

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Anteproyecto de un Sistema Fotovoltaico para la Universidad de Cienfuegos. Sede “Conrado Benítez”

Autor: José Antonio Pérez Pérez.

Tutores: MSc. Reinier Jiménez Borges

Ing. Mario Sergio Quintana Valladares

Consultante: Dr.C José P Monteagudo Yanes

**Cienfuegos
Curso 2017-2018**

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 según acuerdo de la dirección del centro 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.

Firma del Vice Decano.

Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

Pensamiento:

“No hay nadie menos afortunado que el hombre a quien la adversidad olvida, pues no tiene oportunidad de ponerse a prueba.”

Séneca.

“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”

Aristóteles.

“Conviene matar el error, pero salvar a los que van errados.”

San Agustín.

Dedicatoria

A toda mi familia, en especial a mis padres por estar siempre a mi lado; por apoyarme, por aconsejarme y por enseñarme lo necesario del sacrificio.

A todos mis amigos de la CNN, de Guao, de la Universidad.

A mi antiguo grupo de aula con los que no pude graduarme.

A toda aquella persona que me ha deseado mi graduación.

AGRADECIMIENTO

A mi familia que siempre estuvo pendiente de mis resultados académicos y su sacrificio para ayudarme en esta etapa.

A mis tutores Reinier Jiménez Borges y Mario Sergio por apoyarme y guiarme durante la investigación.

A mis compañeros de aula y cuarto por su apoyo incondicional.

A todos los que, de una forma u otra, han hecho posible que se realizara esta investigación.

RESUMEN

El presente trabajo está destinado para el campus universitario "Sede Conrado Benítez" de la Universidad de Cienfuegos. Su objetivo central es desarrollar el anteproyecto para la instalación de un parque solar fotovoltaico que satisfaga las necesidades de energía eléctrica de la institución y la entrega de la energía sobrante.

El desarrollo del anteproyecto muestra que el campus universitario permite instalar 1 501 paneles, con una capacidad de generación de 1 876,25 kWh/día. Ello posibilita satisfacer las demandas de energía eléctrica de la institución y vender 26 577,6 kWh/mes al SEN.

Los beneficios que aporta la instalación del sistema por venta de energía al SEN y energía eléctrica dejada de consumir son del orden de los 10 000 pesos mensuales.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.....	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial y en Cuba.....	14
1.3 Energía Solar.....	16
1.3.1 Radiación Solar.....	18
1.3.2 Radiación Directa.....	20
1.3.3 Radiación Difusa:.....	20
1.3.5 Insolación.....	21
1.4 Conversión de la luz solar en electricidad.....	22
1.4.1 Eficiencia en la conversión de energía.....	23
1.4.2 Celdas fotovoltaicas.....	23
1.4.3 Conductores aisladores y semi-conductores.....	25
1.4.4 Curvas características de las celdas fotovoltaicas.....	26
1.5 Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos.....	28
1.5.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVA).....	29
1.5.2 Sistemas híbridos. Energía FV combinada con otras fuentes de energía.....	30
1.5.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	31
1.6 Configuraciones y tipologías para el control de los sistemas FV conectados a una red eléctrica.....	32
1.6.1 Equipos necesarios para una instalación fotovoltaica.....	33
1.6.2 Principales ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	35
1.6.3 Niveles de costos de adquisición, montaje y explotación de las instalaciones.....	36
1.7 Experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país.....	38
1.8 Principales averías existentes en la explotación de los sistemas fotovoltaicos.....	39
1.8.1 Selección de la ubicación.....	40
1.8.2 Diseño y planificación del sistema.....	40
1.8.3 Instalación física de los componentes.....	41
1.8.4 Seguridad de la instalación.....	41

CAPÍTULO 2: Características constructivas de las edificaciones y del sistema de suministro eléctrico de la Universidad de Cienfuegos, Sede Conrado Benítez.	43
2.1 Características constructivas de las edificaciones	43
2.2 Descripción del sistema eléctrico de la Sede Conrado Benítez.	45
2.3 Metodología de cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR).	45
2.5. Descripción del software PVSYST.....	52
CAPÍTULO 3: Desarrollo del ante proyecto técnico del sistema fotovoltaico en la Universidad de Cienfuegos. Sede “Conrado Benítez”	55
3.1 Censo de carga.....	55
3.2 Selección del módulo fotovoltaico.....	58
3.3. Determinación de las áreas para la instalación.....	59
3.4 Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles.	59
3.5 Cálculo del número de paneles	60
3.6 Selección del inversor.	61
3.7 Cálculo económico.	62
3.7.1-Inversión inicial	63
3.7.2-Tarifa eléctrica de venta.....	63
3.7.3 Energía ahorrada por la instalación del parque FV.	63
3.7.4-Análisis económico.	64
3.8 Beneficio ambiental.	66
3.9 Simulación del sistema foto voltaico diseñado con el software PVSYST y análisis de los resultados.....	67
Conclusiones	76
Recomendaciones	77
Bibliografía.....	78
Anexos.....	81

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas o más conocida como energía renovable.

Entre los tipos de energía renovable la solar es muy prominente. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, este acercamiento se apoyó fuertemente en el uso de la energía renovable con la percepción de ser una respuesta inmediata para solucionar los problemas de la energía y su contaminación. Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

Una de estas energías renovables es la solar fotovoltaica que consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado "célula solar". La conversión de la energía de la luz solar en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como "efecto fotovoltaico". La energía solar fotovoltaica permite un gran número de aplicaciones, ya que puede suministrar energía en emplazamientos aislados de la red (viviendas aisladas, faros, postes SOS, bombeos, repetidores de telecomunicaciones, etc.) o mediante instalaciones conectadas a la red eléctrica, que pueden ser de pequeño tamaño (instalación en vivienda individual) o centrales de gran tamaño.

El sol arroja cada año sobre la tierra cuatro mil veces más energías que la que se consume en todo el mundo. Los científicos alemanes Gerhard Knies y Franz Trieb afirman que bastaría cubrir con colectores solares una pequeña parte (un 0,5%)

de los desiertos cálidos para satisfacer las necesidades eléctricas del mundo entero. (Curso de Energía Solar y Fotovoltaica, 2017)

Las primeras experiencias en Cuba de integración de la energía solar, han estado unidas a proyectos de electrificación rural. Desde finales de los años 80 y principios de los 90, se comenzó un programa de electrificación rural, con el objetivo de llevar electricidad a todas las regiones rurales montañosas y de difícil acceso, con la intención de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, sobre todo se extendieron las instalaciones en escuelas y centros de salud. La energía solar se ha utilizado en todo el planeta, para este tipo de proyectos, ha demostrado una alta capacidad y adaptación para cubrir las necesidades de estas poblaciones de una forma económica. El uso de fuentes renovables reduce la presión de las comunidades sobre el ecosistema; la deforestación que provoca el uso masivo de la leña y mejora las condiciones de salud evita, el humo de la combustión de leña. Las autoridades están haciendo grandes esfuerzos en la isla por fomentar el uso de las energías renovables y en la búsqueda de la independencia energética. Cuba tiene un gran recurso solar, por lo que se realizan importantes inversiones en la energía solar. La generación eléctrica a partir de parques fotovoltaicos es un aspecto fundamental para el desarrollo de esta política al utilizar este tipo de energía que aparece en el Programa Nacional de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía aprobado en junio de 1993 y en el Programa Nacional de Ciencia y Técnica: “Desarrollo Energético Sostenible” del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). (Chávez, 2015)

Problema científico:

El campus universitario consume más del 90% de su energía en forma de energía eléctrica, proveniente de centrales termoeléctricas que generaran esta energía con combustibles fósiles de alto costo e impacto ambiental.

Hipótesis:

El proyecto de un sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica al campus universitario debe mostrar cómo reducir el gasto económico de compra de la energía al SEN y minimizar el impacto ambiental que la generación de electricidad requerida por el campus hoy ocasiona.

Objetivo general.

Desarrollar el proyecto de factibilidad técnica económica de un sistema fotovoltaico de apoyo al suministro de energía eléctrica al campus universitario.

Objetivos específicos:

1. Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a edificaciones.
2. Realizar el inventario de cargas eléctricas y las estructuras de los monolineales eléctricos de las edificaciones del campus universitario.
3. Desarrollar el cálculo técnico de selección de las instalaciones fotovoltaicas.
4. Fundamentar técnica y económicamente las soluciones propuestas.

Estructura de la tesis

La tesis se concibe organizada en tres capítulos, en el siguiente orden:

Capítulo 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.

En este capítulo se realizó un estudio del estado actual y tendencias en el diseño y explotación de sistemas fotovoltaicos de apoyo al suministro de energía eléctrica en edificaciones. Se sintetizó además las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país, principales ventajas y desventajas, así como las principales averías existentes en la explotación de los sistemas fotovoltaicos. Se ejemplificó por último algunas de las experiencias en el uso de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del SEN.

Capítulo 2. Características constructivas de las edificaciones y del sistema de suministro eléctrico de la Universidad de Cienfuegos sede “Conrado Benítez”.

En este capítulo se actualizó la información de las características constructivas de las edificaciones de la Universidad de Cienfuegos (Sede Conrado Benítez). Se presentó la estructura de los monolineales de suministro de energía eléctrica a las edificaciones y el sistema de transformación y transmisión de energía eléctrica del campus universitario. Se planteó la metodología para el cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCCR).

Capítulo 3. Desarrollo del anteproyecto técnico de un sistema fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica al campus universitario.

En este capítulo se determinó las áreas potenciales para la instalación de los campos de paneles fotovoltaicos según las capacidades de los paneles disponibles en el mercado. Se realizó el inventario de las cargas eléctricas de las edificaciones. Se determinó la cantidad de paneles y lo que generará para el campus universitario. Se realizó un cálculo económico teniendo en cuenta, inversión, ahorro y beneficios para la institución. Se utilizó como una segunda herramienta de trabajo el programa PVSYST para la comprobación de los resultados obtenidos en este capítulo.

Capítulo 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.

1.1 Introducción.

El término fotovoltaico viene del griego foto que significa luz y del término volt que representa la unidad de medida de la tensión eléctrica, por lo que el vocablo fotovoltaico significa luz y electricidad (Sarmiento, 2013). Teniendo en cuenta este significado puede decirse que la energía solar fotovoltaica es la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica.

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

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración (la vida útil de los módulos fotovoltaicos es superior a 30 años).
- No requerir apenas mantenimiento.
- Tener una elevada confiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. La electricidad generada con energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna, con las mismas

características que la electricidad de la red eléctrica, utilizando inversores (Santiesteban, 2016).

1.2 Uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial y en Cuba.

Bajo la premisa de buscar sistemas de generación de electricidad cada vez menos dependientes de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas, básicamente), que reduzcan la contaminación ambiental y contribuyan a mitigar el cambio climático, las denominadas fuentes renovables de energía vienen experimentando un notable auge a nivel internacional.

Una de las que muestra un desarrollo verdaderamente acelerado es la energía solar fotovoltaica (FV), cuyo basamento radica en convertir la radiación solar en electricidad. Basta decir que, si en el 2011 estaban instalados en el mundo 70 500 MW de potencia fotovoltaica, al cierre del 2016 la cifra ascendía a unos 300 000 MW, de los cuales 75 000 fueron puestos en funcionamiento en ese propio año como lo muestra la figura 1.1. (Peláes, 2017).

Los países que tienen el mayor porcentaje de parques FV en plena disposición son, por ese orden, China, Alemania, Japón, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, India, Francia, España y Australia. Pese a recibir mucho Sol, América Latina, el Caribe y África disponen de poca energía FV, cuestión que debe ir modificándose en el futuro. Dentro de las causas que fundamentan tan apreciable despegue aparecen el aumento de la eficiencia de las celdas solares, la automatización de la producción FV y el abaratamiento de la inversión inicial. Hace cuatro décadas según (Peláes, 2017) el módulo FV costaba alrededor de 70 dólares, mientras en la actualidad, las celdas de silicio cristalino no sobrepasan como promedio los 0,35 USD, es decir el precio disminuyó en 200 veces en el mercado internacional.

Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2006-2016

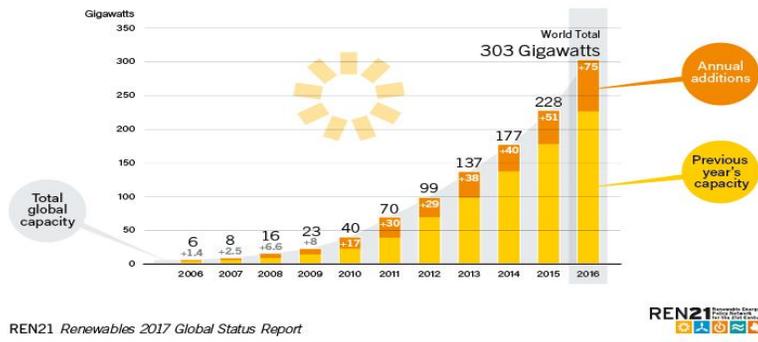


Figura 1.1 Evolución de la potencia a nivel global. Fuente: (Christine, 2018)

En Cuba hasta el 2012 las instalaciones existentes sumaban menos de 3 MW de potencia fotovoltaica y estaban concentradas fundamentalmente en alrededor de 9 000 pequeños sistemas FV situados en lugares remotos donde no llegaba la red eléctrica nacional, distribuidos en consultorios médicos, escuelas rurales, viviendas y salas de video (Peláes, 2017).

Al año siguiente y en consonancia con la voluntad política prevaleciente de impulsar el desarrollo de las fuentes renovables de energía, se erigió el primer parque de un MW conectado a la red eléctrica en Cienfuegos, proceso continuado después en otras provincias como se ve reflejado en la figura 1.2.

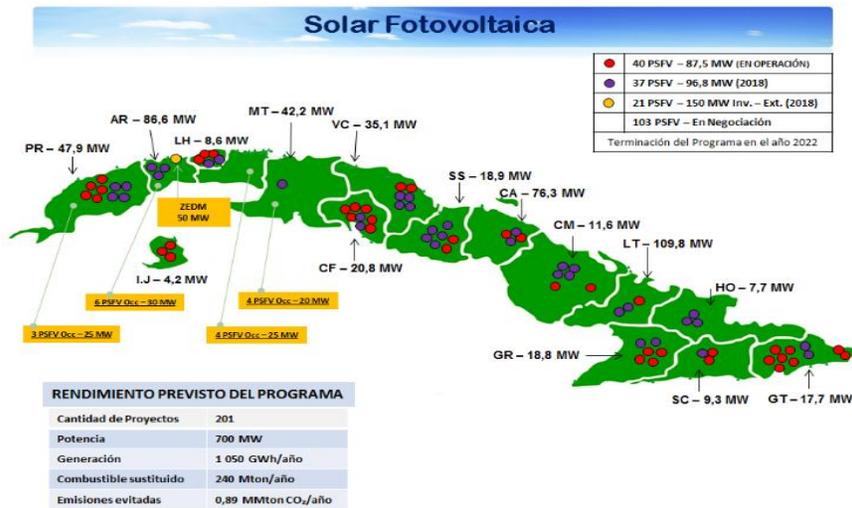


Figura 1.2 Distribución a lo largo del país de la energía solar fotovoltaica. Fuente: ((MINEM), 2018)

En Cuba se inició la producción de paneles fotovoltaicos en el año 2001 en la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara. Durante más de una década la producción fue limitada y prácticamente artesanal, hasta que en el 2014 comenzó la adquisición de nuevos equipos, dada la intención del país de incrementar el uso de fuentes renovables de energía entre ellos se encuentra el montaje de una línea semiautomática de procedencia china, laminadores y varios medios de verificación, que aseguran la calidad del proceso. Esta importante mejora tecnológica, propició que el año 2015, la planta rompiera todos sus récords. En total más de 60 000 paneles de 250 W, con una capacidad de generación en su conjunto, superior a los 15 MW. (Rivas, 2015)

Paso fundamental hacia el objetivo de ir logrando cambiar de manera paulatina la matriz energética de la nación, muy dependiente de los combustibles fósiles, lo fue la aprobación en el 2014 por el Consejo de Ministros de la Política de las Fuentes Renovables y Uso Eficiente de la Energía, hasta el 2030.

El propósito enunciado en el documento y reiterado en varias oportunidades en informes presentados ante el plenario de la Asamblea Nacional del Poder Popular y en intervenciones de ministros y altos dirigentes del Gobierno y el Partido, es lograr para la citada fecha que no menos del 24 % de la electricidad generada en el país proceda de fuentes renovables (hoy solo representan un aproximado al 4,6 %), entre las que figuran la fotovoltaica, junto a la biomasa, la eólica y la hidráulica. (Peláez, 2017)

1.3 Energía Solar.

La energía es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía se puede percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio.

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales son:

-*Energía solar térmica*: aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.

-*Energía solar fotovoltaica*: aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).

Por otro lado, la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías.

Esto es posible de ver por la mayor cantidad de sistemas de generación en base a energías renovables instalados y en proceso de instalación en nuestro país, los cuales son utilizados como sistema auxiliar o principal, dependiendo de la ubicación y recursos de quien los utilice.

Ahora bien, la potencia de la radiación depende del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiación es de 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa como se muestra en la figura 1.3.

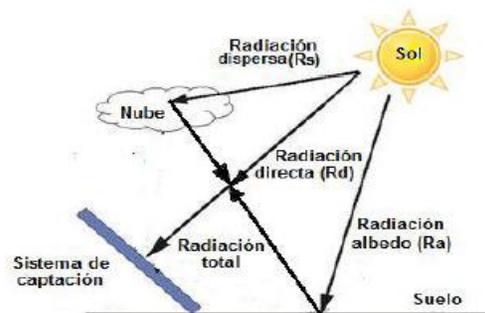


Figura 1.3 Componentes de la energía solar terrestre. Fuente: (Loasea, Carmona, & Tenorio, 2012)

1.3.1 Radiación Solar.

La luz, sea ésta de origen solar, o generada por un foco incandescente o fluorescente, está formada por un conjunto de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, que están agrupadas dentro de un cierto rango, llamado espectro luminoso. Las ondas de baja frecuencia del espectro solar (infrarrojo) proporcionan calor, las de alta frecuencia (ultravioleta) hacen posible el proceso de fotosíntesis o el bronceado de la piel. Entre esos dos extremos están las frecuencias que forman la parte visible de la luz solar. La intensidad de la radiación luminosa varía con la frecuencia (SIMEC Chile SRL, 2015) La Fig. 1.4 muestra, en forma no detallada, la composición del espectro luminoso.

