



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

“Carlos Rafael Rodríguez”

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



Trabajo de Diploma.

Título:

**Anteproyecto de sistema solar fotovoltaica en el punto de renta unión,
Sucursal Transtur, Cienfuegos.**

Autor:

Yeni Figueredo Saroza.

Tutor:

MSc. Ing. Francisco Manuel Pérez Díaz. (Profesor Adjunto) UCF

MSc. Ing. Jorge Padrón Hernández (Profesor Adjunto) UCF

“Año 64 de la Revolución”

Cienfuegos 2022.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



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

Firma del autor.

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

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.

Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Frase:

“La Energía solar es limpia e inagotable en nuestras manos esta aprovecharla”.

Nikola Tesla.

Dedicatoria.

A toda mi familia por apoyarme y ayudarme incondicionalmente en mi formación como Ingeniera Mecánica.

A mis amistades que de una forma u otra han contribuido a mi formación y han estado presentes todo momento.

A mi hijo por ser la fuente de inspiración.

Agradecimiento.

A mis tutores, sin los cuales este proyecto no se hubiese realizado, gracias por sus consejos, su paciencia, entrega y por brindarme la oportunidad de ser su estudiante.

A los directivos y trabajadores del punto de renta unión, Sucursal Cienfuegos, por brindarme su apoyo en la realización de este proyecto.

Muchas gracias a todos que de una forma u otra han contribuido en mi formación durante estos 6 años.

Resumen.

Existe la tendencia a nivel internacional de fomentar la utilización de las fuentes renovables de energía y nuestro país no es ajeno a ello, se prevé que en el 2030 Cuba incremente su generación eléctrica en 700 MW proveniente de fuentes renovables. El presente trabajo tiene como objetivo el impacto de la energía solar fotovoltaica en el punto de renta unión, Sucursal Transtur, Cienfuegos, para el área donde se deben cargar las motos eléctricas. El desarrollo del trabajo demostró que es posible instalar 42 paneles solares, en un área techada de 97,5 m², lográndose obtener una generación de 66,09 kWh/día, que satisface el 100 % de la demanda eléctrica de la nave donde se deben cargar las motos eléctricas, así como el 100 % de la demanda del punto de renta unión, sucursal Transtur Cienfuegos, y reduce el pago de energía eléctrica en 74 224 CUP/año. El análisis económico del anteproyecto arrojó que la inversión se recupera en 11 años con una tasa interna de retorno de un 9 % y el valor presente neto de 292 356 CUP en un período de vida de 25 años, lo que hace atractiva la inversión. El análisis y aporte al medio ambiente refleja que se deja de consumir 5,6 t/año de combustible y de emitir 17,85 t/año de CO₂ al medio ambiente.

Summary.

There is a trend at the international level to promote the use of renewable energy and our country is no stranger to this, it foresees that in 2023 Cuba will increase its electricity generation by 700 MW from renewable sources. This work demonstrated that it is possible to install 42 solar panels, in a covered area of 97,5 m², achieving a generation of the union rental point, Transtur branch, Cienfuegos and reduces the payment of the preliminary project showed in 11 years with an internal rate of return of 9% and a net present value of CUP 292,356 over a 25 años life period, which makes it an attractive investment. The analysis and contribution to the environment reflects that 5.6 t/years of fuel is no longer consumed and 17,85 t/year of CO₂ is emitted into the environment.

