- PR — Índice de rendimiento

PVsyst PRUEBA

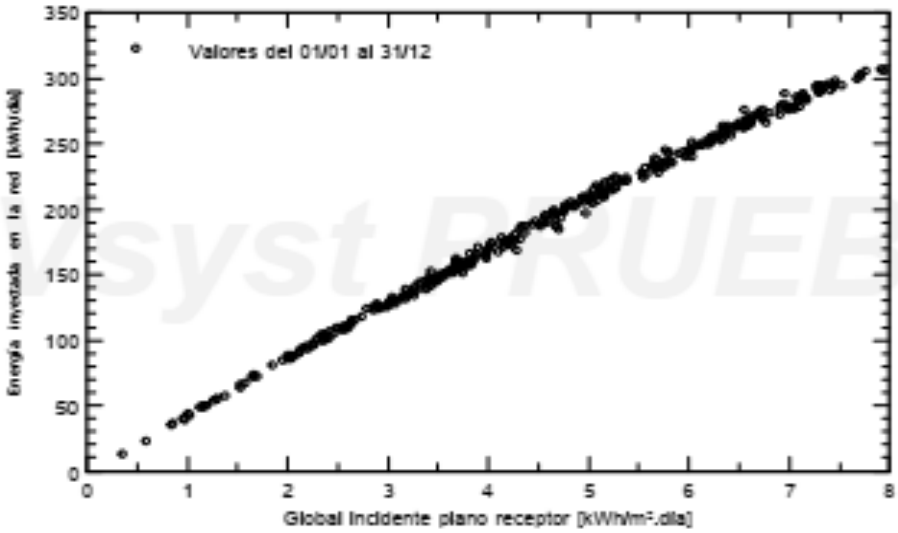
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

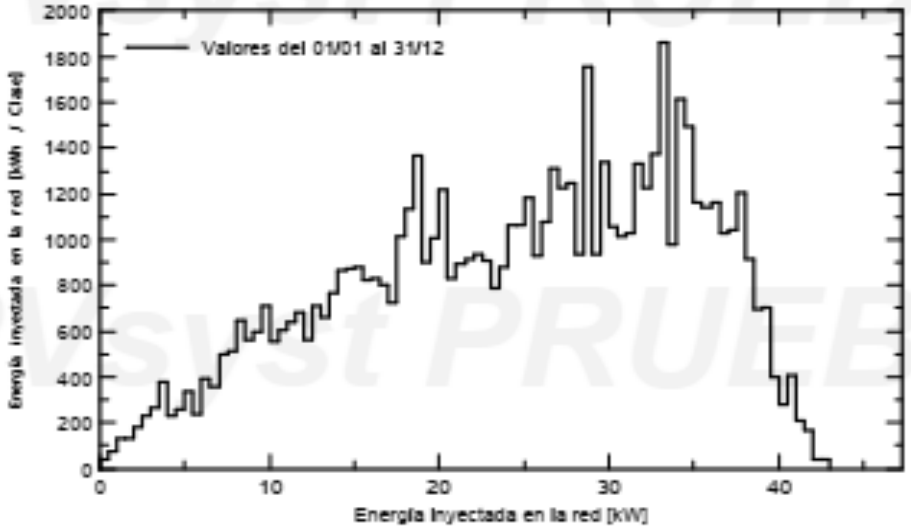
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	22°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

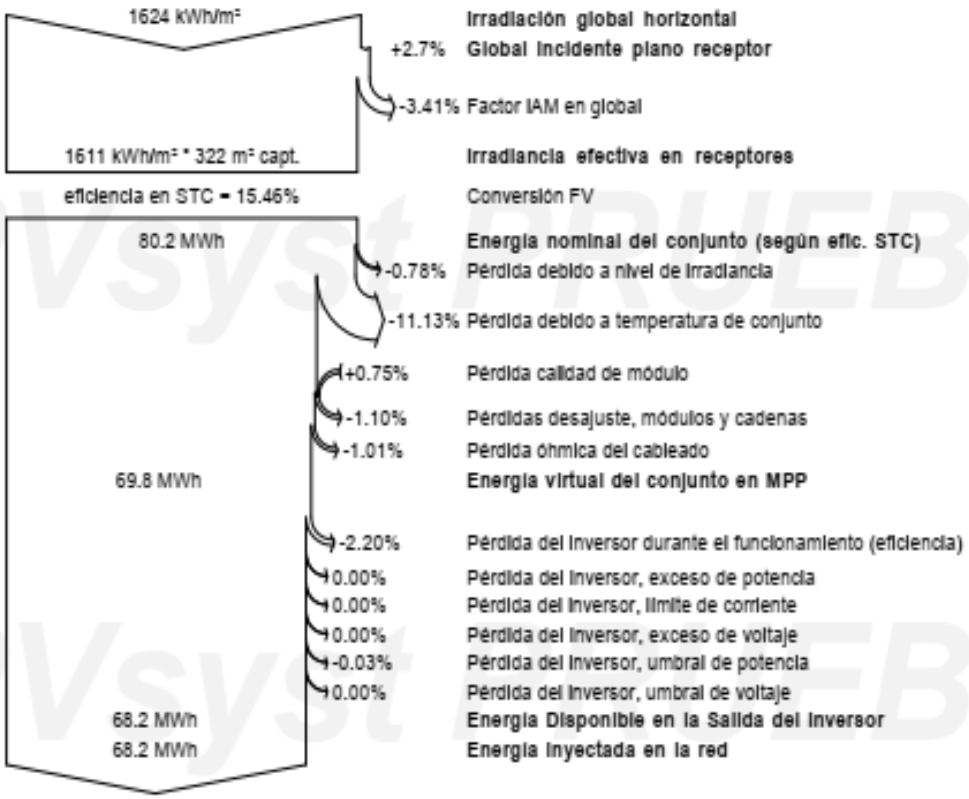
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	-45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 7: Resultados completos de simulación (22 grados de inclinación y 0 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 11h59		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	0°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²
Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV				
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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