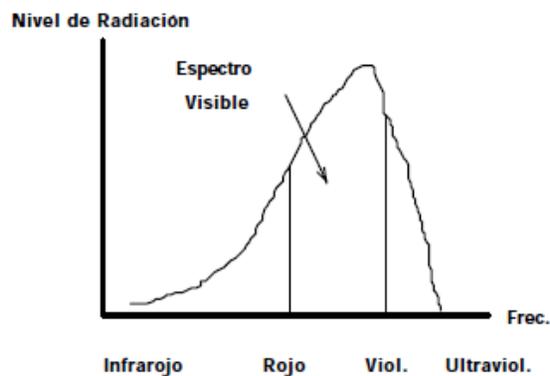


Fig. 1.4 Composición del Espectro Luminoso. Fuente: (SIMEC Chile SRL, 2015)

El “color” de la luz solar depende de la composición del espectro de frecuencias. Los fabricantes de focos luminosos, conscientes de este fenómeno, tratan de dar a éstos un espectro de radiación luminosa similar al de la luz solar que llega a la Tierra cuando el sol alcanza la posición del zenit (luz blanca). La intensidad y frecuencias del espectro luminoso generado por el sol sufren alteraciones cuando la luz atraviesa la atmósfera.

Ello se debe a la absorción, reflexión y dispersión que toma lugar dentro de ésta. Los gases presentes en la capa atmosférica actúan como filtros para ciertas frecuencias, las que ven disminuidas su intensidad o son absorbidas totalmente. El proceso fotovoltaico responde a un limitado rango de frecuencias dentro del espectro visible, de manera que es importante definir el espectro de radiación de

la fuente luminosa que se utiliza para evaluar la celda fotovoltaica. Esto se hace especificando un parámetro denominado Masa de Aire.

La posición relativa del sol respecto a la horizontal del lugar determina el valor de la masa de aire. Cuando los rayos solares caen formando un ángulo de 90° respecto a la horizontal, se dice que el sol ha alcanzado su zenit.

Para esta posición la radiación directa del sol atraviesa una distancia mínima a través de la atmósfera. Cuando el sol está más cercano al horizonte, esta distancia se incrementa, es decir, la “masa de aire” es mayor. La Fig. 1.5 ilustra esta situación.

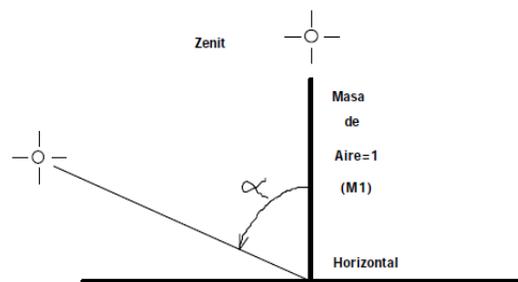


Fig. 1.5 Masa de Aire. Fuente: (SIMEC Chile SRL, 2015)

A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a 1 (M1). Cualquier otra distancia tendrá una masa de aire que puede calcularse usando la expresión:

$$\text{masa de aire} = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (1.1)$$

Donde:

α es el ángulo formado entre la posición de zenit y la posición del sol en ese momento.

Al incrementarse la distancia, la absorción, reflexión y dispersión de la luz solar también se incrementan, cambiando el rango de frecuencias que integran el espectro luminoso, así como la intensidad del mismo. Esto explica las variaciones de intensidad y color de la luz solar durante la salida y puesta del sol. La fuente luminosa usada para medir la potencia de salida de un panel FV tiene un espectro luminoso correspondiente a una masa de 1,5 (M1, 5), el que ha sido adoptado como estándar. La intensidad es muy cercana a 1KW/m².

1.3.2 Radiación Directa.

La radiación directa es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto. (SIMEC Chile SRL, 2015)

1.3.3 Radiación Difusa:

Esta definición corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que pueden ver el cielo en todas las direcciones, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad. (SIMEC Chile SRL, 2015)

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiación directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de $1\,354\text{ W/m}^2$, el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a $1\,395\text{ W/m}^2$, mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de $1\,308\text{ W/m}^2$. (SIMEC Chile SRL, 2015)

1.3.4 Irradiación Solar.

Es el flujo de energía solar recibido sobre una superficie por unidad de área. Su símbolo es G y se expresa en W/m^2 . La energía solar recibida sobre una superficie horizontal se determina mediante la integración de la irradiancia durante un período de tiempo determinado, generalmente una hora o un día. Cuando se toma

como referencia un día, se utiliza el símbolo H y se expresa en W/m^2 -día o J/m^2 . (UNESCO, 2015)

En la figura 1.6 se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

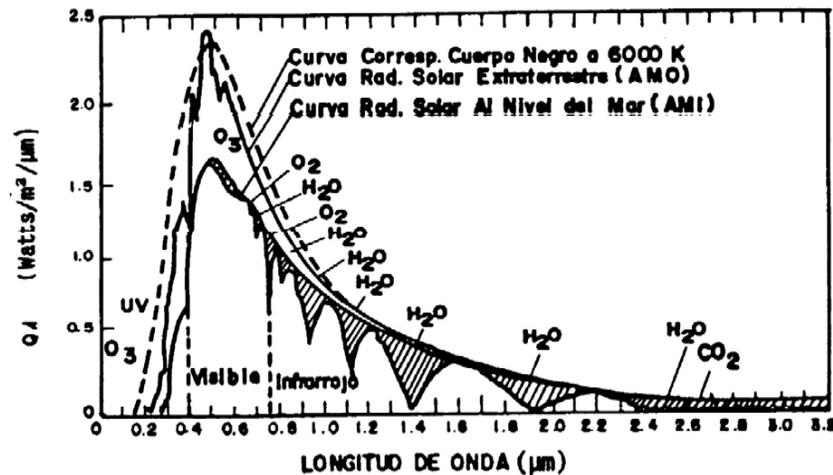


Figura 1.6: Espectro de Radiación Solar. Fuente: (UNESCO, 2015)

1.3.5 Insolación.

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de $1\ 000\ W/m^2$. La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente. (SIMEC Chile SRL, 2015)

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diaria o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la figura 1.7 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla.

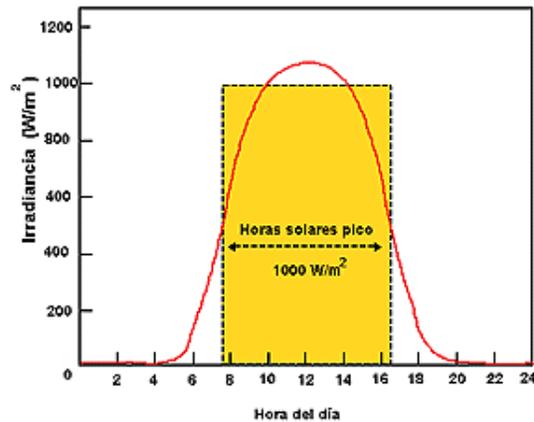


Figura 1.7 Curva de irradiación diaria y horas solares pico. Fuente: (Sera, 2003)

Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°.

En la figura 1.8 se muestra los valores de insolación en el territorio nacional en kWh/m.

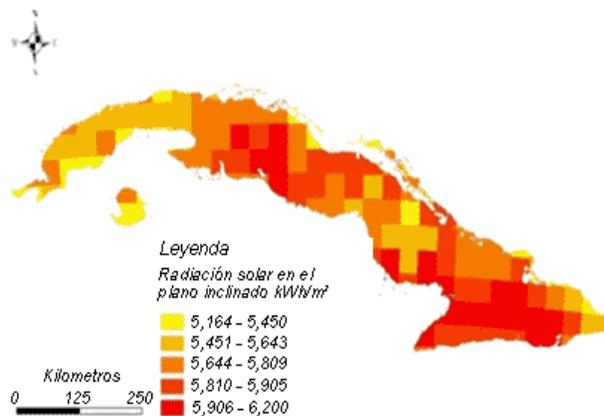


Figura 1.8 Radiación solar en Cuba. Fuente: Confección propia.

1.4 Conversión de la luz solar en electricidad.

Con la tecnología fotovoltaica, la luz de Sol es convertida directamente en electricidad como se muestra en la figura 1.9. La luz que llega a las celdas solares libera su energía a los electrones que éstas contienen. Dichos electrones, una vez

sino que también ya han sido probadas en diversas aplicaciones prácticas. La tabla 1.1 muestra los tipos de celdas solares que se utilizan en la mayoría de las aplicaciones actuales, clasificados en función del material y la tecnología utilizados en su construcción.

Tabla 1.1. Clasificación de las celdas fotovoltaicas más frecuentes. Fuente: (Santiesteban, 2016)

Silicio monocristalino	Silicio policristalino	Silicio amorfo
Se parte de barras de silicio, formado por un único cristal producto del enfriamiento del silicio fundido.	El silicio fundido se enfría en un molde en el que se forman los diferentes cristales	No sigue ninguna estructura cristalina.
Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Buen rendimiento • Buena relación Wp/m2 Inconvenientes: <ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado 	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Celda rectangular, que mejora el funcionamiento en módulo • Buena relación Wp/m2 pero inferior al monocristalino • Más económico Inconvenientes: <ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento en condiciones de escasa iluminación 	Ventajas: <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo económico Inconvenientes: <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento bajo
		

La creciente demanda de proyectos de energía renovable ha generado grandes inversiones en nuevos centros de producción que, junto con la investigación y desarrollo, han generado una tecnología fotovoltaica mucho más eficiente. Este rápido crecimiento del mercado a largo plazo contribuye a la disminución de los costos de producción lo cual es reflejado en los precios en el mercado.

1.4.3 Conductores aisladores y semi-conductores

Para que se tenga un conocimiento conceptual del fenómeno FV introduciremos el concepto de material semiconductor y juntura N-P. Comenzaremos estableciendo que un material conductor, como el cobre o el aluminio, permite el fácil paso de una corriente eléctrica porque tiene un gran número de cargas libres dentro del mismo. Un material es un no-conductor (aislador), como el vidrio o el plástico, porque no tiene cargas libres dentro de él. El silicio es el material más usado en la fabricación de celdas solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando, al mismo tiempo, zonas con diferentes tipos de carga. La celda FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P. (Gutiérrez & Franco, 2011)

Tipo n

Cuando la substancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

Tipo p

Cuando la substancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona predominan las cargas positivas obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

Juntura N-P

El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación, en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N; la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición.

Estado de equilibrio.

La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja a la zona de la juntura totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas

negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La corriente de desplazamiento se anula. Se dice entonces que la juntura N-P ha alcanzado el estado de equilibrio, el que es ilustrado en la Fig. 1.10.

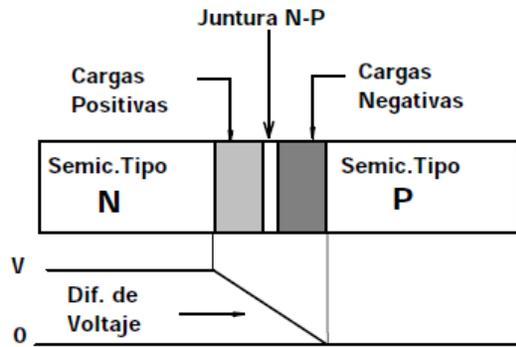


Figura 1.10 Juntura N-P en Equilibrio. Fuente: (CNCI, 2016)

1.4.4 Curvas características de las celdas fotovoltaicas.

La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto, el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango mostrada en la figura 1.11.

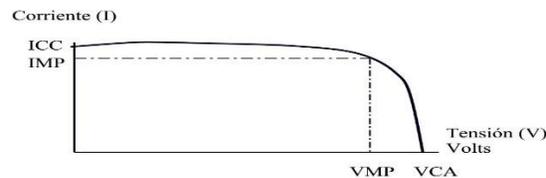


Figura 1.11 Curva de corriente vs. tensión (curva I-V). Fuente: (CNCI, 2016)

La corriente y tensión a la cual opera el dispositivo fotovoltaico están determinadas por:

La radiación solar incidente.

En la figura 1.12 se observa como la corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional, en tanto que la tensión se mantiene prácticamente constante.

Efecto de la temperatura.

El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo es una reducción de la tensión en forma directamente proporcional. Existe un efecto secundario dado por un pequeño incremento de la corriente para valores bajos de tensión. Es por ello que, para lugares con temperaturas ambientes muy altas, son aptos módulos que poseen mayor cantidad de celdas en serie para que los mismos tengan la suficiente tensión de salida para cargar baterías como lo muestra la figura 1.13.

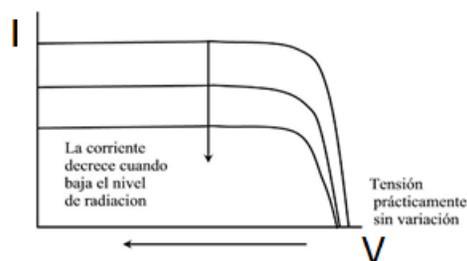


Figura 1.12 Efecto de la intensidad de radiación solar. Fuente: (CNCI, 2016)

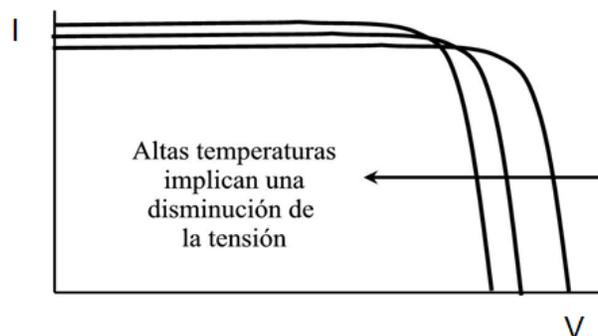


Figura 1.13 Efecto de la temperatura. Fuente: (CNCI, 2016)

Estas variaciones (I-V) de los módulos debido a las condiciones ambientales quiere decir que habrá una familia de curvas I-V que nos mostrarán las características de salida del módulo durante el día y una época del año mostrada en la figura 1.14.

La curva de potencia máxima de un módulo en función de la hora del día tiene la forma indicada en la figura 1.15 que es la cantidad de energía que el módulo es

capaz de entregar durante el día, está representada por el área comprendida bajo la curva y se mide en kWh/día.

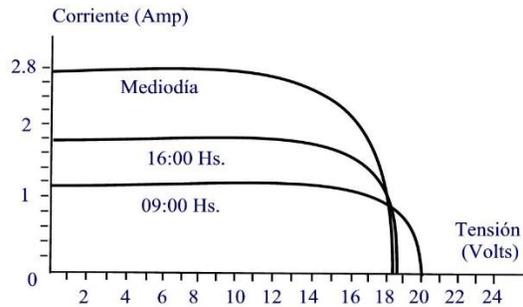


Figura 1.14 Potencia máxima de un módulo en función de la hora del día. Fuente: (CNCI, 2016)

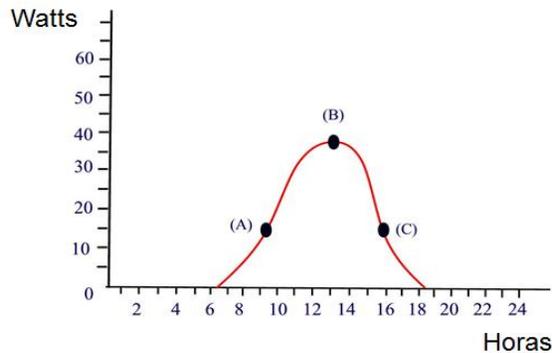


Figura 1.15 Cantidad de energía que el módulo es capaz de entregar durante el día. Fuente: (CNCI, 2016)

1.5 Fundamentos de los sistemas fotovoltaicos.

Un sistema FV consiste en la integración de varios componentes, cada uno de ellos cumpliendo con una o más funciones específicas, a fin de que éste pueda suplir la demanda de energía eléctrica impuesta por el tipo de carga, usando como combustible la energía solar. La definición anterior deja claramente establecido que la carga eléctrica determina el tipo de componentes que deberán utilizarse en el sistema. La completa definición de la carga debe tener en cuenta tres características que la definen: el tipo, el valor energético y el régimen de uso.

Existen tres tipos de cargas: Corriente directa(CD), corriente alterna(CA), y mixta (CD y CA). Cuando la carga tiene aparatos de CA, se necesitará incorporar al sistema un inversor. Este componente transforma el voltaje de CD proporcionado

por los paneles en un voltaje de CA. Las pérdidas de energía en estos sistemas son mayores que la de los de CD.

El valor energético representa el total de energía que consumirá la carga dentro de un período determinado, generalmente un día. Para sistemas pequeños este valor estará dado en Wh/día. Para sistemas de mayor consumo en kWh/día.

1.5.1 Sistemas fotovoltaicos autónomos (SFVA).

Los SFVA tienen la función de abastecer energía a una carga determinada sin recibir electricidad de la red de distribución externa. Están constituidos, en lo fundamental, por los paneles fotovoltaicos (cuya función es generar la energía eléctrica demandada por la carga), las baterías (que permiten almacenar la energía que no es consumida por la carga) para utilizarla en los momentos de ausencia de la radiación solar, y la carga eléctrica que por regla general está conformada por un grupo de equipos eléctricos domésticos y/o industriales.

Los SFVA más simples usan la electricidad en forma de corriente continua y la energía es producida donde y cuando es necesaria, sin necesidad de complejos sistemas de control y transmisión de energía.

El almacenamiento de la energía eléctrica convierte a los SFVA en una fuente confiable de energía, ya sea de día o de noche, independientemente de las condiciones climáticas, y esto es posible añadiéndoles a los SFVA baterías para lograr este almacenamiento de energía. De esta forma se genera energía por el día y se almacena el excedente en las baterías para su uso en la noche.

El empleo de las baterías tiene dos inconvenientes fundamentales: el aumento de los costos del sistema y el hecho de que sólo puede extraerse el 80% de la energía almacenada. Además de los SFVA que funcionan con corriente directa (CD), existen los que trabajan con alterna (CA), donde es necesario un convertidor de CD/CA, que transforma la energía eléctrica directa en alterna.

Estos sistemas se emplean en lugares de difícil acceso para la red eléctrica y en los que resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea que permita obtener la energía necesaria de la red eléctrica general. Estos sistemas pueden encontrarse, por ejemplo, en:

- Zonas rurales aisladas.

- Áreas de países en vías de desarrollo sin conexión a red.
- Iluminación de áreas aisladas y carreteras.
- Sistemas de comunicación (repetidores de señal, boyas, balizas de señalización, SOS en carreteras y autopistas).
- Sistemas de bombeo de agua.
- Suministro eléctrico en yates.
- Pequeños sistemas autónomos como calculadoras, cámaras, ordenadores, teléfonos portátiles, etc. (Santiesteban, 2016)

1.5.2 Sistemas híbridos. Energía FV combinada con otras fuentes de energía.

Dependiendo de las condiciones locales, puede ser benéfico construir una mini red eléctrica incorporando otras fuentes de energía renovable. Si los recursos como energía hidráulica, eólica o la biomasa están disponibles en la región, un pequeño generador fotovoltaico puede ser utilizado reduciendo significativamente los costos de inversión. Al igual que los sistemas fotovoltaicos, los sistemas híbridos son escalables conforme a las condiciones locales. Dichos sistemas tienen la gran ventaja de abastecer y tener energía disponible para el uso de pequeños electrodomésticos como hasta la utilización de maquinaria de media tensión necesarios en una comunidad reflejada en la figura 1.16, mientras que la figura 1.17 nos muestra como puede ser utilizada en combinación con otra.