Índice

Resumen.....	6
Introducción.	10
Capítulo 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.....	1
1.1.2 Un sistema de energía solar son más que paneles solares.	2
1.1.3 Integración en cubiertas.....	4
1.2 Características técnicas de las instalaciones fotovoltaicas disponibles en el mercado nacional e internacional. Costos de adquisición, montaje y explotación de las instalaciones más usadas en Cuba y el mundo.	6
1.2.1 Los mayores fabricantes de placas solares a nivel mundial.	6
1.2.3 Modelos más empleados en el país y costos.	7
1.3 Sintetizar las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país. Principales ventajas y desventajas.	8
1.3.1 Ventajas de las instalaciones fotovoltaicas:.....	13
1.3.2 Desventajas de las instalaciones fotovoltaicas:.....	13
1.4 Experiencias en el uso de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Energético Nacional (SEN).....	14
1.5 Conclusiones Parciales.	15
Capítulo 2. Caracterización constructiva y energética. Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico en el punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos	16
2.1 Características constructivas y energéticas de la nave.	17
2.2 Definición y comprobación de la radiación solar recibida por el panel según la ubicación en las áreas seleccionadas.....	18
2.3 Cálculo del sistema solar fotovoltaico	21
2.3.1 Determinación de la energía generada:	22
2.3.2 La potencia instalada:.....	24
2.3.3 Selección del inversor.	24
2.3.4 Cálculo del número de inversores:	25
2.4 Conclusiones Parciales.	25
Capítulo 3. Zonas de alta concentración de tensiones en las estructuras ante la acción de las cargas distribuida de los paneles fotovoltaicos. Evaluación de soluciones.....	26



3.1 Evaluación del comportamiento de las estructuras de la nave ante la solicitud de cargas distribuidas por los paneles fotovoltaicos.....	26
3.2 Evaluación económica.....	30
3.3 Evaluación ambiental del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.	33
3.4 Conclusiones parciales	34
Conclusiones generales.....	35
Recomendaciones.	36
Bibliografía.....	37
Anexos.....	39

Introducción.

En los últimos tiempos el consumo de energía en el mundo se ha incrementado y se prevé que lo siga haciendo, debido al aumento de la población y a la dependencia de las personas a la tecnología. Por lo que se ha tomado conciencia sobre la necesidad de disminuir el consumo energético, mejorar su eficiencia y buscar nuevas alternativas; es por ello que se hace necesario incrementar el uso de las fuentes renovables de energía, las cuales proporcionan beneficios para los sectores públicos, privados y no contaminan al medio ambiente.

La proyección del país es diversificar su matriz energética, que actualmente es un 96 % de energía consumida, que proviene de los combustibles fósiles y solo el 4 % se obtiene de las fuentes renovables. La propuesta gubernamental es que en el año 2030 las fuentes renovables de energía representen el 24 % en el aporte energético del país. En Cuba se trabaja en diversos programas, los cuales se encuentran en diferentes niveles de preparación, inversión, gestión de financiamiento, negociación y ejecución, pero el más avanzado es el programa solar fotovoltaico. Hasta la fecha se ha logrado un crecimiento de la potencia instalada y se cuenta con 156,6 MWp en 67 parques solares fotovoltaicos, lo que representa el 22,4 % de los 700 MWp que se proyecta a tener en el 2030 con esta tecnología, que además se traduce en ahorro de combustible, fundamentalmente diésel.

El uso de los sistemas solares fotovoltaicos está dentro de los aportes previstos en el plan de desarrollo de las fuentes renovables y su uso en las cubiertas de las edificaciones se ha extendido en los últimos años tanto internacionalmente como a nivel nacional. Ello está dado porque en las edificaciones con techos de alta resistencia, la cubierta de la edificación constituye un área no utilizable y económicamente igual al área a nivel de tierra, que puede tener diferentes usos, desde jardines hasta base de edificaciones colaterales en caso de ampliación requerida por la institución.

La Sucursal Transtur Cienfuegos, se pronuncia a favor del uso de energías renovables e impulsa el proyecto de montaje de un pequeño parque fotovoltaico en una de las cubiertas del punto de renta unión, tecnología que brinda la posibilidad de una generación limpia y económicamente sostenible, acorde con las exigencias de la actualidad.

Problema científico:

El consumo energético eléctrico de una de las naves del punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos, se satisface de la energía proveniente del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) generado a partir de combustibles fósiles con elevado costo e impacto ambiental.