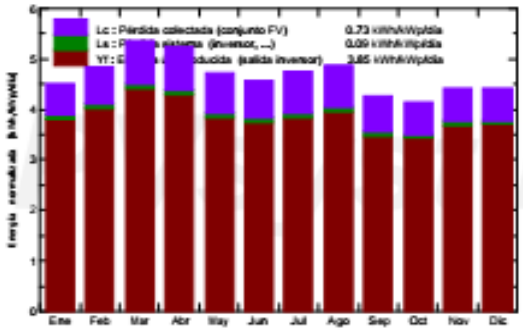
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

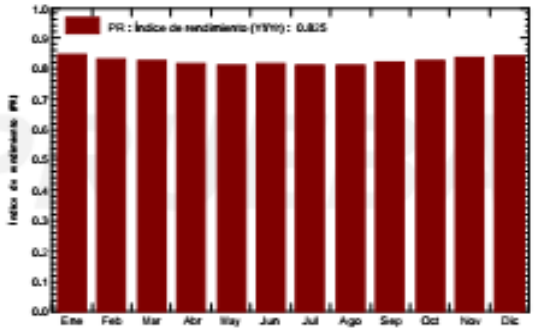
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**			
Orientación Campos FV	inclinación	22°		acimut	0°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells		Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198		Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30			20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0		Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)				
Resultados principales de la simulación					
Producción del sistema	**Energía producida**	**69.52 MWh/año**	Produc. específica		1404 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.46 %			

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	139.5	135.5	5.974	5.846	0.847
Febrero	116.9	53.80	21.54	135.5	131.2	5.703	5.584	0.833
Marzo	154.5	78.30	23.63	165.5	159.9	6.891	6.755	0.824
Abril	159.0	77.50	24.46	157.1	151.6	6.495	6.355	0.817
Mayo	156.2	80.20	26.31	146.1	140.6	6.018	5.879	0.813
Junio	150.5	82.80	26.63	136.9	131.4	5.672	5.537	0.817
Julio	160.7	80.40	27.16	146.9	141.2	6.038	5.897	0.811
Agosto	155.7	84.30	27.14	151.0	145.4	6.211	6.072	0.812
Septiembre	123.7	70.50	25.55	127.4	122.9	5.289	5.165	0.819
Octubre	116.1	67.00	24.92	128.5	124.3	5.383	5.262	0.827
Noviembre	110.4	54.20	22.11	132.2	128.3	5.598	5.481	0.837
Diciembre	107.3	46.40	21.53	136.5	132.7	5.809	5.687	0.841
Año	1624.3	828.69	24.26	1703.2	1645.0	71.081	69.519	0.825

Leyendas:
- GlobHor — Irradiación global horizontal
- DiffHor — Irradiación difusa horizontal
- T_Amb — T amb.
- GlobInc — Global incidente plano receptor
- GlobEff — Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- EArray — Energía efectiva en la salida del conjunto
- E_Grid — Energía inyectada en la red
- PR — Índice de rendimiento

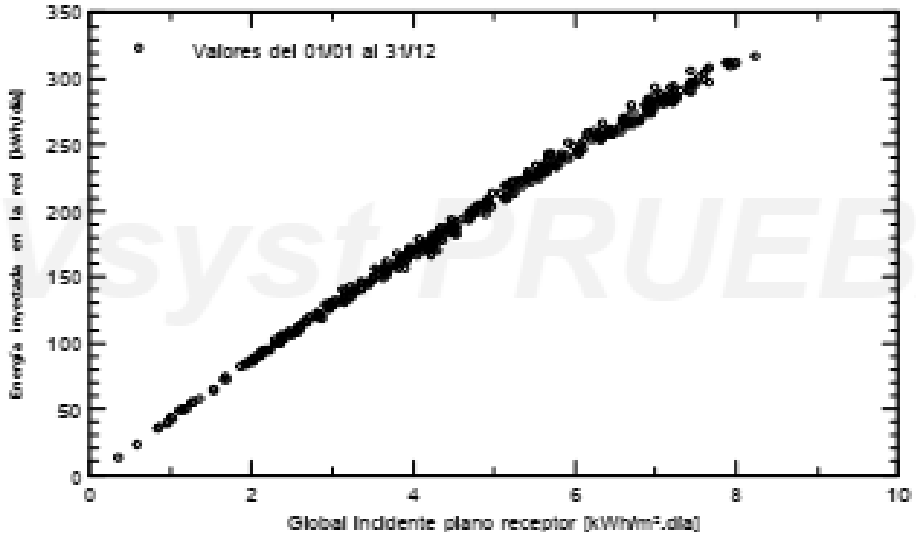
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