Si, por ejemplo, se cuenta con corrientes de aire regulares en el sitio de planeación, el sistema fotovoltaico podría complementarse por un generador eólico. La producción de energía en una mini red eléctrica mediante dichos generadores es fácil de implementar y muy comúnmente usada. Similarmente, una pequeña planta hidráulica podría ser integrada cuando la localización del sistema se encuentre cercana a un río con agua durante todo el año.

Otra posibilidad es la integración de un generador accionado con aceite vegetal. Esta combinación es conveniente si las plantas de aceites pueden ser cultivadas y refinadas localmente, y a su vez que no compitan contra el cultivo de productos básicos. Debido al alto precio de los productos del petróleo y su continuo incremento, el cultivo de plantas autóctonas como combustible se ha vuelto factible. La cantidad de CO₂ que es absorbida durante el crecimiento de la planta

será la misma que cuando su aceite sea usado como combustible, permitiendo un proceso neutro de emisiones de carbono.



Figura 1.16 Suministro de energía en una comunidad mediante una planta fotovoltaica y un generador de aceite vegetal. Fuente: (CNCI, 2016)



Figura 1.17 Energía fotovoltaica y eólica se complementan muy bien suministrando electricidad para una bomba de agua y un sistema de irrigación. Fuente: (CNCI, 2016)

1.5.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

A diferencia de los sistemas(*off-grid*), los sistemas(*on-grid*) son conectados directamente a la red pública de electricidad. La corriente directa (CD) producida por el sistema fotovoltaico es convertida por un inversor a corriente alterna (CA) y luego alimentada, a través de varios dispositivos de seguridad, a la red sin ningún almacenamiento en baterías de por medio. En cierto sentido, la red eléctrica puede ser vista como un sistema de almacenamiento para la energía solar. La

conexión a la red eléctrica puede ser realizada de varias maneras y utilizar diversos equipamientos como lo muestra la figura 1.18.

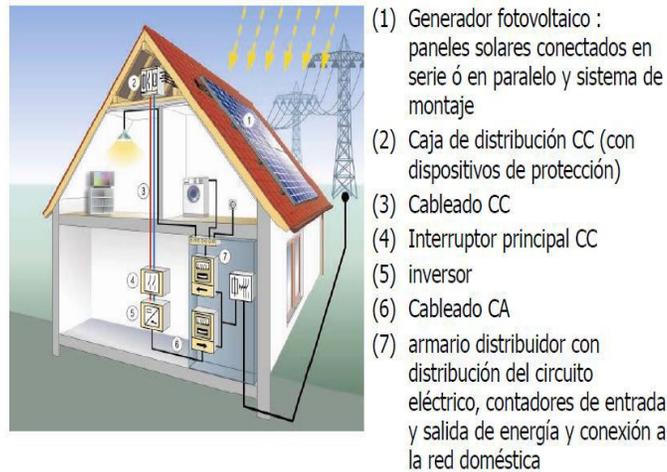


Figura 1.18 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Fuente: (Santiesteban, 2016)

1.6 Configuraciones y tipologías para el control de los sistemas FV conectados a una red eléctrica.

Como se había dicho con anterioridad un SFV es el conjunto de dispositivos cuya función es convertir la energía solar directamente en energía eléctrica, pero en dependencia de la aplicación serán las configuraciones de estos elementos. Algunos de sus elementos fundamentales son: arreglos de módulos de celdas solares, estructura soporte, reguladores de tensión y otros controles, un controlador de carga de batería, un inversor de corriente CD-CA o un rectificador CA-CD, baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas como refleja la figura 1.19. (Abarzúa Heller T, 2011).

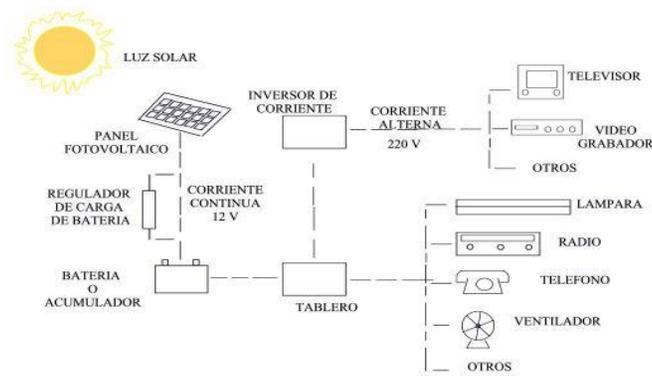


Figura 1.19 Elementos de un Sistema Fotovoltaico.

Un SFV no siempre consta de la totalidad de los elementos aquí mencionados. Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tipo y tamaño de las cargas a alimentar, la hora, el tiempo y época de operación y la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de la instalación.

1.6.1 Equipos necesarios para una instalación fotovoltaica.

-Paneles fotovoltaicos:

Como se ha dicho en reiteradas ocasiones, el panel solar es el encargado de transformar la energía proveniente del sol (fotones), en energía eléctrica (electrones). La tecnología más utilizada en la construcción de paneles solares es la de Silicio Cristalino.

Para instalaciones que demanden una gran cantidad de energía, se debe realizar una interconexión de paneles a fin de lograr la potencia requerida.

Debido a que una célula solar genera poca potencia eléctrica con una baja tensión de trabajo, para crear un módulo de mayor potencia y mayor tensión de trabajo, es necesario la asociación en serie/paralelo de varias células reflejado en la figura 1.20.

Una conexión de paneles *en serie*, la corriente máxima es igual a la máxima proporcionada por uno de ellos mientras que el voltaje es la sumatoria de todos los voltajes de cada panel. En una conexión *en paralelo*, la corriente del sistema está dada por la suma de las corrientes de cada panel y el voltaje es el mismo. (CNCI, 2016)

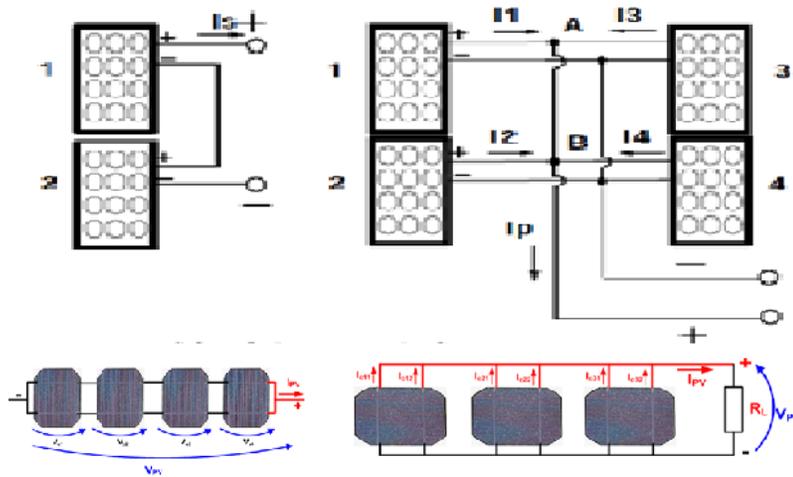


Figura 1.20 Conexiones de Paneles en Serie y Paralelo. Fuente: (CNCI, 2016)

Donde:

Circuito en serie.

$$I_s = I_1 \quad (1.1)$$

$$V_s = \sum V_n \quad (1.2)$$

I_s Corriente máxima del sistema.

I_1 Corriente máxima de un panel.

V_s Voltaje máximo del sistema.

V_n Voltaje máximo de cada panel.

Circuito en paralelo.

$$I_s = \sum I_n \quad (1.3)$$

$$V_s = V_1 \quad (1.4)$$

I_s Corriente máxima del sistema.

I_n Corriente máxima de cada panel.

V_s Voltaje máximo del sistema.

V_1 Voltaje máximo de cada panel.

-Regulador:

Este equipo cumple la función de controlar el ciclo de carga y descarga del banco de baterías de ciclo profundo, además de protegerlas en caso de una sobrecarga o descarga excesiva. Una sobrecarga además de reducir la vida útil de la batería, genera el riesgo de explosión o incendio de la batería. Para proteger a las baterías, el regulador cierra en forma automática el flujo de corriente eléctrica desde y hacia las baterías, o bien emitiendo una señal visible o sonora.

El conjunto de paneles puede ser desconectado por completo o en forma parcial de las baterías sin perjudicar al sistema. Conforme las baterías van alcanzando su nivel de carga máxima, el regulador desconecta gradualmente el flujo de corriente desde los paneles hacia las baterías.

-Baterías de ciclo profundo: están encargadas de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos y son diseñadas para soportar los constantes procesos de carga y descarga, en base a un proceso electroquímico de oxidación/reducción. Una batería de ciclo profundo, en su estado máximo de carga, puede proveer energía eléctrica durante unas 20 horas continuas.

El ciclo corresponde al tiempo que tarda la batería en descargarse a sus niveles mínimos (hasta el 80% de su capacidad total de carga, de ahí el nombre de ciclo profundo) y luego volver a cargarse al 100% de su capacidad.

-Inversor: Transforma la corriente continua de baja tensión (12, 24, 32, 36 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías, a corriente alterna de una magnitud y frecuencia necesaria. Esto es necesario para poder utilizar los equipos eléctricos de corriente alterna.

1.6.2 Principales ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Los SFVCR tienen diversas ventajas y desventajas, las cuales se deben tener en cuenta para un mejor análisis del tema. Algunas de estas ventajas son:

- Reducción de pérdidas por transmisión y distribución de energía, ya que la electricidad se consume donde se produce o muy cercana al lugar de su instalación.
- Reducción de inversiones en líneas de transmisión y distribución.

- Bajo costo de mantenimiento.
- Ubicados en edificios abastecen los mayores volúmenes de electricidad en los momentos de mayor demanda.
- Muy fáciles de construir, instalar y expandirse en la medida en que la demanda se incrementa por su carácter modular.
- Genera desde fracciones de Watt hasta decenas de MW.
- Permite la disminución del consumo de combustibles fósiles.
- No contaminan el medio ambiente.
- No emiten ruidos que puedan afectar la línea base de este indicador medio ambiental.

Entre los inconvenientes o desventajas que presenta se tienen:

- Los costos estipulados del *kWh* resultan ser más elevados en relación con las tecnologías convencionales.
- Su carácter intermitente y aleatorio, estando sometida a los ciclos día-noche, estacionales invierno-verano y las condiciones variables de la componente climática.

1.6.3 Niveles de costos de adquisición, montaje y explotación de las instalaciones.

Los Costos de SFV en cents. USD/ Wp en parques FV. Por inversión propia del país (Cuba) se muestran en la tabla 1.2, de capacidad de producción, en función de la cantidad que se compre y la procedencia. El precio completo de una instalación fija: módulos, estructuras de soporte, onduladores, protecciones, sistemas de medición, costos del proyecto, instalación y permisos administrativos está en el orden de 8.6 y 9.0 \$/W. Si la instalación es con seguidores de sol de dos ejes, el costo puede rondar los 10.60 \$/W, aunque la producción eléctrica obtenida es del orden de un 30% superior que en una fija. En la actualidad es una tendencia el crecimiento de instalación de parques solares fotovoltaicos debido a que el costo de adquisición, montaje y explotación de las instalaciones ha disminuido como lo muestra en la figura 1.21.

Tabla 1.2 Costos de SFV en cents. USD/ Wp en parques FV. Por inversión propia del país (Cuba). Fuente: (Stolik, 2014)

AÑOS	2015-16	2016-17	2017-18	2020
Modulo	70	68	64	58
Inversor >100 kW	16	14	14	12
Estructuras (SBOS)	30	26	22	16
Electricidad (EBOS)	28	25	22	20
Labor	16	12	10	10
Otros	36	30	24	18
Inversión inicial	196	175	156	134
O-M	15	12	12	11
Financiamientos *	55	47	40	35
Depreciación (no del módulo)	10	10	8	6
Labor	10	10	8	6
Otros	20	18	14	12
Costos posteriores	110	97	82	70
Costo total de por vida	306	272	238	204
Costo del kWh en Cents.USD	9	8	7	6

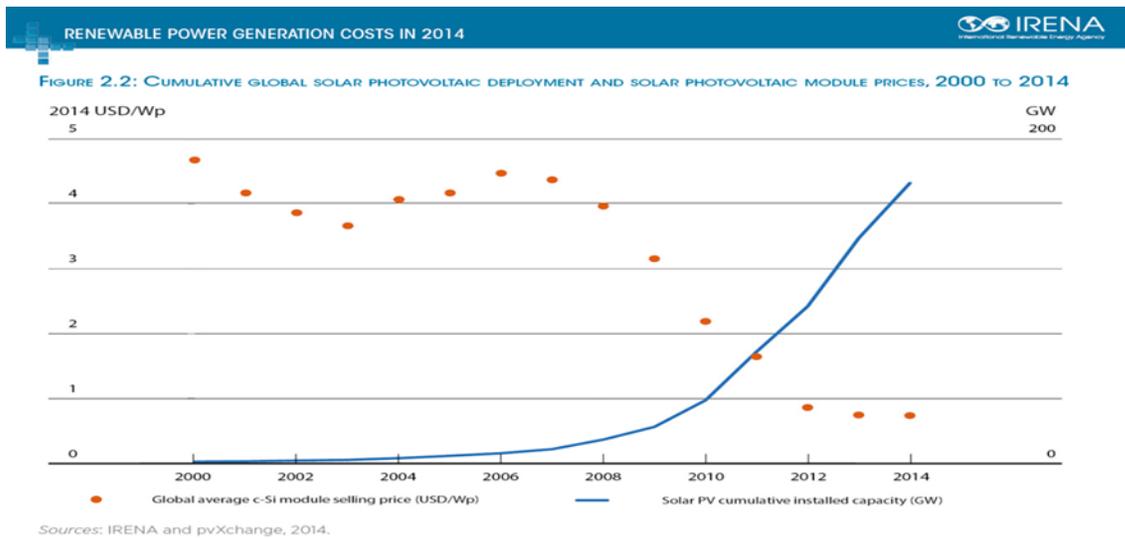


Figura 1.21 Precio actual de los módulos fotovoltaicos. Fuente: (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2015)

1.7 Experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país.

En Cuba existen 74 478 viviendas que no reciben servicio eléctrico CEN, representan el 1.9 % del total nacional, de ellas 21 194 están ubicadas en zonas montañosas donde no es posible llegar con la red eléctrica nacional para electrificarlas donde en un plazo de 3 años brindarle este servicio beneficiando un total de 80 mil habitantes, en la figura 1.22 se muestra datos de provincias donde se han instalado parques FV. (Desarrollo de las Fuentes Renovables de Energía, 2017)

El país posee experiencia en la electrificación rural mediante Sistemas Fotovoltaicos como; utilizando esta tecnología se han instalado 9 476 sistemas en comunidades rurales, puestos médicos y bombeo de agua, fundamentalmente. Una de las instituciones que más aporta a este desarrollo son las universidades que se da a la tarea de:

Servicios necesarios de las Universidades y Centros de Investigación:

- Caracterizar, evaluar y certificar los equipos y componentes de importación y de producción nacional.
- Pronosticar el comportamiento de las variables climatológicas para el diseño y la operación de las tecnologías.
- Encargos de asesoría y consultoría.
- Realizar estudios de impacto energético y ambiental.
- Pruebas en laboratorios a partir de su modernización.
- Procesar y analizar oportunamente y sistemáticamente la información sobre las tendencias tecnológicas, novedades, invenciones, socios potenciales, información comercial y financiera; y la asimilación efectiva de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las FRE.
- Elaborar planes de capacitación de recursos humanos que cubran desde directivos hasta técnicos de nivel medio.
- Elaborar libros técnicos para cada tecnología.

Lugar	Potencia (MW)	Cantidad de Módulos	Potencia de los módulos (Wp)	Cantidad de Inversores	Potencia Pico (MWp)
Cantarrana	1,6	8700	185	87	1,609
Sancti Spiritus	0,44	2400	185	24	0,444
Santa Clara	1,15	6200	185	62	1,147
Guáimaro	1,7	9200	185	92	1,702
Guantánamo	2,5	10400	240	130	2,496
Santiago de Cuba	2,5	10400	240	130	2,496

Figura 1.22 Parques FV instalados en Cuba. Fuente: (Lauzarique, 2015).

1.8 Principales averías existentes en la explotación de los sistemas fotovoltaicos.

Dada la enorme variedad y la modularidad de los sistemas fotovoltaicos, es obvio que un número significativo de errores puede darse debido a una formación insuficiente de los instaladores sobre la disponibilidad y parámetros técnicos de los diferentes componentes fotovoltaicos, así como sobre los requisitos nacionales en lo referente a los procesos administrativos, los requisitos de conexión a red y los reglamentos de construcción. (INTELLIGENT ENERGY EUROPE, 2017)

Hay una serie de etapas en el desarrollo de un sistema fotovoltaico en las que pueden ocurrir errores:

- Selección de la ubicación
- Diseño y planificación del sistema:
 - Selección de los componentes.
 - Fallos mecánicos.
 - Fallos eléctricos.
- La instalación física de los componentes.
 - Fallos mecánicos.
 - Fallos eléctricos.
- La seguridad (seguridad personal, así como la seguridad de la instalación, por ejemplo, a las exposiciones externas)
- Servicio, incluyendo la inspección y mantenimiento (insuficiente).

La Tabla 1.3 ofrece una visión general sobre el tipo de defecto y la frecuencia de aparición.

Tabla 1.3 Tipo y frecuencia de los defectos de instalación. Fuente: (INTELLIGENT ENERGY EUROPE, 2017)

Fallos de instalación	Frecuencia (%)
Cableado no fijado mecánicamente	24%
Falta de disipación de calor de los diodos de paso	60%
Conexiones de terminales sueltas	5%
Entrada superior del cable a la caja de conexiones sin sellar	-
Placas de circuito impreso (PCI) rotas en la caja de conexiones	-

Los fallos más comunes no se dan debido a las malas prácticas en una determinada etapa del desarrollo de un sistema fotovoltaico, sino que son una combinación o acumulación de acciones no óptimas en las diferentes etapas o simplemente debido a la comunicación incorrecta o inadecuada entre los diseñadores e instaladores. (León & Yoel, Sistema de Paneles FV, 2017)

1.8.1 Selección de la ubicación.

Los fallos en la selección inicial del lugar de los sistemas sobre tejados son muy raros. La mayoría de los instaladores (así como clientes finales) son conscientes de la importancia de la orientación e inclinación de la instalación fotovoltaica. Apenas veremos instalaciones orientadas al norte en tejados residenciales. (León & Yoel, Sistema de Paneles FV, 2017)

1.8.2 Diseño y planificación del sistema.

Las etapas de diseño y planificación implican adoptar decisiones en cuanto al tamaño apropiado del sistema y a la selección de los diferentes componentes. Es importante tener en cuenta los cálculos de la carga estructural y resistencia al viento. Además, se debería hacer hincapié en el dimensionamiento, incluyendo el tamaño y la selección apropiada del inversor, cables, optimizadores de potencia y conmutadores, así como las cajas de conexiones y los transformadores. Esta

tarea normalmente termina con un ejercicio de simulación sobre el rendimiento de la futura instalación fotovoltaica, por lo que también requiere conocimiento sobre el software y herramientas de simulación para el modelado del rendimiento.