Hipótesis:

La posibilidad de solucionar el problema es una instalación solar fotovoltaica en una de las naves del punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos, lo que debe reducir los consumos y costos energéticos, contribuir a la reducción del impacto ambiental y garantizar la capacidad productiva en momentos de crisis energéticas, para ello es necesario elaborar el estudio técnico, económico y ambiental de un sistema solar fotovoltaico de apoyo al suministro de energía eléctrica en la nave antes mencionada.

Objetivo general.

Desarrollar el anteproyecto de factibilidad técnica-económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red en una de las naves del punto de renta unión, Sucursal Transtur, Cienfuegos.

Objetivos específicos:

- Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas fotovoltaicos para el suministro de energía eléctrica en edificaciones.
- Desarrollar el cálculo técnico de selección de la instalación fotovoltaica a colocar sobre la estructura de la instalación.



- Realizar el levantamiento estructural de la edificación (nave) del punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos, y, determinar el estado actual ante las solicitudes de carga propias de la edificación.
- Establecer las zonas de altas concentraciones de carga cuando sobre la estructura actúa la carga distribuida de los paneles fotovoltaicos.
- Realizar un análisis económico-ambiental de las soluciones propuestas.

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

Estado actual y tendencias del uso de los sistemas solares fotovoltaicos.

La energía fotovoltaica es una forma de producir energía eléctrica, directamente del sol, sin tener la preocupación del suministro eléctrico o el medio ambiente. La principal aplicación de esta tecnología es en sistemas de energía fotovoltaica para edificios, donde los elementos fotovoltaicos se convierten en una parte integral del edificio, sirviendo como una piel exterior, esto se está volviendo una tendencia cada vez mayor en todo el mundo. Tanto los especialistas fotovoltaicos, como los arquitectos innovadores de Europa, Japón y los EE.UU., están explorando nuevas maneras creativas de incorporar energía solar en su trabajo. Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios “BIPV” (por sus siglas en inglés Building Integrated Photovoltaics) consisten en la integración de módulos fotovoltaicos en edificios (cubiertas o fachadas), cumpliendo una doble función; como material envolvente de construcción sobre el edificio convencional y como un sistema generador de energía, los sistemas BIPV pueden generar un ahorro en materiales y costos de la energía eléctrica, reduciendo el uso de combustibles fósiles y emisiones de gases que atacan la capa de ozono, y a su vez añadiendo diseños arquitectónicos innovadores en el edificio.

Tradicionalmente se distinguen entre los sistemas fotovoltaicos: conectados a la red (SFCR) instalados sobre suelo y en edificio, dentro de los instalados sobre suelo están los sistemas estáticos, con una inclinación y orientación fija, y los sistemas de seguimiento, que varían la posición del generador a lo largo del día y año para maximizar la radiación efectiva incidente. En los instalados sobre edificación es frecuente diferenciar los sistemas según el grado de integración del sistema con el edificio.

Instalaciones aisladas de la red.

Se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución:

- El sistema centralizado.

Consiste en un único gran sistema que cubre las necesidades de un conjunto de usuarios. La ventaja es disminuir los costos del sistema manteniendo la calidad del suministro.

- El sistema descentralizado.

Consiste en la instalación de un sistema individual completo en cada vivienda para cubrir sus necesidades; al contrario del anterior, este tiene un mayor costo.

Instalaciones conectadas a la red.

En este caso, la red pública actúa como un disipador de energía infinita y acepta toda la energía disponible del sistema fotovoltaico, tanto de centrales fotovoltaicas como de los instalados en viviendas y edificios. Este sistema requiere de condiciones de funcionamiento diferentes a la solución aislada, no necesita de subsistema de almacenamiento, y el sistema de regulación cumple la función de indicar al inversor de energía la disponibilidad en cada momento en los paneles (el punto de máxima potencia).

Instalaciones Híbridas.

Son aquellas que combinan los módulos fotovoltaicos con una o más fuentes energéticas auxiliares, como pueden ser los aerogeneradores, o los motores Diésel. Este sistema es más fiable que los anteriores, ya que, al disminuir la captación y generación de electricidad del sistema fotovoltaico, el suministro no se ve comprometido al ser complementado por otro tipo de generación ya sea renovable o no renovable.