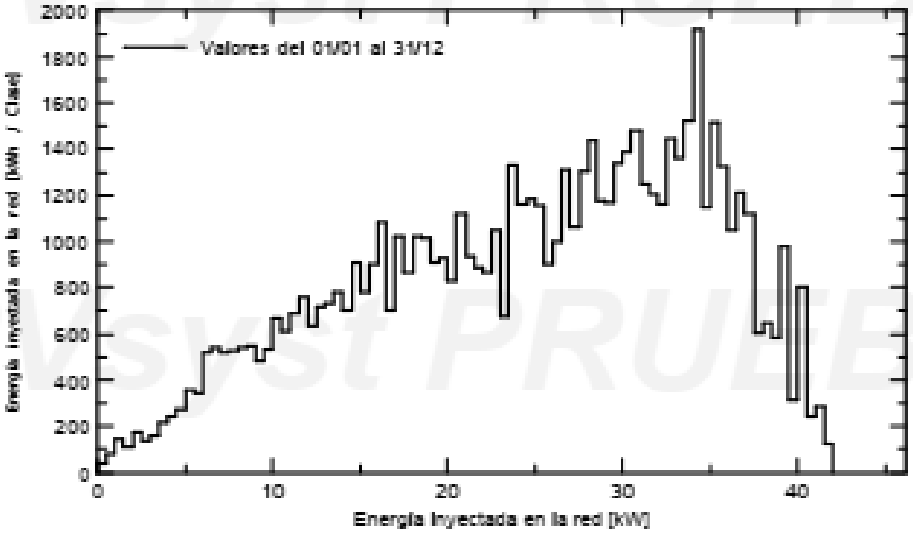
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	22°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

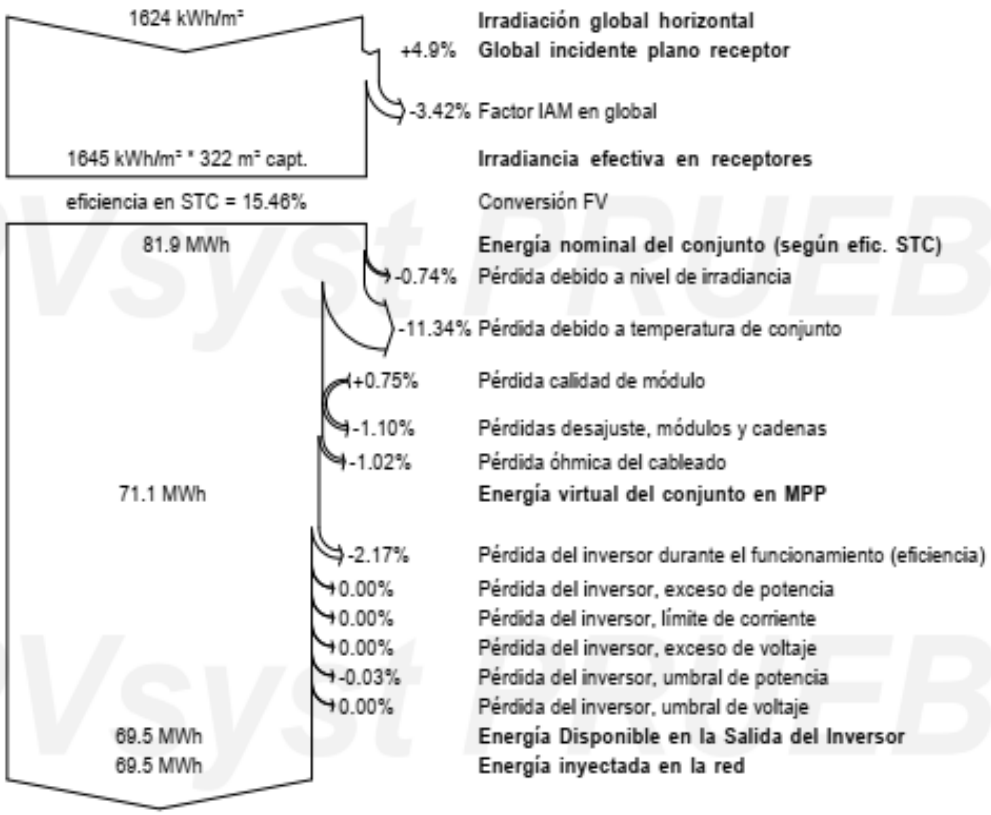
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 8: Resultados completos de simulación (22 grados de inclinación y 45 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 12h05		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	45°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV				
Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²
Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV				
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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

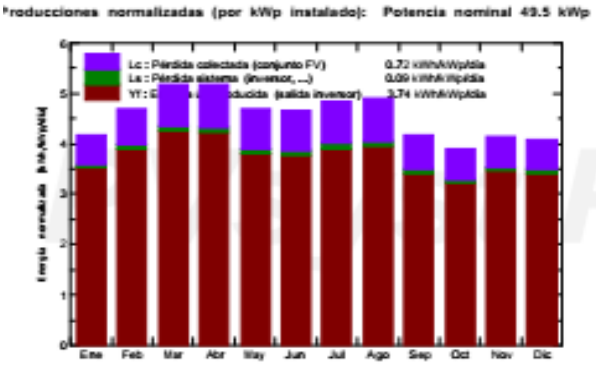
PVsyst PRUEBA

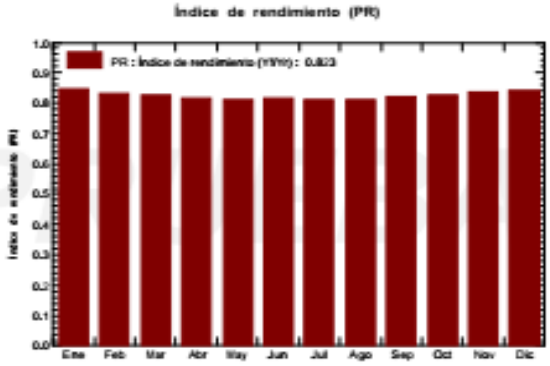
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			
Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**67.55 MWh/año**	Produc. específica	1365 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.34 %		





Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	129.2	124.8	5.529	5.407	0.846
Febrero	116.9	53.80	21.54	130.9	126.8	5.516	5.399	0.833
Marzo	154.5	78.30	23.63	160.3	155.1	6.681	6.546	0.825
Abril	159.0	77.50	24.46	155.2	150.0	6.406	6.267	0.816
Mayo	156.2	80.20	26.31	145.1	139.9	5.966	5.826	0.811
Junio	150.5	82.80	26.63	139.3	133.9	5.758	5.623	0.815
Julio	160.7	80.40	27.16	149.8	144.2	6.140	5.997	0.809
Agosto	155.7	84.30	27.14	151.6	146.3	6.230	6.090	0.812
Septiembre	123.7	70.50	25.55	124.9	120.5	5.193	5.071	0.820
Octubre	116.1	67.00	24.92	120.7	116.3	5.058	4.940	0.827
Noviembre	110.4	54.20	22.11	124.2	120.1	5.254	5.141	0.836
Diciembre	107.3	46.40	21.53	126.1	122.0	5.364	5.247	0.841
Año	1624.3	828.69	24.26	1657.5	1599.8	69.096	67.553	0.823

Leyendas:

GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Índice de rendimiento

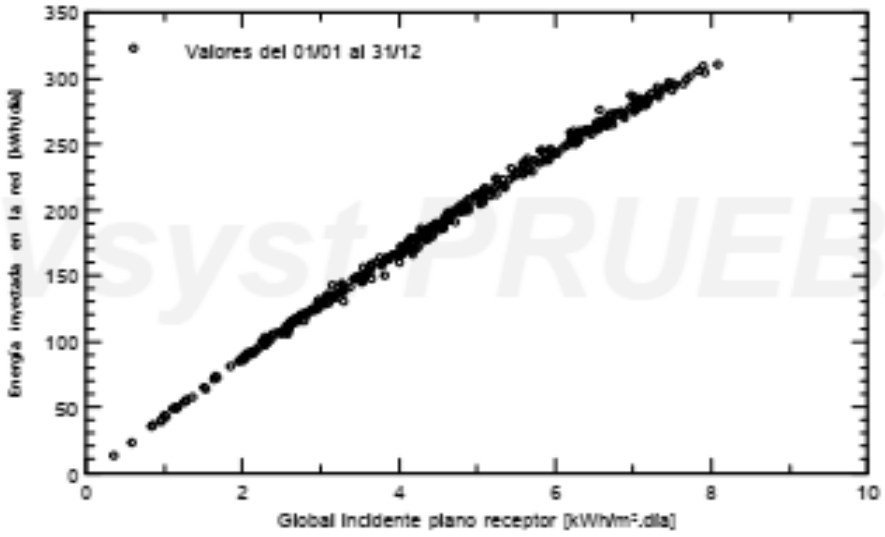
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

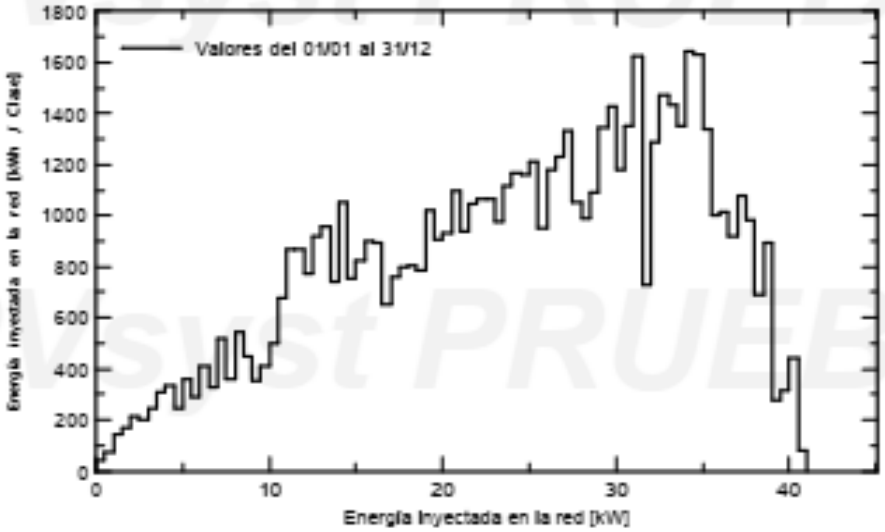
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema				
Tipo de sistema	No hay escenario 3D, no hay sombreados			
Orientación Campos FV	Inclinación	22°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