En sistemas residenciales, es de vital importancia respetar los códigos de la edificación y de seguridad, incluyendo las medidas de ventilación del edificio, el acceso de los cuerpos de bomberos, la carga máxima, etc. Cuando el tejado no es apropiado para la instalación de un sistema fotovoltaico, este hecho deber ser simplemente dado a conocer. (INTELLIGENT ENERGY EUROPE, 2017)

1.8.3 Instalación física de los componentes.

Este paso requiere normalmente el trabajo conjunto de un instalador de tejado y un electricista. Una vez más, está claro que sin una formación suficiente sobre las particularidades de la energía fotovoltaica, la probabilidad de errores en esta fase puede ser significativa. (INTELLIGENT ENERGY EUROPE, 2017)

Errores comunes que se encuentran en esta etapa son:

- El instalador no sigue el diseño del sistema.
- Ventilación de inversores y de los módulos insuficiente (la zona alrededor del inversor debe mantenerse libre para permitir la buena circulación de aire para la refrigeración adecuada).
- Perforación del tejado sin métodos de sellado adecuados.
- Cableado inadecuado: cables tirantes o flojos.
- Ausencia de etiquetado o etiquetado incorrecto.
- No hay toma de tierra o de protección contra descargas atmosféricas
- No hay intervención en el caso de corrosión.
- Sensores mal colocados.
- Seguridad de la instalación

1.8.4 Seguridad de la instalación.

Un elemento importante que está siendo también discutido ampliamente en algunos países de la UE es la protección contra incendios. En primer lugar, es fundamental entender que en incendios donde existía una instalación fotovoltaica, la causa del fuego fue debida principalmente a fuentes externas y en muy pocas ocasiones se ha registrado que el sistema fotovoltaico fuera la fuente del fuego (la

polaridad incorrecta puede causar graves daños al campo fotovoltaico y a la electrónica del sistema, así como causar incendios en algunos sistemas). La preocupación no está tan relacionada con la calidad de los sistemas fotovoltaicos en sí, como con la seguridad de los bomberos al extinguir un incendio en un edificio con un sistema fotovoltaico. Por lo tanto, cuatro elementos son de vital importancia: el diseño de la instalación fotovoltaica, la calidad de los componentes fotovoltaicos, la calidad de la instalación y la comunicación con otras partes interesadas (tales como los departamentos de bomberos). (INTELLIGENT ENERGY EUROPE, 2017)

Capítulo 2: Características constructivas de las edificaciones y del sistema de suministro eléctrico de la Universidad de Cienfuegos, Sede Conrado Benítez.

En este capítulo describiremos las edificaciones que componen la Cede Conrado Benítez, se realizara una caracterización del sistema eléctrico mostrando todos los elementos consumidores del mismo y se desarrolla una metodología para la instalación de un parque fotovoltaico en las azoteas de dichos edificios.

2.1 Características constructivas de las edificaciones

La Sede Conrado Benítez la cual pertenece a la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez, calle 45 y 55 avenida 20 en la ciudad de Cienfuegos. Cuenta con 6 edificios los cuales están distribuidos entre edificios de residencia estudiantil, docente y administrativo. En la figura 2.1 se muestra una vista superior del centro, señalizada con una línea continua de color rojo.



Figura 2.1: Vista satelital de la Universidad de Cienfuegos. Sede: “Carlos Rafael Rodríguez”.
Fuente: Google maps

Para determinar el aprovechamiento de las áreas posibles donde se pueden montar un sistema fotovoltaico, nos auxiliamos del esquema mostrado en la figura

2.2. En la misma se representan las edificaciones señalizadas mediante letras donde cada una de estas describe su función en el campus universitario.

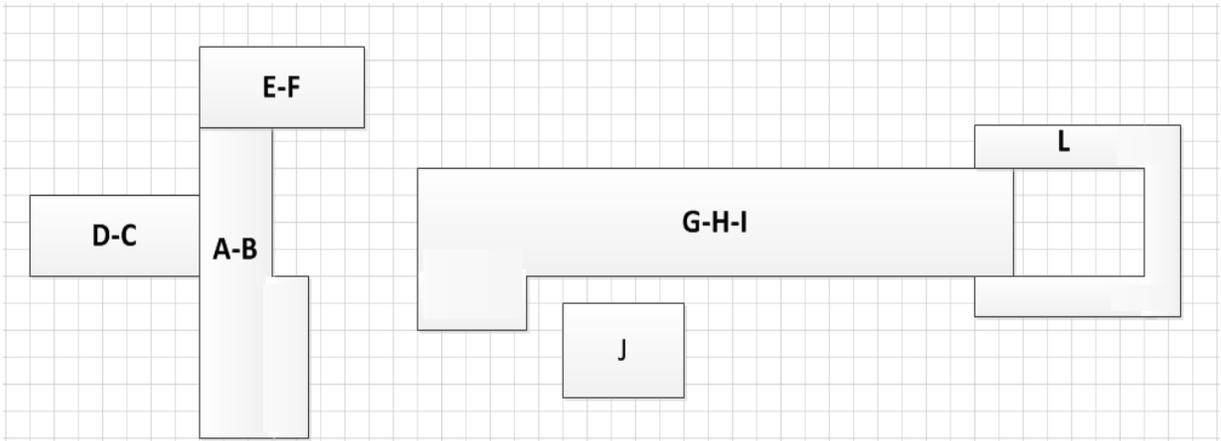


Figura 2.2. Plano de la Sede Conrado Benítez. Fuente: elaboración propia.

Descripción de las edificaciones por bloque:

- ❖ Bloque A-B la edificación se encuentra en construcción, solo existen dos locales en funcionamiento.
- ❖ Bloque D-C esta edificación está destinada a la residencia estudiantil, se encuentra dividida en dos partes los pisos (2, 3, 4), una primera (C) cuenta con tres cuartos y la (D) con tres cuartos más, pero de estudiantes extranjeros. Mientras que el primer piso está se encuentra beca.
- ❖ Bloque E-F destinado a la residencia estudiantil con siete cuartos por piso.
- ❖ Bloque G-H-I representa el docente, es la edificación que más consumidores presenta en la institución. Por lo que para su descripción se analizara por pisos:

1er piso. Está compuesto por: el decanato, secretaría docente, biblioteca, departamentos, aulas, teatro, Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI), cafetería, pasillos y baños.

2do piso. Conformado por aulas, talleres, departamentos, laboratorios y cafetería.

3er piso. Conformado por aulas, laboratorios y departamentos.

4to piso. Formado por aulas.

- ❖ Bloque J edificación destinada al comedor.
- ❖ Bloque L Formado por laboratorio, bibliotecas y departamentos.

2.2 Descripción del sistema eléctrico de la Sede Conrado Benítez.

El sistema eléctrico de la Universidad se muestra en las figuras 2,3. Se abastece la institución a 13,3 kV desde el sistema eléctrico nacional (SEN). Cuenta de dos transformadores a la entrada en conexión estrella-delta (YD) y alimenta a todos los edificios. Otro de conexión estrella-estrella (YY) está destinado a la alimentación de las neveras y bombas de agua.

Sede Conrado Benítez:

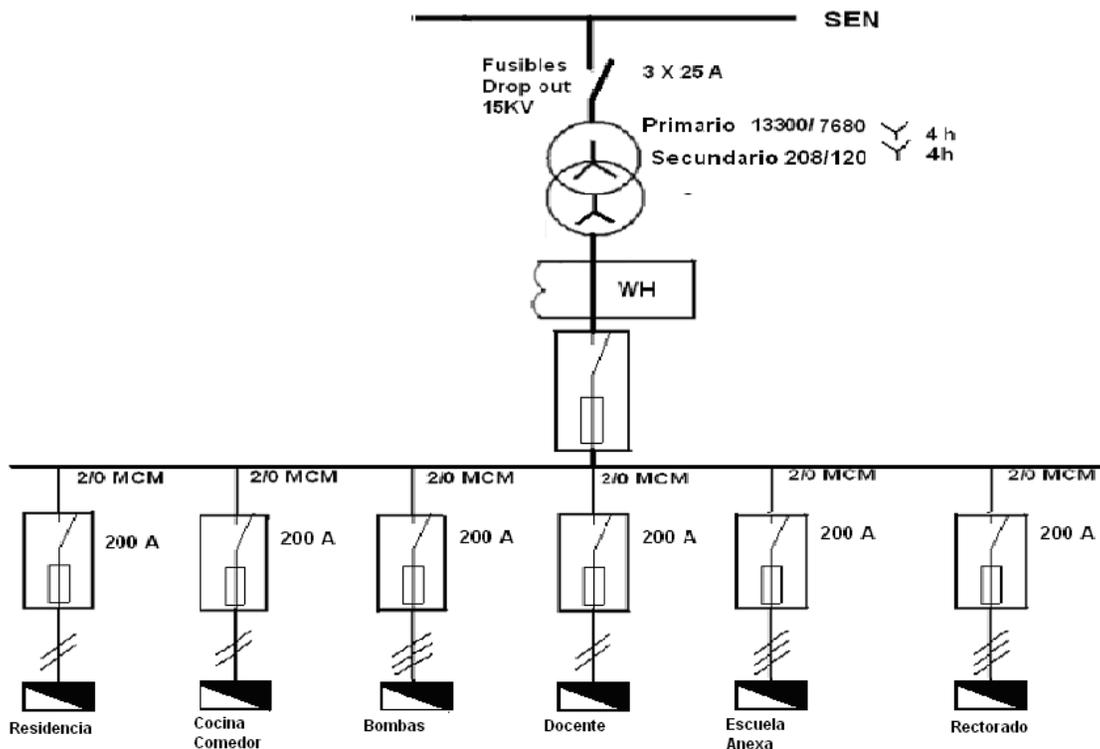


Figura 2.3 Diagrama unifilar de la Universidad. Fuente: Departamento de Mantenimiento.

2.3 Metodología de cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR).

Para el cálculo, diseño e instalación del sistema fotovoltaico se requiere seguir una serie de pasos, los cuales nombraremos y explicaremos en qué consisten.

1. Determinación de la carga y energía consumida.

2. Selección del módulo FV e inversor y cálculo de los módulos.
3. Determinar las áreas para la instalación.
4. Cálculo de orientación, inclinación, sombra y distancias entre paneles.
5. Cantidad de paneles.
6. Determinación del número de inversores.
7. Selección de baterías.
8. Cableado.
9. Instalación FV.
10. Cálculo económico.

Cada sistema FV es particular ya sea por los distintos espacios disponibles para su instalación o por los diversos factores que influyen en su aprovechamiento, pero su metodología a la hora de diseñar un sistema FV conectado a la red es similar.

1- Carga.

La definición de un sistema FV deja claramente establecido que el primer paso en el diseño de un sistema FV consiste en la determinación de las características y el valor de la carga eléctrica. Para ello debe realizarse un conteo de todos los equipos consumidores en la instalación para conocer su consumo respectivamente.

2- Selección del panel FV.

Una vez determinado el valor de la carga, el siguiente paso es calcular la parte generadora. Este proceso comienza con la selección del panel FV. Desde un punto estrictamente técnico, los parámetros eléctricos (voltaje a circuito abierto, potencia de salida, degradación de la misma con la temperatura, etc.) son los más importantes. En la práctica, el costo de la unidad, o la selección ofrecida por el mercado local pueden tener más influencia que los anteriores en el proceso de selección de un panel.

3- Área útil.

Se determina el área disponible en función de los módulos Fotovoltaicos (FV) requeridos para la carga eléctrica a satisfacer. También se tendrá en cuenta un

área razonable para que los operarios puedan trabajar ya sea para el mantenimiento de los paneles o revisión del sistema FV.

4- Calcular la orientación, inclinación, sombra y distancia entre paneles.

Orientación de los paneles.

A la hora de diseñar este tipo de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles a fin de que capturen la mayor cantidad de radiación solar.

Si el sistema es instalado al norte del Ecuador, los paneles deberán mirar al sur. Sistemas instalados al sur del Ecuador deberán mirar al norte. La determinación exacta de estos puntos cardinales no es crítica, dado que la variación de la insolación con la orientación no es brusca. El uso de una brújula permite la determinación del norte (o sur) magnético. Para determinar el norte (o sur) geográfico, Ud. debe corregir la posición sabiendo el valor de la declinación del lugar. Este último valor representa la diferencia, en grados, hacia el este o el oeste, entre el sur (o norte) magnético y el geográfico. La Figura 2.4 muestra la diferencia entre los polos magnéticos y geográficos para una locación que tiene un ángulo de declinación de 20° .

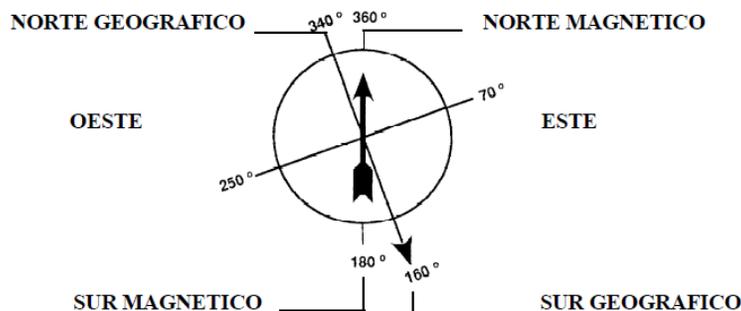


Figura 2.4 Diferencia entre los polos magnéticos y geográficos para una locación que tiene un ángulo de declinación de 20° . Fuente : (CNCI, 2016)

Otro método para determinar el sur (o norte) geográfico es el siguiente: plante una estaca en el suelo y observe la longitud de su sombra. Cuando ésta se reduce a un mínimo, se ha alcanzado el mediodía solar para esa estación del año. La dirección de la sombra y la posición del sol le indican la dirección del sur (o norte) geográfico.

Este método puede ser perfeccionado si el diario local publica el tiempo de salida y puesta del sol. La mitad de esa diferencia horaria, sumada a la hora de salida, proporciona la hora para el mediodía solar. En ese momento puede observar la dirección de la sombra y la posición del sol. (Curso de Energía Solar y Fotovoltaica, 2017)

Ubicación y ángulo de inclinación

En ningún momento del día los paneles deberán estar a la sombra, aunque ésta sea sólo parcial, pues la resistencia interna del panel incrementa drásticamente en la zona sombreada. Observe cuidadosamente, durante el invierno, dónde cae la sombra de árboles o plantas cercanas a donde Ud. va a instalar los paneles. Si los ubica en el suelo, evite que sean dañados por animales o vehículos, proveyendo un cerco de protección. Si ubica los paneles en el techo y éste no es plano, el ángulo del techo forma parte del valor del ángulo de inclinación como se muestra en la figura 2.5.

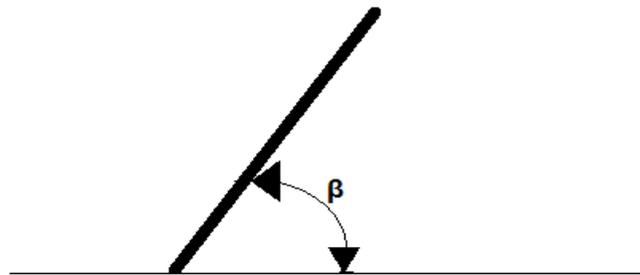


Figura 2.5 Inclinación de los módulos. Fuente: Elaboración propia. Fuente: Confección propia.

El cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares, se obtendrá mediante el método de “mes peor”, en el cual, se considera el mes de menor radiación captada sobre los paneles. Para utilizar este método se debe tener en cuenta dos variables; el período para el cual se utilizará la instalación solar fotovoltaica, debe definirse si se explotará en verano, en invierno o durante todo el año y la latitud del emplazamiento donde estarán instalados los paneles solares.

Tabla 2.2 Inclinación de los paneles según su latitud. Fuente: (Sardinero, 2011)

Periodo de diseño	β
Diciembre	$\Phi + 10^\circ$
Julio	$\Phi - 20^\circ$
Anual	$\Phi - 10^\circ$

Distancia mínima entre filas de módulos.

En este apartado se calculará la distancia mínima de separación entre las distintas filas de módulos solares que componen el generador fotovoltaico para que no se produzcan sombras de unos módulos sobre otros, en la figura 2.6 se muestran todas las medidas que debemos tener en cuenta.

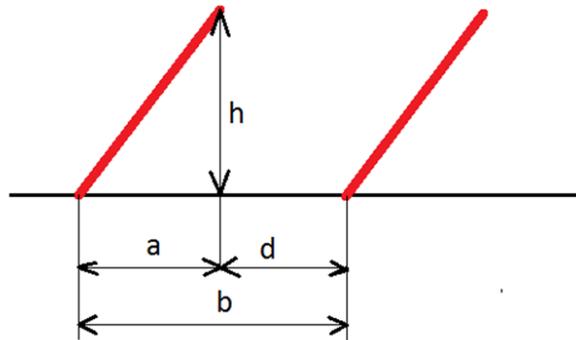


Figura 2.6 Distancia a tener en cuenta entre paneles. Fuente: Elaboración propia.

La distancia “d”, medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura “h”, que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol. Esta distancia “d” será superior al valor obtenido por la expresión 2.1.

$$d = \frac{h}{\text{tang}(61^\circ - \text{latitud})} \quad (2.1)$$

La distancia de separación entre filas de módulos depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado este el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas.

Por lo tanto, sabiendo la longitud del panel, el ángulo que forma con la horizontal y h la altura de los mismos:

$$h = \text{longitud del panel} \times \sin\beta \quad (2.2)$$

Dónde:

β Ángulo de inclinación óptima de los paneles respecto a la horizontal.

La distancia entre los extremos inferiores de dos paneles consecutivos $b=a + d$. En el cual "a" es la proyección del panel en la superficie horizontal.

$$a = \text{largo del panel} \times \cos\beta \quad (2.3)$$

Cálculo del número de paneles

En este punto se especificará cuantos paneles solares serán utilizados en la instalación y como se conectarán entre si teniendo en cuenta los siguientes puntos:

Área a ocupar por los paneles solares; lo visto en apartados anteriores, muestra el área que podrán ocupar los paneles solares de la azotea, que será un área rectangular.

La separación entre filas; una vez calculada la separación mínima que debe haber entre filas de paneles (b), se podrá calcular el número de estas que se podrán colocar sobre el área útil de las azoteas.

$$\text{Número máximo de filas de paneles} = \frac{\text{ancho de la edificación}}{\text{distancia entre paneles}} \quad (2.4)$$

Conocidas las dimensiones de los paneles solares, el área máxima a ocupar y teniendo en cuenta que los paneles estarán dispuestos horizontalmente, en cada fila podrán colocarse el número determinado por la expresión 2.5:

$$\text{Número máximo de panel por filas} = \frac{\text{largo del edificio}}{\text{ancho del panel}} \quad (2.5)$$

Número de paneles

Una vez hecha la elección, es imprescindible conocer la potencia de salida del panel elegido a la más alta temperatura de trabajo. Como se conocen ahora tanto el valor que debe ser generado como el mínimo proporcionado por el panel, la relación entre ambos valores da una indicación del número de paneles requeridos en el sistema. El número exacto de ellos, en algunos diseños, está determinado por el voltaje de trabajo o la corriente máxima de carga.

Estos dos factores pueden dictar una combinación serie o serie-paralelo de los paneles, determinando eventualmente el número a usarse.

Banco de reserva

Si el sistema requiere un banco de reserva, la capacidad de generación deberá incrementarse, ya que las pérdidas asociadas con el proceso de carga deben ser compensadas. La capacidad de reserva dependerá de la cantidad de días consecutivos sin sol y el grado de confiabilidad que se considera tolerable para el sistema. El número de baterías de Pb-ácido del banco de reserva estará determinado por el máximo valor elegido para la profundidad de descarga (PD), así como el tipo de batería de Pb-ácido a usarse (voltaje nominal y capacidad de reserva de la unidad).

Selección de la batería

Batería solar

Los electrodos de una batería solar tienen una aleación de antimonio, la que permite adherir una mayor cantidad de material activo. Vimos en el capítulo anterior que el envejecimiento de una batería se produce por la pérdida de éste cuando la batería es descargada. Celdas con mayor cantidad de material activo tienen una más larga duración y profundidad de descarga. El incremento del material activo aumenta el costo y el peso de la batería. Una batería solar de 6 V, con volumen muy similar a la de 12 V en un automotor, pesa más de 30 Kgs. La presencia del antimonio incrementa las pérdidas por auto descarga. Si una batería solar permanece en almacenamiento, debe ser cargada con frecuencia. Como la presencia del antimonio incrementa la gasificación, la corriente de carga en un sistema FV debe tener un régimen variable.

La batería solar permite una profundidad de descarga (PD) máxima del 80%, cientos de veces, a niveles de corriente moderados. Es por ello que a estas baterías se las denomina de ciclo profundo (BCP).

Se considera que una BCP ha completado todos los ciclos de carga y descarga cuando, al ser cargada nuevamente, la máxima energía que puede almacenar se reduce al 80% de su valor inicial. El número de ciclos de carga/descarga depende de la PD. Cuando ésta disminuye, el número de ciclos aumenta. Para una dada PD, la batería más robusta proporciona el mayor número de ciclos. La figura 2.7 se muestran las características para dos baterías solares de Pb-ácido con

electrolito líquido. El número de Ah y el peso de cada modelo (en Kgs), de esta forma se ilustran las diferencias que existen entre ambas.

Batería 1		Batería 2	
217Ah; 30 Kgs		350Ah; 65 Kgs	
% PD	No de ciclos	% PD	No de ciclos
80	543	80	693
50	757	50	1.068
30	1.100	30	2.050
20	1.800	20	3.050



T-105

Batería de 6V-217Ah



L-16

Batería de 12V-350 Ah

La figura 2.7 Características de las baterías de 6V y 12V respectivamente. Fuente: (Curso de Energía Solar y Fotovoltaica, 2017)

2.5. Descripción del software PVSYST.

El software PVsyst se emplea en el trabajo para la simulación del sistema fotovoltaico diseñado. El mismo es una herramienta diseñada para el desarrollo de simulaciones acerca de instalaciones fotovoltaicas, ya sean aisladas, conectadas a red, así como algunas aplicaciones específicas como son el bombeo de agua entre otras. Esta herramienta fue desarrollada en su primera versión por la Universidad de Ginebra en el año 1994, con una facilidad de explotación en varios idiomas. En la figura 2.8 mostramos el interfaz de inicio del programa.

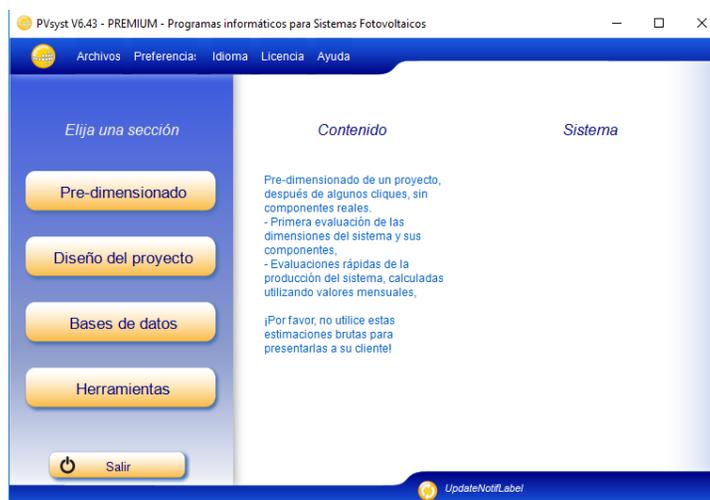


Figura 2.8. Pantalla de inicio del software

En este interfaz de inicio se pueden seleccionar las tres opciones que aparecen, las que serán descritas a continuación:

1. Pre-dimensionado: permite realizar un análisis sencillo sin componentes reales para evaluar las dimensiones que podrá tener el sistema, evaluaciones rápidas de la producción del sistema calculadas utilizando valores mensuales.

2. Diseño del Proyecto: Permite realizar un estudio y un análisis completo del proyecto en cuestión, con cálculos precisos de la generación del sistema utilizando simulaciones detalladas por horas, meses, años además de poder estudiar diferentes variantes de sistemas y comparar entre cada una de ellas, también efectúa estudios de pérdidas totales del sistema, así como perfiles de sombreado en 3D y evalúa económicamente el sistema con valores reales de sus componentes y con sus precios.

3. Bases de datos: Es la encargada de administrar datos climatológicos y componentes. Entre estos datos de clima se encuentran los archivos mensuales, generación de datos sintéticos y análisis de verificación de archivos por hora. En base de datos de componentes se localizan los módulos FV, inversores, baterías, bombas, controladores, generadores, etc.

4. Herramientas: En esta opción están las herramientas didácticas (geometría solar, optimización de la orientación, comportamiento eléctrico de campos FV con sombreado o mismatch) y análisis de datos reales medidos.

2.5. Conclusiones parciales.

1- Se realizó una caracterización constructiva de las edificaciones, determinándose las posibles a usar.

2- Se revisaron y actualizaron los monolineales eléctricos de la Sede Conrado Benítez.

3- Se describió la metodología a seguir para el cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR).

4- Se presentó la descripción del software PVsyst para la comprobación de la metodología empleada en el estudio.

CAPÍTULO 3: Desarrollo del ante proyecto técnico del sistema fotovoltaico en la Universidad de Cienfuegos. Sede “Conrado Benítez”

En el capítulo se desarrollan los cálculos indicados en la metodología dada en el epígrafe 2.3, así como el análisis económico preliminar. Se determinará si este pre proyecto es factible y si abastece completamente a la universidad.

3.1 Censo de carga

Para la realización del censo de carga se realizó el levantamiento general de los equipos instalados en las diferentes áreas. Con los datos de chapa y entrevista a los trabajadores, se determinó las cantidades de equipos en uso; las horas estimadas de servicio y con ellos el consumo de energía. El propósito principal de este censo de cargas es conocer las cargas eléctricas de la edificación y el consumo de energía. En la tabla 3.1 brindamos un ejemplo de la metodología empleada para el análisis del primer piso del docente de la Sede Conrado Benítez, las demás edificaciones de la entidad se muestran en los anexos 1 al 3.

Tabla 3.1 Resumen de carga y energía del docente (bloque G-H-I). Fuente: Elaboración propia.

Local	Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas diarias	Días de uso	kW/h Diario	kW/h Mensuales	Carga Conectada
decanato	computadora	5	0.13	6	23	3.9	89.7	0.65
	L 40W	12	0.052	4	23	2.496	57.408	0.624
	Ventilador	3	0.06	5	22	0.9	19.8	0.18
	Impresora	2	0.13	1	10	0.26	2.6	0.26
pasillo y baños	L 40W	40	0.052	10	30	20.8	624	2.08
CRAI	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	L 40W	12	0.052	7	23	4.368	100.464	0.624
	TV	2	0.85	3	5	5.1	25.5	1.7
	Impresora	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13
Facultad de ciencias pedagógicas	L 40W	12	0.052	7	23	4.378	100.474	0.624

	L 20W	2	0.025	7	23	0.35	8.05	0.050
	computadora	6	0.13	6	23	4.68	107.64	0.78
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Ventilador	6	0.06	5	22	1.8	39.6	0.36
	Impresora	4	0.13	1	10	0.52	5.2	0.52
	Aire acondicionado	1	0.476	4	22	1.904	41.888	0.476
Teatro	L 40W	14	0.052	4	14	2.912	40.768	0.728
	L 20W	2	0.025	4	14	0.2	2.8	0.050
Departamento de educación especial	L 40W	12	0.052	7	23	4.368	100.464	0.624
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadora	3	0.13	6	23	2.34	53.82	0.39
	Ventilador	1	0.06	5	22	0.3	6.6	0.06
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Departamento E. Prescolar	L 40W	13	0.052	7	23	4.732	108.836	0.676
	L 20	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Departamento Pedag.- Psicológico	L 40W	8	0.052	7	23	29.12	669.76	4.16
	computadora	3	0.13	6	23	2.34	53.82	0.39
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
Departamento de Educación Primaria	L 40W	6	0.052	7	23	2.184	50.232	0.312
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85

Departamento de Educación Laboral	L 40W	6	0.052	7	23	2.184	50.232	0.312
	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
	Aire acondicionado	2	0.476	4	22	3.808	83.776	0.952
Departamento de Arte	L 40W	3	0.052	7	23	1.052	25.116	0.156
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
Departamento de Lengua Extranjera	L 40W	3	0.052	7	23	1.092	25.116	0.156
	L 20W	6	0.025	7	23	1.05	24.15	0.15
	computadoras	4	0.13	6	23	3.12	71.76	0.52
	TV	2	0.85	3	5	5.1	25.5	1.70
	Ventiladores	4	0.06	5	23	1.2	27.6	0.24
	Impresora	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13

Tabla 3.2 Resumen de carga y energía por edificios. Fuente: Elaboración propia.

Edificación (por bloques)	Consumo kWh diarios	Consumo kWh mensuales
C-D	117,584	2790,562
E-F	50,65	981,126
G-H-I	311,703	6131,789
J	835,185	24932,08

Con la energía consumida en cada edificio dado en la Tabla 3.2 se procede a seleccionar los módulos fotovoltaicos a instalar.

3.2 Selección del módulo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico escogido para la instalación del sistema es el DSM-250, producido por la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara ubicada en la carretera al Aeropuerto Álvaro Barba Km 2 ½, Pinar del Río, Cuba. El módulo está compuesto por 60 celdas solares del formato $156_{mm} \times 156_{mm}$, con dimensiones incluyendo el marco de $1690 \times 992 \times 35_{mm}$ conectadas en serie-paralelo; es capaz de entregar una potencia de 250 Wp con una tolerancia de $\pm 3\%$, bajo condiciones estándar de radiación (STC: $1000W/m^2$, temperatura de los módulos $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, masa de aire AM 1,5). Este módulo, en su punto de máxima potencia, genera al voltaje 30.5 V de corriente directa (CD).

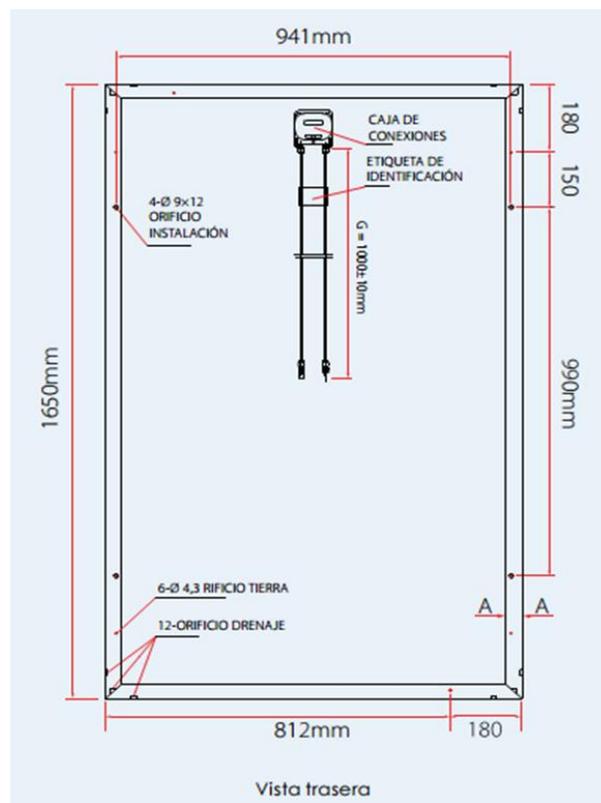


Figura 3.1. Módulo fotovoltaico DSM-250. Fuente: (Iván, 2017).

La degradación de la potencia nominal de los módulos fotovoltaicos no será superior en:

- 10% a los 20 años.
- 20% a los 25 años.

Además, el fabricante brinda 10 años de garantía contra defectos de fabricación y afirman que los módulos DSM cumplen con todos los requerimientos establecidos en las normas internacionales IEC 61215 –Edición 2 e IEC 61730, así como presentan una clase de protección II, lo que significa que los materiales utilizados en la instalación poseen doble aislamiento.

3.3. Determinación de las áreas para la instalación.

Para determinar el área disponible para los sistemas fotovoltaicos nos auxiliamos de la figura 2.2 mostrada en el capítulo 2. En la tabla 3.3 se muestra las dimensiones de la universidad mostrando largo, ancho en metros. Además, se tiene en cuenta el espacio necesario para el mantenimiento y limpieza de los módulos, por lo que se muestra el valor del área útil de cada superficie.

Tabla 3.3 Dimensiones de los edificios y área útil. Fuente: Elaboración propia

Edificios (por bloques)	Largo(m)	Ancho(m)	Área total del edificio(m ²)	Área útil del edificio(m ²)
A	24	8	192	88
B	36	12	432	306
C-D	42	12	504	360
E-F	42	12	504	360
G-H-I	174	12	2088	718
L	-	-	-	*
J	-	-	-	*

*En los bloques (L) y (J) no es posible la instalación de paneles fotovoltaicos debido a que en L existen plantas que obstruyen la radiación solar y en J es el área destinada al comedor su azotea se encuentra ocupada.

3.4 Cálculo de inclinación, sombras y distancia entre paneles.

Como Cuba está ubicada geográficamente en el hemisferio norte, es recomendable usar la orientación sur.

El cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares, se obtendrá mediante el método de “mes peor” conociendo la latitud (Φ): 22.129⁰ de la Universidad, donde se instalarán los módulos.

Utilizando este método para obtener la inclinación óptima de los paneles solares en la instalación según el período de diseño el ángulo tendría un valor de 22.17° según el período anual, pero para la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en Cuba la Unión Eléctrica Nacional recomienda que el ángulo de inclinación (β) sea de 15° .

Conocida la altura que tendrán los paneles en su inclinación máxima por la ecuación 2.2, sustituyendo este valor en la ecuación 2.1 para determinar la distancia "d" entre paneles y determinando la proyección del panel en la superficie horizontal mediante la ecuación 2.3, la distancia entre paneles será de 1.28m. Dichos cálculos son mostrados en la figura 3.2.

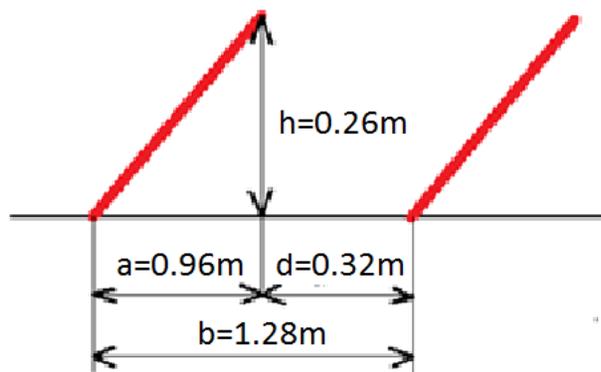


Figura 3.2. Distancia entre paneles. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Cálculo del número de paneles

Para obtener la cantidad de paneles que se pueden instalar en el centro, se utilizan las ecuaciones (2.4 y 2.5) y la tabla 3.4 para obtener número máximo de filas de paneles y el número máximo de paneles por fila como se refleja en la tabla 3.4.

Para este estudio se realizaron los cálculos en los edificios en la tabla 3.3 despreciando así el comedor (J) y los laboratorios (L) debido a que estas edificaciones tienen en su azotea elementos que obstaculizan el montaje de los módulos.

Tabla 3.4. Cantidad de paneles por bloques. Fuente: Elaboración propia

Bloques	Dimensión (m)	Número de filas	Paneles por fila	Total de paneles
A	22x6	3	22	66
B	34x10	5	34	170
C-D	40x10	5	40	200
E-F	40x10	5	40	200
G-H-I	172x10	5	173	865
Total				1501

3.6 Selección del inversor.

El inversor escogido para la instalación es el Sunny Tripower (25000LT de 25kW) de potencia nominal, adecuado para el arreglo escogido de los paneles en forma de cadenas con una potencia de salida en cada cadena cercana a la potencia nominal del inversor. De acuerdo con las especificaciones técnicas del inversor que se muestra en el [anexo 24](#) y el criterio del [ingeniero eléctrico \(León & León, Selección del inversor, 2017\)](#) se utilizará un inversor cada 30 paneles fotovoltaicos. La tabla 3.5 se muestra la cantidad de inversores para cada bloque en función del criterio antes planteado.

Tabla 3.5. Cantidad de paneles por inversores. Fuente: Elaboración propia

Edificaciones (por bloques)	# de paneles	# de inversores
A	66	2
B	170	5
C-D	200	7
E-F	200	7
G-H-I	865	29
Total	1501	50

Obtenido el número máximo de paneles por fila y la cantidad de filas que se pueden instalar en el área útil de las azoteas se obtiene un valor de 1501 paneles fotovoltaicos. Conociendo la potencia nominal de los módulos que es de 250W y el valor de las horas solares pico se determina la capacidad de generación del parque fotovoltaico por la ecuación (3.1).

$$\text{Capacidad de generación} = \text{cantidad de paneles} \times \text{potencia nominal} \times \text{HSP} \quad (3.1)$$

$$\text{Capacidad de generación} = 1501 \text{ paneles} \times 250W \times 5h \text{ solar pico}$$

$$\text{Capacidad de generación} = 1876,25 \text{ kWh/días} = 56 \text{ 287,5kWh/meses}$$

Donde:

HSP es el valor de la hora solar pico.

3.7 Cálculo económico.

En este epígrafe se hace un análisis económico para determinar los beneficios totales que tendrá el campus universitario después de ser instalados los módulos fotovoltaicos.