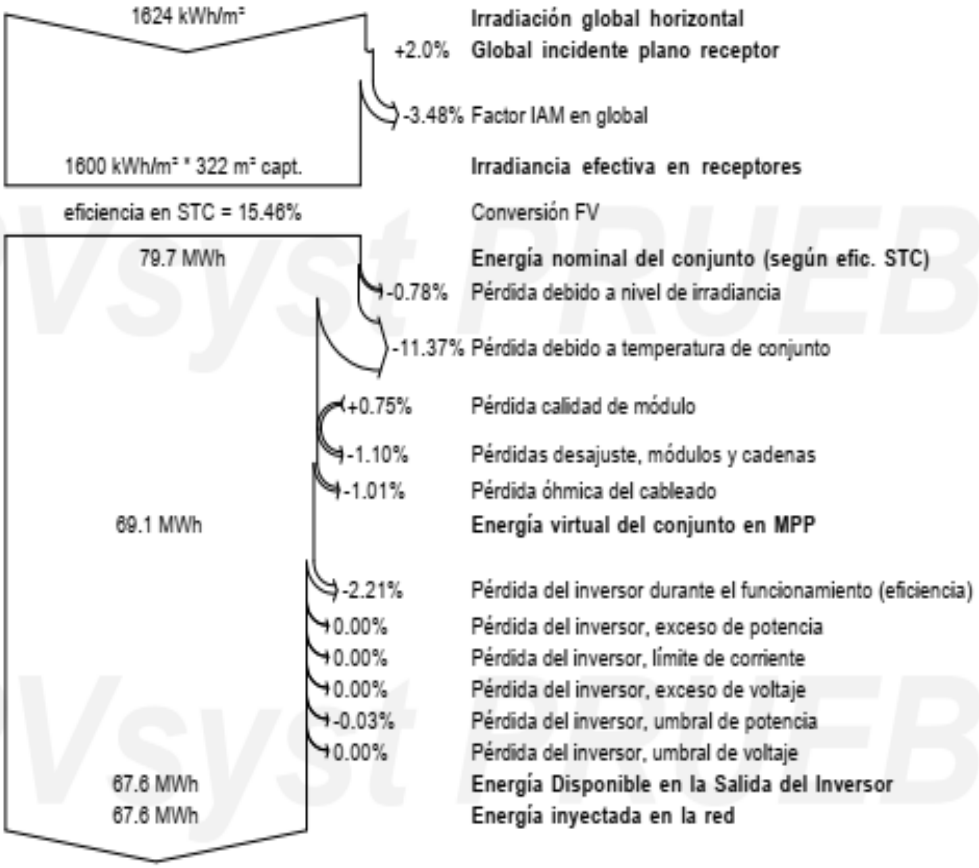
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	45°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 9: Resultados completos de simulación (22 grados de inclinación y 90 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación :	**Nueva variante de simulación**			
	Fecha de simulación	05/06/20 11h50		

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	90°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²

Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV

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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción 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

PVsyst PRUEBA

Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

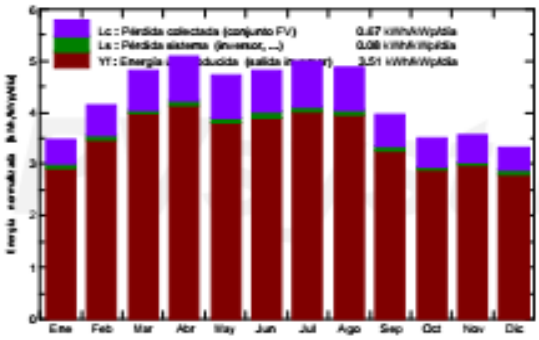
Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

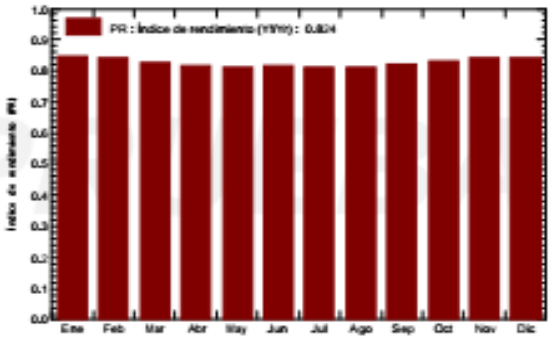
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	**Energía producida**	**63.50 MWh/año**	Produc. específica	1283 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.44 %		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 49.5 kWp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	107.4	102.6	4.619	4.508	0.848
Febrero	116.9	53.80	21.54	116.0	111.8	4.925	4.816	0.839
Marzo	154.5	78.30	23.63	148.9	143.5	6.226	6.097	0.827
Abril	159.0	77.50	24.46	151.9	146.8	6.282	6.147	0.817
Mayo	156.2	80.20	26.31	145.9	140.9	5.992	5.851	0.810
Junio	150.5	82.80	26.63	143.9	138.8	5.941	5.804	0.815
Julio	160.7	80.40	27.16	154.3	149.0	6.322	6.178	0.809
Agosto	155.7	84.30	27.14	151.0	145.8	6.209	6.069	0.812
Septiembre	123.7	70.50	25.55	118.9	114.4	4.964	4.845	0.823
Octubre	116.1	67.00	24.92	108.1	103.5	4.553	4.442	0.830
Noviembre	110.4	54.20	22.11	106.5	102.0	4.534	4.429	0.840
Diciembre	107.3	46.40	21.53	103.3	98.8	4.418	4.312	0.843
Año	1624.3	828.69	24.26	1556.0	1497.9	64.985	63.497	0.824

Leyendas:

GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Índice de rendimiento

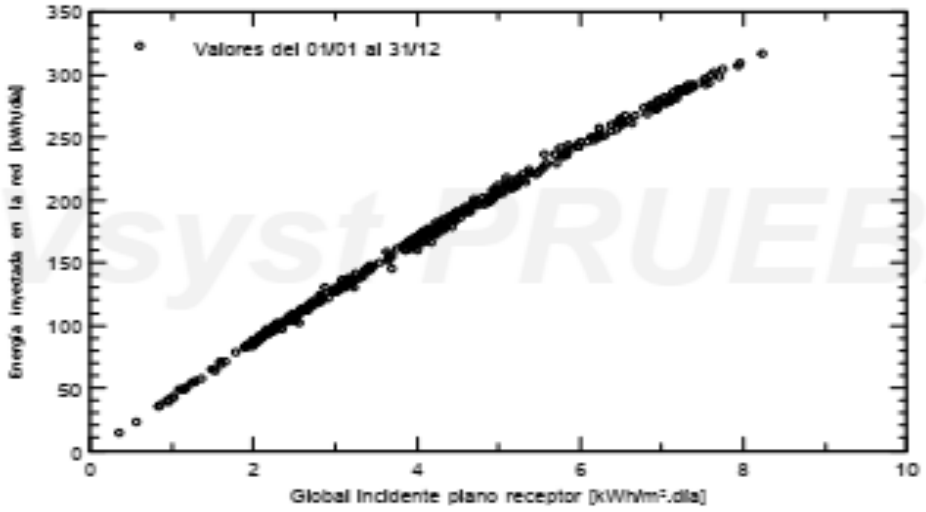
Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

Proyecto : Nuevo Proyecto

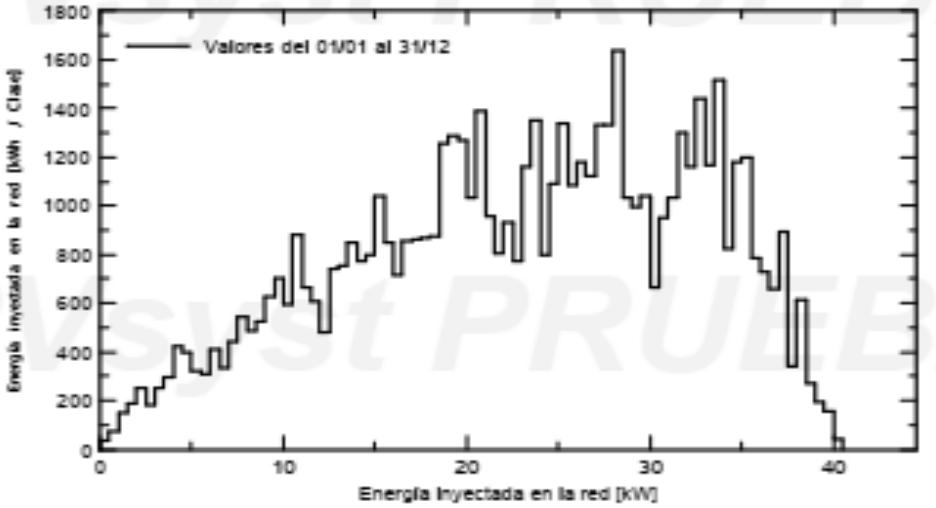
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	22°	acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



PVsyst PRUEBA

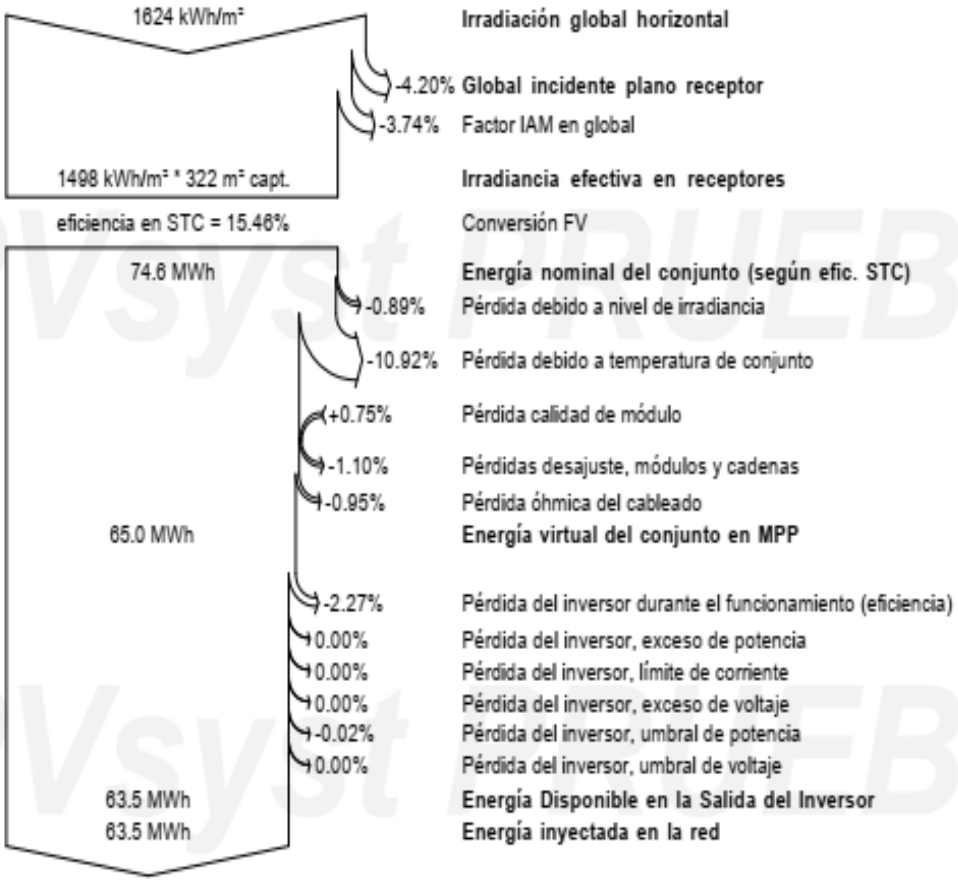
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	90°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA

Anexo 10: Resultados completos de simulación (22 grados de inclinación y 180 grados de azimut).