Como el campus universitario es considerado un cogenerador y se encuentra sincronizado al SEN y exporta la energía que le sobra, el ahorro de energía eléctrica puede ser vendida y los ingresos por este concepto se calculan a partir del precio de venta promedio de la energía eléctrica.

En la tabla 3.6 se muestran los valores reales del consumo de energía eléctrica del campus universitario en el presente año, así como el promedio de consumo mensual y diario en kWh.

Tabla 3.6 Consumo de energía eléctrica mensual del 2018. Fuente: Confección propia.

Meses	Consumo kWh
septiembre	29099.63
octubre	3103.44
noviembre	29247.83
diciembre	28349.64
enero	13996.02
febrero	27227.01
marzo	30737.64
abril	29333.03
mayo	34758.84

Promedio mensual	29 709.90
Promedio diario	990.33

3.7.1-Inversión inicial

La inversión inicial está dada fundamentalmente por el costo de adquisición y montaje del sistema FV. El costo de adquisición del sistema FV ha venido disminuyendo en los últimos años como se explica en el epígrafe 1.6.3 del capítulo 1, por lo que la inversión normalmente se recupera de manera rápida.

Según (Stolik, 2014) el precio para una unidad (modulo, inversor, estructuras (SBOS), electricidad (EBOS), labor y otros) en USD/ Wp es de 156 para el 2018 para mayor información consultar la tabla 1.2.

❖ Costo de inversión igual a 585 39000 USD o 585 390 CUC.

3.7.2-Tarifa eléctrica de venta.

La tarifa de compra de electricidad a cogeneradores, para cada horario del día, según la resolución 283 del 17 de junio de 2014 es como sigue:

Horario del día (5:00 am a 5:00 pm):	$(0,0254 \cdot K + 0,012) \cdot \Delta E$
Horario de madrugada (9:00 pm a 5:00 am):	$(0,0169 \cdot K + 0,012) \cdot \Delta E$
Horario pico (5:00 pm a 9:00 pm):	$(0,0327 \cdot K + 0,012) \cdot \Delta E$

Dónde:

K es el factor de combustible que establece el Ministerio de Finanzas y Precios, en este caso es 3.1857 y ΔE es la energía vendida en el horario correspondiente.

Considerando esta tarifa, el precio promedio del kWh vendido al SEN es de 0.0877 \$/kWh.

3.7.3 Energía ahorrada por la instalación del parque FV.

Para determinar el gasto económico mensual por consumo de energía eléctrica de la Universidad de Cienfuegos "Sede Conrado Benítez" se utiliza la ecuación (3.2). El valor de la tarifa contratada se obtiene para el factor $k=3.1857$ y da un valor medio del kWh de 0,14 \$/kWh.

$$GEEE = \text{Consumo de energía eléctrica} \times \text{Tarifa contratada} \quad (3.2)$$

$$GEEE = 56\,287,5 \frac{\text{kWh}}{\text{meses}} \times 0.14 \text{ \$/kWh}$$

$$GEEE = 7880.25\$/\text{meses} = 94563\$/\text{año}$$

Donde:

GEEE es el gasto económico por concepto de energía eléctrica.

Para determinar la cantidad de energía entregada del campo fotovoltaico al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) se recurre a la ecuación (3.3), en este caso la energía generada por el parque fotovoltaico se multiplica por 0.8 considerando condiciones meteorológicas adversas:

$$\text{Energía entr. al SEN} = \text{Capacidad generación del parque fotovoltaico} \times 0.8 - \text{GMEU} \quad (3.3)$$

$$\text{Energía entr. al SEN} = 56\,287.5 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \times 0.8 - 29\,709.90\text{kWh}/\text{mes}$$

$$\text{Energía entregada al SEN} = 15\,320.10 \text{ kWh}/\text{mes}$$

Donde:

GMEU es el gasto mensual de energía del campus universitario.

El campo fotovoltaico autoabastecerá las necesidades energéticas de la universidad, la energía eléctrica sobrante se entrega al sistema eléctrico nacional lo que trae consigo un ingreso económico por la venta de energía que se obtiene por la ecuación 3.4. El valor medio del kWh entregado al SEN no está definido para empresas cogeneradoras por la tarifa mostrada en el epígrafe 3.7.2 dada por el Ministerio de Energía y Minas, es 0,0877 \\$/kWh.

$$\text{Ingreso por venta de energía} = \text{Energía entregada} \times 0.0877 \text{ \$/kWh} \quad (3.4)$$

$$\text{Ingreso por venta de energía} = 15\,320.10 \text{ kWh}/\text{mes} \times 0.0877 \text{ \$/kWh}$$

$$\text{Ingreso por venta de energía} = 1343.57 \text{ \$/mes} = 16122.84\$/\text{año}$$

Los beneficios totales del campus universitario se obtendrán por la ecuación (3.5).

$$\text{Beneficios totales} = \text{GEEE} + \text{Ingreso por venta de energía} \quad (3.5)$$

$$\text{Beneficios totales} = 94563\$/\text{año} + 16122.84 \text{ \$/año}$$

$$\text{Beneficios totales} = 110685.84 \text{ \$/año}$$

3.7.4-Análisis económico.

El análisis económico se realiza empleando técnicas de flujo descontado como se requiere en estos casos y se determina la factibilidad de la inversión a partir del

Valor Presente Neto (VPN) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

Los indicadores económicos para este análisis son los siguientes:

- Vida útil igual a 10 años,
- Precio de venta de la energía igual a 0.0877 \$/kWh,
- Tasa de interés bancario igual a 8%.
- Impuesto sobre la ganancia 35%, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.
- Inflación de la energía: 3%
- Margen de riesgo: 2 %
- Depreciación se considera lineal.

El flujo de caja para cada año i , después de los impuestos, se calcula como:

$$FC_i = ((\Delta E_i \cdot Ce) - Dep) \cdot \left(1 - \frac{l}{100}\right) + Dep \quad (3.6)$$

Dónde:

l es la tasa de impuestos

Dep es la depreciación, que se considera lineal y se calcula como $Dep = \frac{I_0}{n}$

I_0 es la inversión inicial, en \$

Ce es el precio de la energía, igual al precio de venta promedio (0.0877 \$/kWh)

ΔE_i es la energía ahorrada en el año i -ésimo, en kWh/año.

Para actualizar estos flujos de caja al año en que se realiza la inversión, se le aplica el factor de descuento, de manera que los flujos de caja descontados para cada año i se calculan como:

$$FCD_i = FC_i \cdot FD_i \quad (3.7)$$

Siendo el factor de descuento $FD_i = \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i}$

El valor presente neto es igual a la suma de todos los flujos de caja descontados durante la vida útil de la inversión, lo que algebraicamente se expresa como:

$$VPN = -I_0 + \sum_{i=1}^n FCD_i \quad (3.8)$$

Los cálculos de los flujos de caja anuales se muestran en el Anexo 6. El valor presente neto para este caso es de \$ 160 407,89. El comportamiento en el tiempo

de los flujos de caja descontados se muestra en la Figura 3.3 donde se puede apreciar que el periodo de recuperación de la inversión (PRI) es de 8 años.

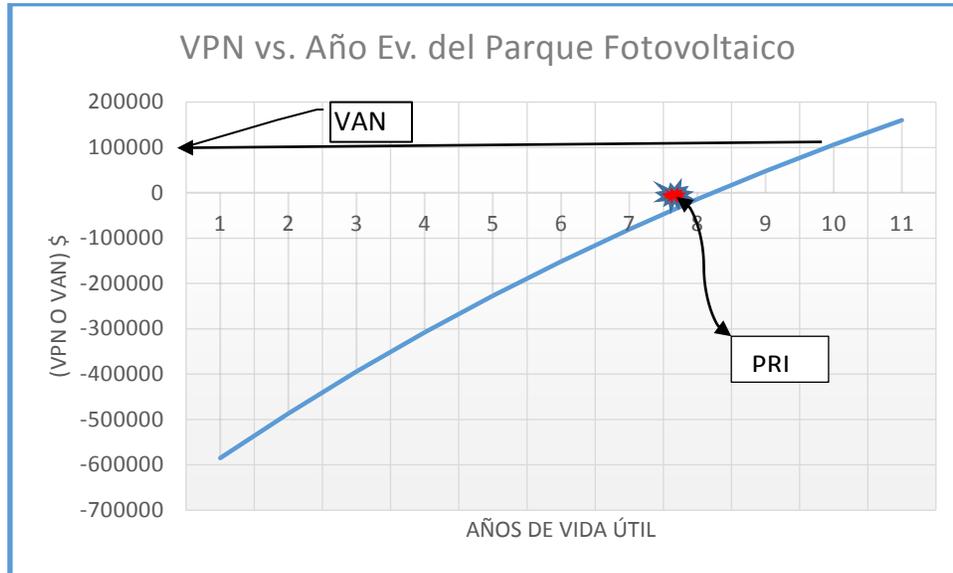


Figura 3.3. Perfil de flujo de caja descontado durante la vida útil de la inversión.

Como se puede ver en la figura 3.3 la inversión se recupera antes de terminar la vida útil considerada, lo que nos demuestra que dicha inversión es factible y atractiva.

3.8 Beneficio ambiental.

El impacto ambiental de las propuestas de instalación del parque fotovoltaico, debido al ahorro de energía que implica, es la reducción potencial de gases de efecto invernadero u otros elementos que causen impacto negativo al medioambiente. El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo debido a que la energía que se ahorra en esta inversión se puede exportar al SEN y entonces se está sustituyendo energía generada con combustible fósil por una energía producida a partir de energía renovable (solar).

Para el caso de Cuba, la mitigación potencial de emisiones de CO₂ para proyectos de ahorro de energía se calcula por el índice de emisiones estimado según la metodología propuesta en (Salazar, Mockey, & Canal, 2010). El índice de emisiones considerado en esta metodología es de 0,794 tCO₂/MWh.

Si se tiene en cuenta que el potencial de ahorro de energía anual, de 859 291,20 kWh, entonces la mitigación potencial de emisiones de CO₂ es de:

$$\text{Reducción de emisiones de CO}_2 = 859.29 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} \cdot 0,794 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} = 682.20 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

3.9 Simulación del sistema foto voltaico diseñado con el software PVSYST y análisis de los resultados.

El programa PVSyst es una herramienta que permite diseñar un SFV, ya sea aislado, conectado a la red o híbrido. Cuenta con una extensa base de datos de módulos, convertidores, acumuladores, entre otros, además de datos meteorológicos y de radiación solar. Permite la introducción de datos y parámetros asociados al diseño del SFV, como el número de módulos y su disposición en el espacio, el sombreado que pueda ocasionar algún objeto, entre otras facilidades que posee para el diseño. (Santiesteban, 2016)

El inicio de este programa, en el que se pueden seleccionar tres opciones en dependencia de lo que se desee realizar.

A continuación, daremos una breve descripción de los pasos a seguir para la realización de este proyecto.

1. **Diseño del Proyecto:** realiza un análisis completo de un proyecto, con cálculos de la producción del sistema, utilizando simulaciones detalladas por horas, meses, años. Además de poder estudiar diferentes variantes de sistemas y comparar entre cada una de ellas. También efectúa estudios de pérdidas totales del sistema y evalúa económicamente el sistema con valores reales de sus componentes y con sus precios.
2. **Herramientas:** contiene una caja de herramientas que cuenta con una base de datos de componentes (módulos FV, convertidores, baterías, bombas, entre otros).

La opción de herramientas es accesible, permitiendo al usuario incluir datos de algún componente que no se encuentre en su base de datos. En lo particular, en este proyecto, se introducen los datos del módulo fotovoltaico seleccionado.

Debido a la ya realización del pre-dimensionado en el capítulo 3 se pasa a seleccionar, directamente, la opción (Diseño del proyecto). En la figura 3.4 se muestra como se ve la pantalla del PVSyst una vez seleccionada esta opción.

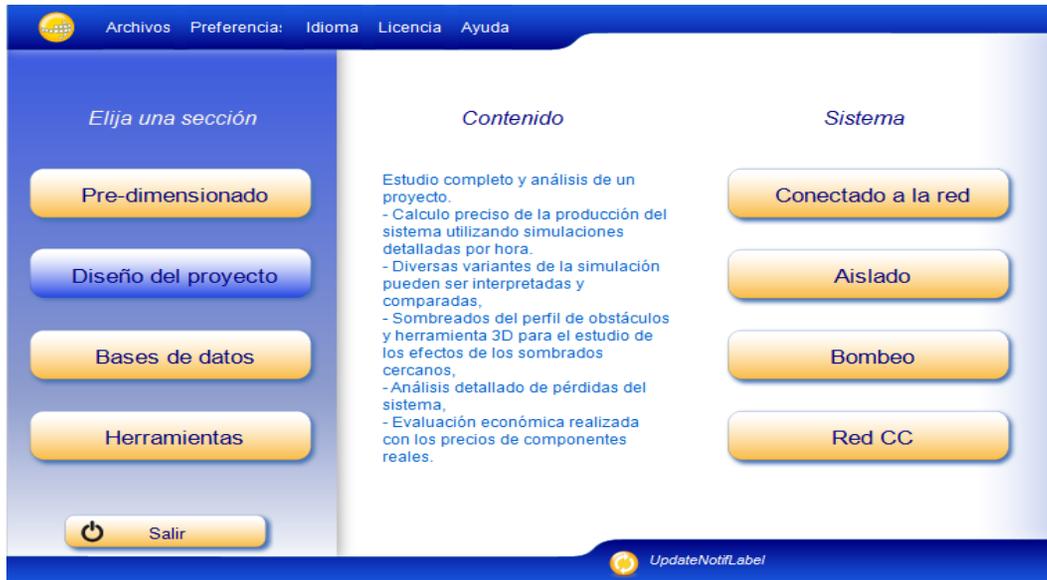


Figura 3.4 Pantalla del PVSyst, una vez seleccionado el diseño del proyecto. Fuente: Confección propia.

Ya seleccionado el Diseño del proyecto, se pasa al tipo de sistema que se va a utilizar, que en este caso es un sistema conectado a la red. Luego de esta selección se pulsa el botón de "OK" para seguir con el diseño. La figura 3.5 muestra como se ve la pantalla del PVSyst en el proceso del diseño de la instalación.

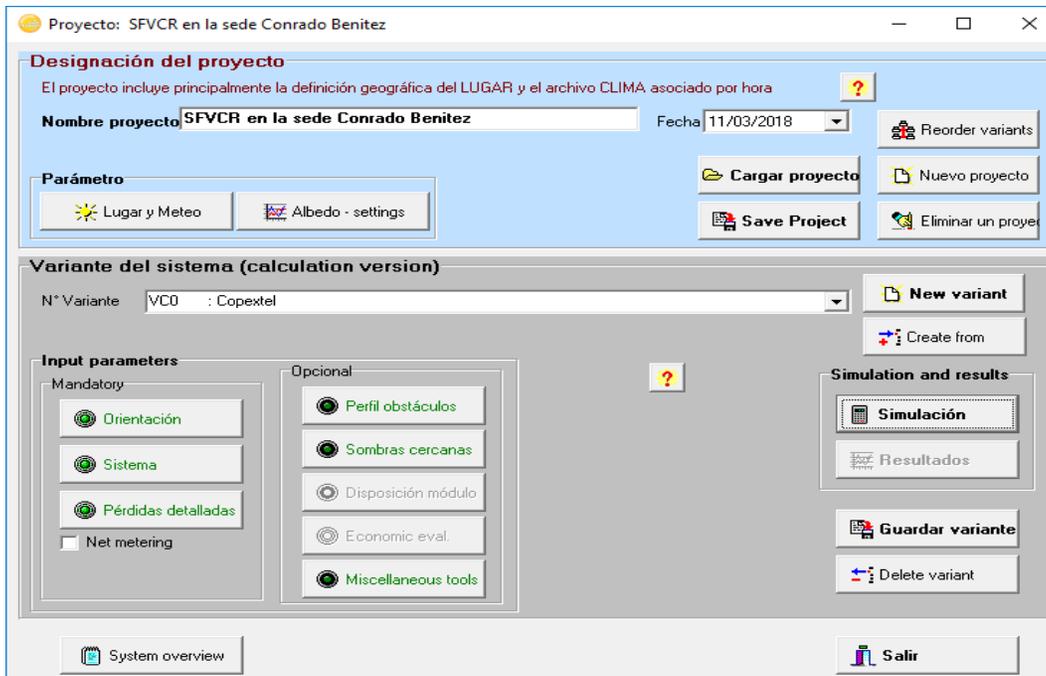


Figura 3.5 Pantalla del PVSyst para ejecutar el diseño de la instalación. Fuente: Elaboración propia.

Una vez abierta esta pantalla, se deben introducir una serie de datos para poder llevar a cabo la simulación del SFVCR. A continuación, se muestran los pasos a seguir hasta llegar a la simulación y una breve descripción de cada uno de ellos:

3. **Orientación:** Según la bibliografía consultada sobre el tema, donde se señala que Cuba está ubicada geográficamente en el hemisferio norte, es recomendable usar la orientación sur, el azimut 0° y un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar. No obstante estas experiencias, también se debe tener en cuenta la orientación de la instalación; en el caso de la Sede Conrado Benítez que se encuentra en la dirección mencionada en el capítulo 2 escogeremos una orientación de los paneles solares correspondiente a 15° de inclinación y un azimut de 0° . La estructura de soporte se escoge del tipo plano inclinado fijo con la misma inclinación de los paneles (ver figura 3.6).

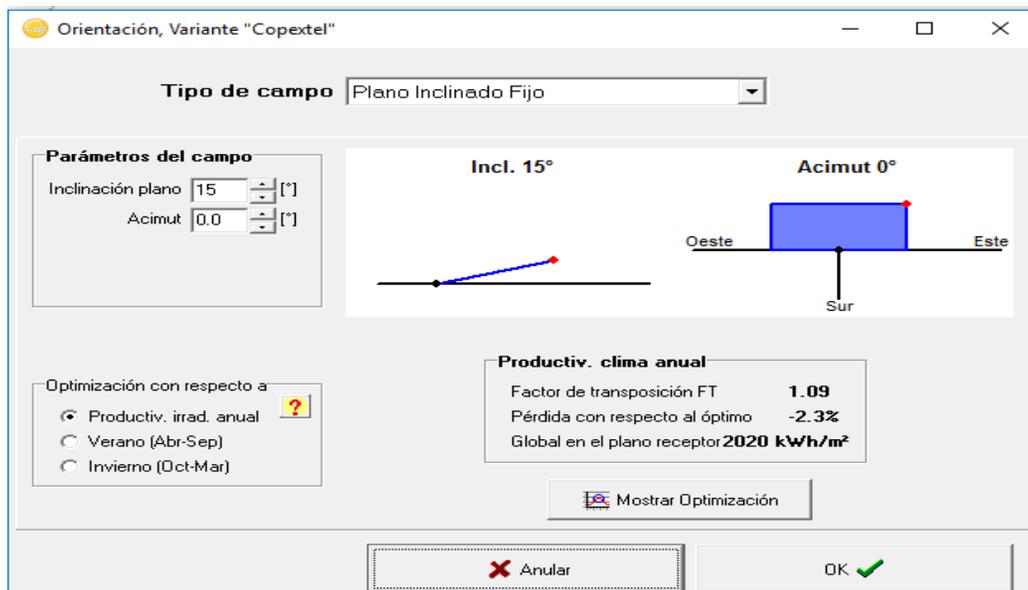


Figura 36 Orientación del panel fotovoltaico. Fuente: Elaboración propia.

4. **Sistema:** Aquí se seleccionan los equipamientos a utilizar en particular, para este proyecto se escogió el módulo fotovoltaico DSM-250 construido en Cuba. El inversor escogido para la instalación es el Sunny Tripower (25000LT de 25kW), adecuado para el arreglo escogido de los paneles en forma de cadenas con una potencia de salida en cada cadena cercana a la potencia nominal del inversor, lo que define el uso de 11 inversor conectado a las 59 cadenas de 23 módulos en serie y 1 357 módulos FV como se muestra en la figura 3.7.

Definición de un sistema red, Variante "Copextel"

Configuración global sistema

1 N° de tipos de sub-campos

Esquema Simplificado

Resumen sistema global

N° de módulos	1357	Potencia nominal FV	339 kWp
Superficie módulos	2221 m ²	Potencia máxima FV	319 kWdc
N° de inversores	11	Potencia nominal CA	275 kWac

Generador FV

Sub-array name and Orientation

Name: Generador FV

Orient: **Plano Inclinado Fijo**

Tilt: 15°
Azimuth: 0°

Ayuda al Dimensionado

No Sizing

Entrar Phom deseada: 338.0 kWp

... o superficie disponible: 2213 m²

Selección del módulo FV

Disponible actualmente: Módulos aprox. necesarios: **1352**

Cuba | 250 Wp 26V | Si-poly | DSM-250 NEW | Manufacturer | Abrir

Tensiones de dimensionado: V: **26.0 V**
Voc (-10°C): **42.4 V**

Use Optimizer

Selección del inversor

Disponible actualmente: 50 Hz
 60 Hz

SMA | 25 kW | 390 - 800 V TL | 50/60 Hz | Sunny Tripower 25000TL-30 | Since 2014 | Abrir

N° de inversores: 11 Tensión Funciona.: **390-800 V** Pglobal inversor: **275 kWac**
 Utilice característica m Tensión máx de entrada: **1000 V** **Inversor con 2 MPPT**

Diseño del generador FV

N° de módulos y cadenas

Mód. en serie: 23 entre 15 y 23
N° de cadenas: 59 entre 48 y 59

Perdida sobrecarg: **0.4 %** Pérd. sobrecarg ?
Relación Phom: **1.23**

N° módulos: 1357 Superficie: 2221 m²

Cond. de funcionamiento

Vmpp (60°C): 598 V
Vmpp (20°C): 728 V
Voc (-10°C): 976 V

Irradiancia plano: **1000 W/m²**
Impp (STC): 481 A
Isc (STC): 513 A

Isc (en STC): 504 A

La potencia máxima del Generador es más grande que la potencia máxima especificada del inversor. (Info, not significant)

Máx. en bases STC

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C: **303 kW**

Potencia nom gener. (STC) 339 kWp

System summary

Anular

OK

Figura 3.7 Selección de los parámetros del sistema. Fuente: elaboración propia.

Nota: Como la potencia máxima del generador es más grande que la potencia máxima especificada del inversor se le agregará un inversor más.

5. **Simulación del sistema:** Luego de efectuar el diseño se procede a realizar la simulación, y en los reportes de salida de la misma se pueden apreciar en la figura 3.8 los resultados más importantes de dicha simulación, como son:

- Producción del sistema en kWh al año.
- La productividad específica del sistema.
- El factor de rendimiento.
- Las pérdidas del generador.
- Pérdidas del sistema.

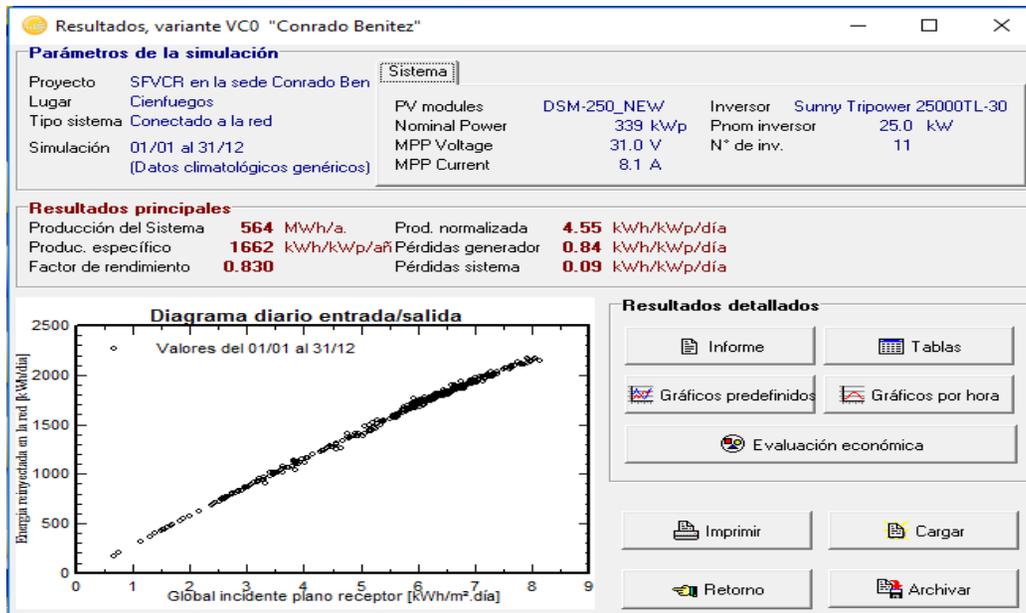


Figura 3.8. Parámetros y resultados principales de la simulación. Fuente: elaboración propia.

Ya en la figura 3.9 se muestra la primera página del informe, que se genera a partir de los resultados de la simulación.

PVSYST V6.43		18/06/18		Página 1/4	
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación					
Proyecto : SFVCR en la sede Conrado Benitez					
Lugar geográfico		Cienfuegos		País Cuba	
Ubicación		Latitud 22.2°N		Longitud 80.4°W	
Hora definido como		Hora Legal		Altitud 1 m	
Datos climatológicos:		Cienfuegos		MeteoNorm 7.1 - Síntesis	
Variante de simulación : Conrado Benitez					
		Fecha de simulación		18/06/18 12h08	
Parámetros de la simulación					
Orientación Plano Receptor		Inclinación 15°		Acimut 0°	
Modelos empleados		Transposición Perez		Difuso Perez, Meteonorm	
Perfil obstáculos		Sin perfil de obstáculos			
Sombras cercanas		Sin sombreado			
Características generador FV					
Módulo FV		Si-poly		Modelo DSM-250_NEV	
Fabricante		Cuba			
Número de módulos FV		En serie 23 módulos		En paralelo 59 cadenas	
N° total de módulos FV		N° módulos 1357		Pnom unitaria 250 W/p	
Potencia global generador		Nominal (STC) 339 kW/p		En cond. funciona. 303 kW/p (50°C)	
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp 631 V		I mpp 481 A	
Superficie total		2221 m²			
Inversor					
Original Pylontopbase		Modelo Sunny Tripower 25000TL-30			
Fabricante		SMA			
Características		Tensión Funciona. 390-800 V		Pnom unitaria 25.0 kW/ac	
Banco de inversores		N° de inversores 11 unidades		Potencia total 275 kW/ac	
Factores de pérdida Generador FV					
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const) 29.0 W/m²K		Lv (viento) 0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida Óhmica en el Cableado		Res. global generador 29 mOhm		Fracción de Pérdidas 1.9 % en STC	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de Pérdidas 1.5 %	
Pérdidas Mismatch Módulos				Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE		IAM = 1 - bo (1/cos I - 1)		Parám. bo 0.05	
Necesidades de los usuarios : Carga Ilimitada (red)					

Figura 3.9 Primera página del informe de la simulación. Fuente: elaboración propia.

La segunda página del informe (figura 3.11) muestra los resultados principales de la simulación. Entre estos resultados se encuentran los valores meteorológicos (según la base de datos que se utilizó) para el diseño, y cuyos valores están expuestos en las primeras cuatro columnas de la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Balance y resultados principales. Fuente: elaboración propia.

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobIno kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	159.7	21.10	193.9	189.2	56.13	55.00	13.03	12.77
Febrero	157.1	22.30	182.7	177.7	52.57	51.55	12.96	12.70
Marzo	176.7	23.80	190.1	184.9	54.25	53.20	12.85	12.60
Abril	181.5	25.20	183.4	178.1	51.80	50.78	12.72	12.47
Mayo	180.0	25.90	154.4	149.2	44.21	43.34	12.89	12.64
Junio	136.5	26.30	129.3	124.5	37.14	36.39	12.93	12.67
Julio	159.3	26.30	151.9	146.5	43.61	42.74	12.93	12.67
Agosto	153.5	26.30	152.3	147.5	43.69	42.82	12.92	12.66
Septiembre	133.8	26.00	138.6	134.3	39.64	38.86	12.88	12.63
Octubre	145.7	25.00	163.2	158.6	47.01	46.09	12.97	12.71
Noviembre	144.9	23.50	173.7	168.7	50.21	49.24	13.02	12.77
Diciembre	151.6	21.70	188.4	183.4	54.76	53.68	13.08	12.83
Año	1880.3	24.46	2001.9	1942.6	575.02	563.69	12.93	12.68

La columna siguiente ofrece una información referida a la energía efectiva a la salida del arreglo, mientras que la siguiente nos brinda la energía que inyecta a la red o, en este caso, la energía que consume el MES. De aquí puede extraerse que la producción del sistema diseñado es de 563,7 MWh/año, con una productividad específica de 1 662 kWh/kWp/año y un factor de rendimiento de 83% como se muestra en la figura 3.11.

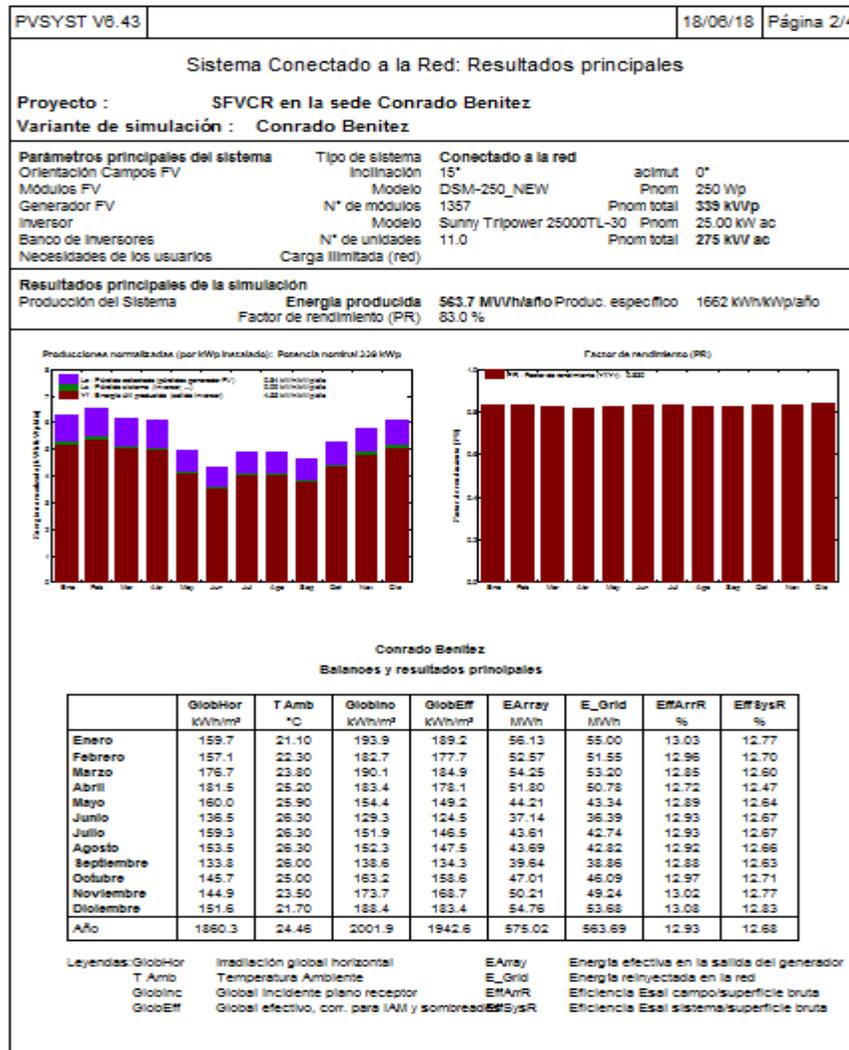


Figura 3.11 Tercera página del informe. Resultados principales. Fuente: elaboración propia. La última página del informe (figura 3.12) muestra un desglose de las pérdidas existentes en el sistema fotovoltaico.

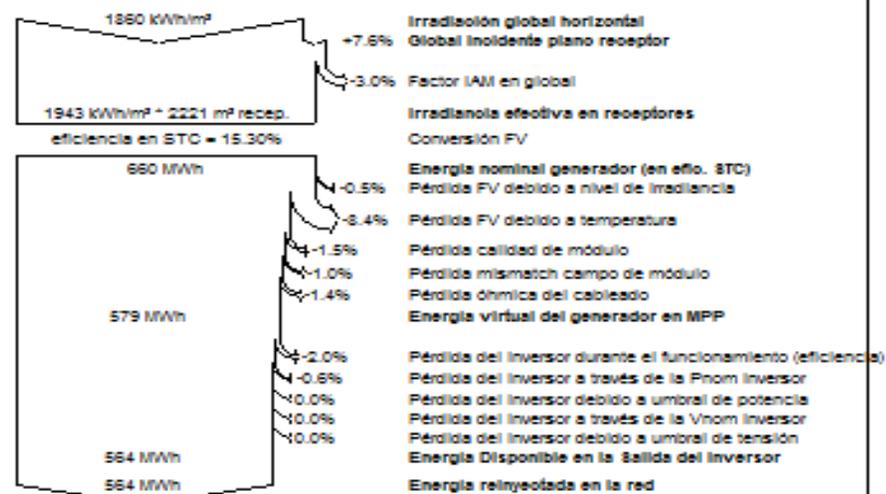
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : SFVCR en la sede Conrado Benitez

Variante de simulación : Conrado Benitez

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red		
Orientación Campos FV	Inclinación	15°	acimut	0°
Módulos FV	Modelo	DSM-250_NEW	Pnom	250 Wp
Generador FV	N° de módulos	1357	Pnom total	339 kWp
Inversor	Modelo	Sunny Tripower 25000TL-30	Pnom	25.00 kW ac
Banco de Inversores	N° de unidades	11.0	Pnom total	275 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga Ilimitada (red)			

Diagrama de pérdida durante todo el año



Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Figura 3.12 Diagrama de pérdidas durante todo el año. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

1. A partir de la metodología propuesta para el cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCCR) fue posible estimar una cantidad de 1501 PFV para la sede Conrado Benítez con una generación estimada de 56 287,5 kWh/mes. Fue seleccionado además el inversor tipo Sunny Tripower (25000LT de 25kW).
2. El campo fotovoltaico autoabastecerá las necesidades energéticas de la universidad y la energía eléctrica sobrante se entregará al sistema eléctrico nacional lo que trae consigo un ingreso económico por la venta de energía de 16 122 ,84 \$/año, así como beneficios anuales de 110 685,84 \$/año
3. A partir de los cálculos de flujos de caja anuales el valor presente neto para este caso fue de \$ 160 407,89. El comportamiento en el tiempo de los flujos de caja descontados presentaron un periodo de recuperación de la inversión (PRI) de 8 años.
4. A partir del potencial de ahorro de energía anual de 859 291,20 kWh, la mitigación potencial de emisiones de CO₂ fue de 682,2 t

Recomendaciones

Bibliografía

- Abarzúa, H. T (2011). Curso de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red. Corporación de Desarrollo Tecnológico. Cámara Chilena De La Construcción
- Abarzúa, H. T. (2011). Curso de sistema fotovoltaico conectado a la red. México.
- Alemania, Instituto de Investigación Fraunhofer. *Energía Solar fotovoltaica*. Tomado de <http://www.evwind.es>
- Alemania. Instituto de investigación Fraunhofer (2014). *Energías renovables: Energía solar fotovoltaica*. Munich. Instituto de investigación Fraunhofer. Disponible en: <http://www.evwind.es/2014/06/22/germany-set-new-solar-powerrecords/46024>
- Borao, E. P. (2010). *Huerto solar fotovoltaico con conexión a la red*.
- Chávez, I. (2015). Desarrollo en Cuba de la energía solar fotovoltaica.
- China to Double (2015) Solar PV Target to 40 GW Clean Technica.
- China. Wyoming Institute of Technology. (2015). Solar Panels Drain the Suns Energy. Cheyenne, Wyoming: China; WIT. Tomado en: <http://nationalreport.net/solar-panels-drain-suns-energy-expertssay/#sthash.jbLly8DI.dpuf> [cited January 2016]
- Christine, L. (2018). Cuba Sustainable Energy Forum. La Habana.
- CNCI. (2016). Curso de sistema fotovoltaico. Cienfuegos.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. Cámara Chilena de la Construcción. (2011). *Curso de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a la Red*. Chile.
- Costa Rica. FOCER. Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica/Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. - San José, Costa Rica. 2002. 42; ISBN: 9968-9708-9-1
- Earth Policy Institute of European Photovoltaic Industry Association (EPIA).
- España. Consejería de Industria, comercio y nuevas tecnologías. Dirección General de Industria y Energía. (s/f). Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones fotovoltaicas. Canarias: CICNT. 4-58

España: Energías renovables. Disponible en:
<http://www.energiasrenovables.com/articulo/japon-contara-en-2016-con-sistemas-gigantes-20150710> [citado enero 2016]

Fermosell, R. (2013). *El éxito de la energía solar fotovoltaica en Cuba*. Obtenido de <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=8935>

Gutiérrez, A., & Franco, J. (2011). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Herard, H. (2012). Sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar el centro INTELLIGENT ENERGY EUROPE. (2017). Definición del marco profesional de instaladores . Catálogo de fallos comunes y prácticas inadecuadas.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2015). Los costos de la energía solar fotovoltaica. I Taller internacional de Energía Solar Fotovoltaica, Habana.

Lauzarique, M. d. (2015). Estudio de Pre factibilidad para la intalación de 10 MW solar fotovoltaico. VIII Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética.

León, Á., & León, S. (2017). Selección del inversor. (P. Peres, & J. Antonio, Entrevistadores)

León, Á., & Yoel, I. S. (2017). Sistema de Paneles FV. (P. Pérez, & J. A. Cienfuegos, Entrevistadores)

Loeza, F. A. (2012). *Metodología de un sistema* . México D.F.