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Proyecto :	**Nuevo Proyecto**			
Sitio geográfico	**Universidad de Cienfuegos**		País	**Cuba**
Ubicación	Latitud	22.15° N	Longitud	-80.45° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Huso horario UT-5	Altitud	30 m
	Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:	**Universidad de Cienfuegos**	Meteonorm 7.2 (1991-2005), Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Fecha de simulación 05/06/20 12h08

Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación plano captador	Inclinación	22°	Acimut	180°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
Horizonte	Sin horizonte			
Sombreados cercanos	Sin sombreado			
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)			

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**Poly 250 Wp 60 cells**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		En serie	22 módulos	En paralelo 9 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	198	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**49.5 kWp**	En cond. de funciona. 44.3 kWp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	600 V	I mpp 74 A
Superficie total		Superficie módulos	**322 m²**	Superficie célula 289 m²

Inversor		Modelo	**Sunny Tripower 20000TL-30**	
Base de datos PVsyst original		Fabricante	SMA	
Características		Voltaje de funcionam.	320-800 V	Pnom unitaria 20.0 kWac
Paquete de inversores		Núm. de inversores	4 unidades	Potencia total 80 kWac
				Relación Pnom 0.62

Factores de pérdida del conjunto FV

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	138 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	-0.8 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas	0.10 %

Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Fresnel, vidrio normal, n = 1.526

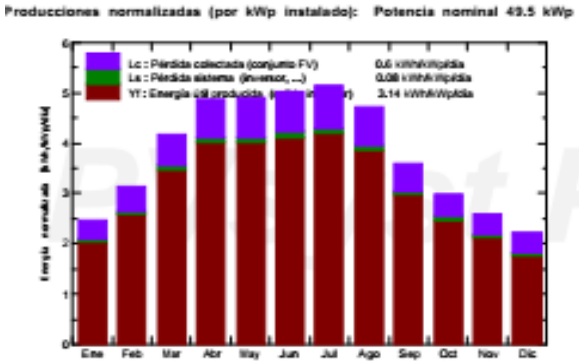
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

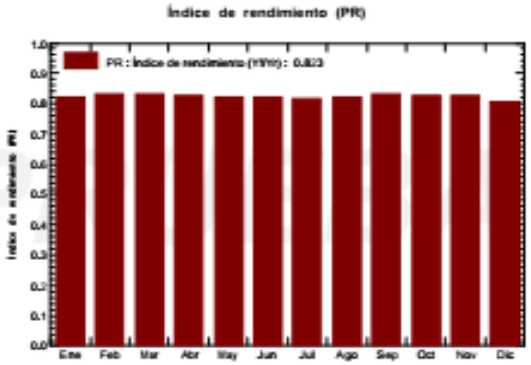
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**			
Orientación Campos FV	inclinación	22°		acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells		Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198		Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30			20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0		Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)				
Resultados principales de la simulación					
Producción del sistema	**Energía producida**	**56.80 MWh/año**	Produc. específica		1148 kWh/kWp/año
	Índice de rendimiento (PR)	82.30 %			





Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	113.3	53.30	19.91	76.9	69.6	3.216	3.118	0.819
Febrero	116.9	53.80	21.54	87.6	81.4	3.694	3.599	0.830
Marzo	154.5	78.30	23.63	129.3	122.6	5.445	5.329	0.833
Abril	159.0	77.50	24.46	145.8	140.1	6.107	5.976	0.828
Mayo	156.2	80.20	26.31	151.3	146.1	6.279	6.140	0.820
Junio	150.5	82.80	26.63	150.5	145.3	6.257	6.119	0.821
Julio	160.7	80.40	27.16	159.3	153.6	6.573	6.430	0.816
Agosto	155.7	84.30	27.14	146.1	140.6	6.071	5.936	0.821
Septiembre	123.7	70.50	25.55	108.0	102.8	4.542	4.430	0.829
Octubre	116.1	67.00	24.92	92.8	87.1	3.907	3.804	0.828
Noviembre	110.4	54.20	22.11	78.0	71.5	3.274	3.183	0.824
Diciembre	107.3	46.40	21.53	68.7	61.4	2.828	2.736	0.804
Año	1624.3	828.69	24.26	1394.4	1322.2	58.192	56.801	0.823

Leyendas: GlobHor	Irradiación global horizontal	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
DiffHor	Irradiación difusa horizontal	EArray	Energía efectiva en la salida del conjunto
T_Amb	T amb.	E_Grid	Energía inyectada en la red
GlobInc	Global incidente plano receptor	PR	Índice de rendimiento

Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales

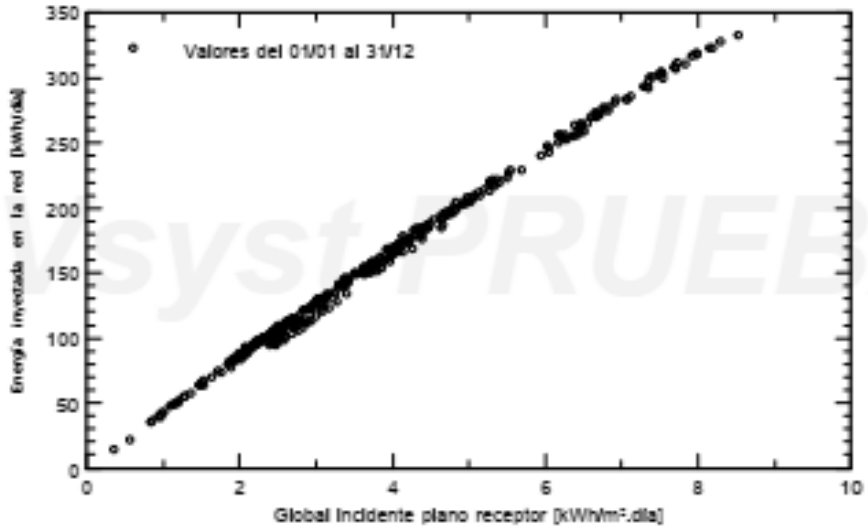
Proyecto : Nuevo Proyecto

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

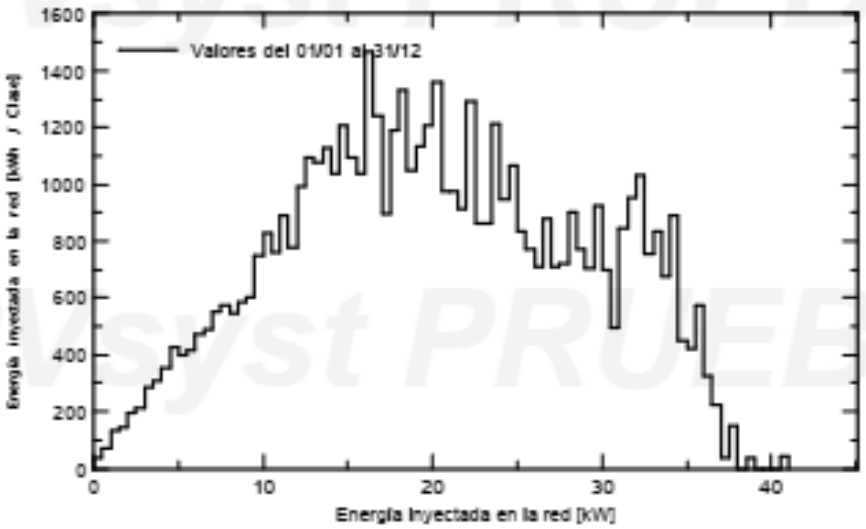
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	Inclinación	22°	acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de Inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

PVsyst PRUEBA

Diagrama entrada/salida diaria



Distribución de la potencia de salida del sistema



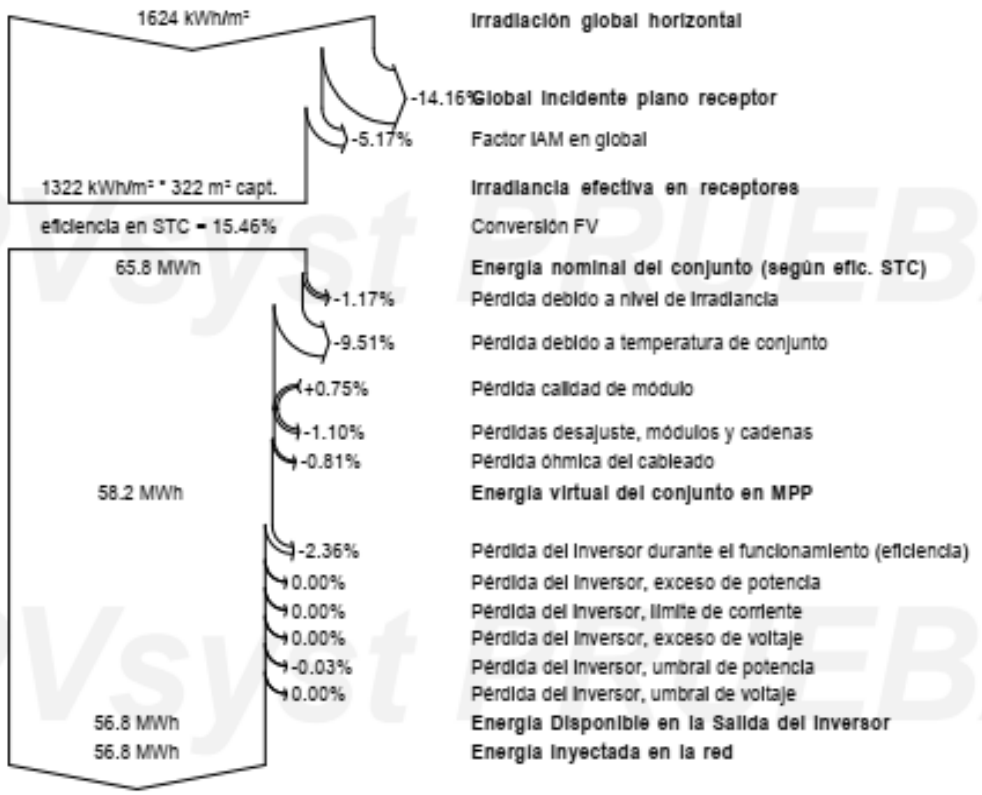
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	**No hay escenario 3D, no hay sombreados**		
Orientación Campos FV	inclinación	22°	acimut	180°
Módulos FV	Modelo	Poly 250 Wp 60 cells	Pnom	250 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	198	Pnom total	**49.5 kWp**
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 20000TL-30		20.00 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total	**80.0 kW ac**
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVsyst PRUEBA