Loasea, F., Carmona, C. R., & Tenorio, J. C. (2012). Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red para uso de luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacateco México . México.

Monteagudo, J. (2017). Fuentes renovables de energía. Mestría en eficiencia energetica, (pág. 120).

Mosquera, P. (2015). Sistemas gigantes de almacenamiento de energía en Japón.

Peláes, R. (2017). Con potencial para crecer más. Periódico Granma.

Photovoltaics. Design and Installation Manual. Solar Energy International and New Society Publishers, March 2013. Canada. ISBN: 978-0-86571-520-2.

- Prometeus Institute. (2010). *Producción anual solar fotovoltaica, 1985 - 2009*. Prometeus Institute. Tomado de http://www.earthpolicy.org/index.php?/data_center/xls/indicator12_2010_2.xls
- Rivas, R. (2015). Producción de paneles solares con mayor fiabilidad. Granma.
- Salazar, I., Mockey, I. O., & Canal, M. (2010). Estimado de la reducción de la emisión de CO2 por accione de ahorro de electricidad en las condiciones de Cuba. *Ingeniería Energética* , XXXI(3), 1-5.
- San Juan Cigales, J. (2014). Estudio y simulación de un sistema fotovoltaico de conexión a la red. Trabajo de fin de grado en ingeniería en tecnologías industriales. Escuela técnica superior ing. Industriales Valencia
- Santiesteban, L. (2016). Propuesta de sistema fotovoltaico para alimentar el nodo de la red Universidad del Ministerio de Educación Superior.
- Sardinero, I. (2011). Instalación solar fotovoltaica conectada a red.
- Sarmientos Sera A. (2013). Energía solar fotovoltaica. Temas seleccionados.
- Schallenberg, R.J. (2008). Energías renovables y eficiencia energética.-1 ed. - Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.; ISBN: 97884-69093-86-3
- Sera, A. S. (2003). *La hora solar pico*.
- SIMEC Chile SRL. (2015). Proyecto de un sistema fotovoltaico.
- Stolik, D. (2014). Costo de FV, hoy, mañana y alternativas de financiamiento. Habana.
- Tecnología Solar. Historia y Desarrollo de Mercado y aplicaciones. (2017). Cienfuegos.
- Tutorial para el trabajo con el PVSyst (PVSYST, 5.55). [Película].
- UNESCO. (2015). CURSO DE ENTRENAMIENTO EN ENERGÍA SOLAR . Puerto Ayora.
- Villar, P. D. (2003). *Confiabilidad de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos: Aplicación a la electrificación rural* .

Anexos

Anexo 1. Consumo del edificio (E-F)

Pisos	Local	Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas diarias	Días de uso	kW/h Diario	kW/h Mensuales	Carga Conectada
1 ^{ro}	Oficina de mantenimiento	L 40W	2	0.052	6	23	0.312	7.176	0.104
		computadora	3	0.13	6	23	2.34	8.97	0.39
		impresora	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13
	Almacén	L 40W	5	0.052	3	23	0.78	17.94	0.26
		computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
Pasillo	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208	
2 ^{do}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 ^{ro} (E)	7 cuarto	L 40W	14	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
		L 20W	7	0.025	6	23	1.05	24.15	0.175
		computadora	11	0.13	6	15	8.58	128.70	1.43
		ventilador	14	0.06	7	23	5.88	135.24	0.84
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
4 ^{to} (E)	7 cuarto	L 40W	14	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
		L 20W	7	0.025	6	23	1.05	24.15	0.175
		computadora	11	0.13	6	15	8.58	128.70	1.43
		ventilador	14	0.06	7	23	5.88	135.24	0.84
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728

Anexo 2. Consumo del Edificio(C-D)

Pisos	Local	Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas diarias	Días de uso	kW/h Diario	kW/h Mensuales	Carga Conectada
1 ^{ro}	Oficinas de Beca	L 40W	6	0.052	4	23	1.248	28.704	0.312
		computadora	3	0.13	6	23	2.34	8.97	0.39
		impresora	2	0.13	1	10	0.26	2.6	0.26
		ventilador	3	0.06	6	23	1.08	24.84	0.18
	Pasillo	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
		nevera de congelación	1	0.8	24	30	19.20	576	0.80
2 ^{do}									
(C)	2 cuartos	L 40W	11	0.052	6	23	3.432	78.936	0.572
		computadora	4	0.13	6	23	3.12	71.76	0.52
		ventilador	6	0.06	5	23	1.8	41.4	0.36
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
(D)	3 cuartos	L 40W	12	0.052	7	23	4.378	100.474	0.624
		computadora	8	0.13	6	23	6.24	143.52	1.04
		ventilador	8	0.06	5	23	2.4	55.2	0.48
	Pasillo	refrigerador L 40W	3						
		L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
3 ^{ro}									
(C)	2 cuartos	L 40W	11	0.052	7	23	4	92.092	0.572
		computadora	4	0.13	6	23	3.12	71.76	0.52
		ventilador	6	0.06	5	23	1.8	41.4	0.36
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
(D)	3 cuartos	L 40W	12	0.052	4	23	2.496	57.408	0.624
		computadora	8	0.13	6	23	6.24	143.52	1.04
		ventilador	8	0.06	5	23	2.4	55.2	0.48
		refrigerador	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
4 ^{to}									
(C)	2 cuartos	L 40W	11	0.052	7	23	4	92.092	0.572
		computadora	4	0.13	6	23	3.12	71.76	0.52
		ventilador	6	0.06	5	23	1.8	41.4	0.36
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
(D)	3 cuartos	L 40W	12	0.052	4	23	2.496	57.408	0.624
		computadora	8	0.13	6	23	6.24	143.52	1.04
		ventilador	8	0.06	5	23	2.4	55.2	0.48
		refrigerador	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728
	Pasillo	L 40W	3	0.052	6	23	4.368	100.464	0.728

Anexo 3. Comedor

Pisos	Local	Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas diarias	Días de uso	kW/h Diario	kW/h Mensuales	Carga Conectada
1 ^{ro}	Comedor	L 40W	11	0.052	7	23	4	92.092	0.572
		computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
		ventilador	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
		L 20W	3	0.025	7	23	0.525	12.075	0.075
		Máquina de moler carne	1	0,56	4	15	2,24	33,60	0,56
		rebanadora	1	0,187	4	15	0,75	11,22	0,19
		lasqueadora	1	0,83	3	15	2,49	37,35	0,83
		refrigerador nevera de congelación	1	0,8	24	30	19,20	576,00	0,80
		Cámara frigorífica	2	26,82	15	30	804,6	24138	53,64

Anexo4 (bloque G-H-I).

Piso	Local	Equipo	Cantidad	Potencia (kW)	Horas diarias	Días de uso	kW/h Diario	kW/h Mensuales	Carga Conectada	
1 ^{er} Piso	decanato	computadora	5	0.13	6	23	3.9	89.7	0.65	
		L 40W	12	0.052	4	23	2.496	57.408	0.624	
		Ventilador	3	0.06	5	22	0.9	19.8	0.18	
		Impresora	2	0.13	1	10	0.26	2.6	0.26	
	pasillo y baños	L 40W	40	0.052	10	30	20.8	624	2.08	
		CRAI	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	Facultad de ciencias pedagógicas	L 40W	12	0.052	7	23	4.368	100.464	0.624	
		TV	2	0.85	3	5	5.1	25.5	1.7	
		Impresora	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13	
		L 40W	12	0.052	7	23	4.378	100.474	0.624	
			L 20W	2	0.025	7	23	0.35	8.05	0.050
			computadora	6	0.13	6	23	4.68	107.64	0.78
			TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
			Ventilador	6	0.06	5	22	1.8	39.6	0.36
Impresora			4	0.13	1	10	0.52	5.2	0.52	
Aire acondicionado			1	0.476	4	22	1.904	41.888	0.476	
Teatro		L 40W	14	0.052	4	14	2.912	40.768	0.728	
		L 20W	2	0.025	4	14	0.2	2.8	0.050	

Departamento de educación especial	L 40W	12	0.052	7	23	4.368	100.464	0.624
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadora	3	0.13	6	23	2.34	53.82	0.39
	Ventilador	1	0.06	5	22	0.3	6.6	0.06
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Departamento E. Prescolar	L 40W	13	0.052	7	23	4.732	108.836	0.676
	L 20	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Departamento Pedaag.- Psicológico	L 40W	8	0.052	7	23	29.12	669.76	4.16
	computadora	3	0.13	6	23	2.34	53.82	0.39
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
Departamento de Educación Primaria	L 40W	6	0.052	7	23	2.184	50.232	0.312
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025

Anexo4 (bloque G-H-I). (Continuación)

Departamento de Educación Primaria	computadora	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Departamento de Educación Laboral	L 40W	6	0.052	7	23	2.184	50.232	0.312
	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
	Aire acondicionado	2	0.476	4	22	3.808	83.776	0.952
Departamento de Arte	L 40W	3	0.052	7	23	1.052	25.116	0.156
	L 20W	1	0.025	7	23	0.175	4.025	0.025
Departamento de Lengua Extranjera	computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
	TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Ventiladores	2	0.06	5	23	0.6	13.8	0.12
	L 40W	3	0.052	7	23	1.092	25.116	0.156
	L 20W	6	0.025	7	23	1.05	24.15	0.15
	computadoras	4	0.13	6	23	3.12	71.76	0.52

		TV	2	0.85	3	5	5.1	25.5	1.70
		Ventiladores	4	0.06	5	23	1.2	27.6	0.24
		Impresora	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13
2 ^{do} Piso	Aula 2.1	L 20W	2	0.025	7	23	0.35	8.05	0.05
	Aula 2.2	L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052
		L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
	Aula 2.3	L 40W	2	0.052	6	23	0.312	7.176	0.104
	Aula 2.4	L 40W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
	Aula 2.5	L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052
		L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
	Taller de Educación Laboral	L 40W	6	0.052	4	20	1.248	24.96	0.312
		L 20W	1	0.025	4	20	0.10	2	0.025
		computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	pasillo y baños	Ventiladores	2	0.06	6	23	0.72	16.56	0.12
		L 40W	40	0.052	8	23	16.64	382.72	2.08
	Aula 2.7	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 2.8	L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052
L 20W		1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025	
Aula 2.9	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208	
Aula 2.10	L 20W	3	0.025	6	23	0.45	10.35	0.075	
Aula 2.11	L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052	

Anexo4 (bloque G-H-I). (Continuación)

	Departamento de Inglés	L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
		Aires	1	0.476	4	22	1.904	41.888	0.476
		SWITCH	2	1.429	4	22	11.432	251.504	2.858
	Aula 2.14	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 2.15	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 2.16	L 40W	7	0.052	6	23	2.184	50.232	0.364
		Aires	1	0.476	4	22	1.904	41.888	0.476
	Aula 2.17	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Laboratorio de Física	L 20W	3	0.025	5	23	0.375	8.625	0.075
		L 40W	1	0.052	5	23	0.26	5.98	0.052
	Aula 2.19	L 20W	4	0.025	6	23	0.60	13.80	0.10
	Laboratorio de	L 40W	3	0.052	5	23	0.78	17.94	0.156

	Química								
	Cafetería	TV	1	0.85	6	23	5.10	117.30	0.85
		DVD	1	0.10	6	23	0.60	13.80	0.10
		Fricer	1						
		Hornilla	2						
3 ^{er} Piso	Aula 3.1	L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
	Aula 3.2	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Aula 3.3	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
	pasillo y baños	L 40W	40	0.052	8	23	16.64	382.72	2.08
	Aula 3.4	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
	Aula 3.5	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
	Aula 3.6	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Departamento de Idiomas	L 40W	5	0.052	6	23	1.56	35.88	0.26
		Aire	1	0.476	4	22	1.904	41.888	0.476
		computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
		Monitores	18	0.85	1	23	0.85	19.55	0.85
	Dirección C. de Idioma	L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		computadoras	11	0.13	6	15	8.58	128.70	1.43
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
Ventiladores		3	0.06	6	23	1.08	24.84	0.18	

Anexo4 (bloque G-H-I). (Continuación)

		Impresoras	1	0.13	1	10	0.13	1.3	0.13
	Laboratorio de Inglés	L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		computadoras	3	0.13	6	23	2.34	8.97	0.39
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
		Aires	2	0.476	4	22	3.808	83.776	0.952
		Monitores	18	0.85	1	23	0.85	19.55	0.85
	Aula Especializada de Preparación para la Defensa	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
	Aula 3.11	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
	Aula 3.12	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104

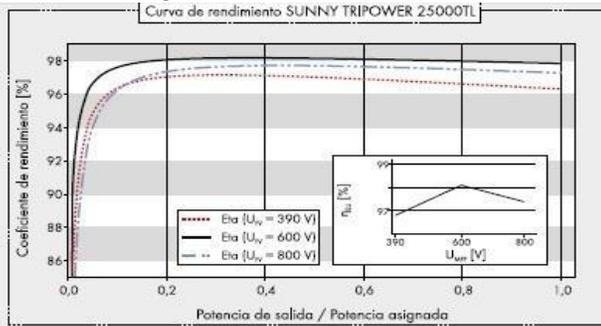
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Aula 3.13	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 3.14	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 3.15	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Departamento de PPD	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
		computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Aula 3.17	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 3.18	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Dirección Centro De Idioma	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
		computadoras	1	0.13	6	23	0.78	17.94	0.13
4 ^{to} Piso	Aula 4.1	L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
		L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Aula 4.2	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	pasillo y baños	L 40W	40	0.052	8	23	16.64	382.72	2.08
	Aula 4.3	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
	Aula 4.4	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85
	Aula 4.5	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
	Aula 4.6	L 20W	2	0.025	6	23	0.30	6.90	0.050
		L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.7	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	3	0.052	6	23	0.936	21.528	0.156
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85

Anexo4 (bloque G-H-I). (Continuación)

	Aula 4.8	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052
	Aula 4.9	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.10	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.11	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.12	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.13	L 20W	1	0.025	6	23	0.15	3.45	0.025
		L 40W	1	0.052	6	23	0.312	7.176	0.052
	Aula 4.14	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
	Aula 4.15	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
		TV	1	0.85	3	5	2.55	12.75	0.85

Aula 4.16	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
Aula 4.17	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104
Aula 4.18	L 40W	4	0.052	6	23	1.248	28.70	0.208
Aula 4.20	L 40W	2	0.052	6	23	0.624	14.352	0.104

Anexo 5 Especificaciones técnicas del inversor Sunny Tripower 25000LT.



Accesorios



Interfaz RS485
DM485CB-10



Power Control Module
PWCMOD-10



Descargador de sobretensión de CC tipo II, entradas A y B
DCSPD KIT3-10



Interfaz de Speedwire/Webconnect
SWDM-10



Relé multifunción
MFR01-10

¹ No es válido para todas las ediciones nacionales de la norma EN 50438.

● De serie ○ Opcional – No disponible
Datos en condiciones nominales
Datos a fecha: agosto de 2014

Datos técnicos	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Entrada (CC)		
Potencia máxima de CC (con $\cos \phi = 1$)	20 440 W	25 550 W
Tensión de entrada máx.	1 000 V	1 000 V
Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada	320 V - 800 V/600 V	390 V - 800 V/600 V
Tensión de entrada mín./de inicio	150 V/188 V	150 V/188 V
Corriente máx. de entrada, entradas: A/B	33 A/33 A	33 A/33 A
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP	2/A;3; B:3	2/A;3; B:3
Salida (CA)		
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	20 000 W	25 000 W
Potencia máx. aparente de CA	20 000 VA	25 000 VA
Tensión nominal de CA	3/N/PE; 220/380 V 3/N/PE; 230/400 V 3/N/PE; 240/415 V	3/N/PE; 220/380 V 3/N/PE; 230/400 V 3/N/PE; 240/415 V
Rango de tensión nominal de CA	160 V - 280 V	160 V - 280 V
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz, 60 Hz/-6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz/-6 Hz ... +5 Hz
Frecuencia asignada de red/tensión asignada de red	50 Hz/230 V	50 Hz/230 V
Corriente máx. de salida	29 A	36,2 A
Factor de potencia a potencia asignada	1	1
Factor de desfase ajustable	0 inductivo ... 0 capacitivo	0 inductivo ... 0 capacitivo
Fases de inyección/conexión	3/3	3/3
Rendimiento		
Rendimiento máx./europeo Rendimiento	98,4%/98,0%	98,3%/98,1%
Dispositivos de protección		
Punto de desconexión en el lado de entrada	●	●
Monitorización de toma a tierra/de red	● / ●	● / ●
Descargador de sobretensión de CC (tipo II) integrable	○	○
Protección contra polarización inversa de CC/resistencia al cortocircuito de CA/con separación galvánica	● / ● / -	● / ● / -
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●	●
Clase de protección (según IEC 62103)/categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)	I/III	I/III
Datos generales		
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	665/690/265 mm (26,2/27,2/10,4 in)	665/690/265 mm (26,2/27,2/10,4 in)
Peso	61 kg (134,48 lb)	61 kg (134,48 lb)
Rango de temperatura de servicio	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Emisión sonora, típica	51 dB(A)	51 dB(A)
Autoconsumo nocturno	1 W	1 W
Topología/principio de refrigeración	Sin transformador/OptiCool	Sin transformador/OptiCool
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100%	100%
Equipamiento		
Conexión de CC/CA	SUNCLIX/Borne de conexión por resorte	SUNCLIX/Borne de conexión por resorte
Pantalla	-	-
Interfaz: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●	○ / ●
Relé multifunción/Power Control Module	○ / ○	○ / ○
Garantía: 5/10/15/20/25 años	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificados y autorizaciones previstos (otros a petición)	AS 4777, BDEW 2008, C10/11, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438 ¹ , G59/3, IEC61727, IEC 62109-1/2, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, RD 1699, RD 661/2007, SI4777, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014	
Modelo comercial	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30

Anexo 6 flujos de caja anuales

PROYECTO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO												
N°	Datos iniciales	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ingresos (I), \$		110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84	110685,84
2	Gastos (G), \$		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Costo inversión (K ₀)	-585390										
4	Tasa de descuento (r) , %		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	Margen de riego, %		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Resultados												
9	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Depreciación (Dep), \$		58539	58539	58539	58539	58539	58539	58539	58539	58539	58539
11	Flujo de caja (Fc), \$		105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156	105471,156
12	Tasa de descuento real (R)		0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
13	Tasa de descuento real con margen (D)		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0,94	0,88	0,82	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,55	0,52
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		98705,5158	92373,8699	86448,3791	80902,9897	75713,3195	70856,5501	66311,3271	62057,6657	58076,8633	54351,4167
16	Flujo descontado acumulado (Fda), VPN,	-585390	-486684,484	-394310,614	-307862,235	-226959,245	-151245,926	-80389,3759	-14078,0487	47979,617	106056,48	160407,897