1.1.2 Un sistema de energía solar son más que paneles solares.

Dentro los componentes de un sistema de energía solar está el módulo solar o conocido también como panel solar. El panel solar es el componente principal de todos los tipos de sistemas fotovoltaicos. Además de este existen diferentes partes que se suman al sistema que varían de acuerdo a la aplicación. En la siguiente ilustración se pueden ver de forma más didáctica los componentes.

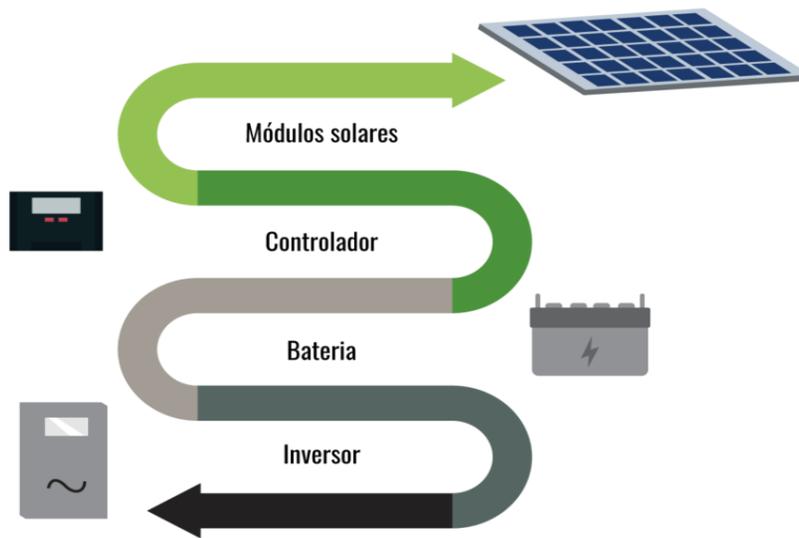


Figura 1.1: Partes componentes de un Panel Fotovoltaico. Fuente: (Sun Supply, 2021)

Módulo solar (panel solar) fotovoltaico.

Componente encargado de transformar la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Están hechos principalmente por semiconductores (silicio) monocristalinos o policristalinos. Los de mejor precio y mayor disponibilidad en el mercado internacional es el policristalino. Estos son caracterizados por su potencia nominal o potencia máxima que puede generar este panel en condiciones ideales (radiación de 1 kW/m^2 y temperatura de 25°C).

Regulador de carga.

Este componente del sistema administra de forma eficiente la energía hacia las baterías prolongando su vida útil y protegiendo el sistema de sobrecarga y sobredescargas. Este componente es comercializado basado en su capacidad máxima de corriente a controlar (amperios).

Batería (acumulador).

La energía eléctrica de los paneles, una vez regulada va a las baterías. Estas almacenan la electricidad para poder usarla en otro momento, su comercialización es basada en la capacidad de almacenar energía y es medida en Amperios hora (Ah).

Inversor.

Este componente convierte la corriente continua y bajo voltaje (12 v o 24 v típicamente) proveniente de las baterías o controlador en corriente alterna, de forma simplificada se puede decir que transforma la corriente continua en una toma corriente convencional. Por lo general es comercializado basado en su potencia en Watts, la cual es calculada como el voltaje por corriente ($P=VI$). Corresponde a la demanda máxima de potencia de los equipos que se van a conectar. Se puede prescindir de este componente cuando los equipos a conectar puedan ser alimentados por corriente directa. Como es el caso de algunos tipos de iluminación, motores y equipos diseñados para trabajar con energía solar.

Soportes.

Este es un componente pasivo de los sistemas de energía solar. Encargado de mantener en su lugar los módulos fotovoltaicos y debe estar proyectado para soportar la intemperie de forma constante, expansiones térmicas durante mínimo 25 años.

Cada uno de los anteriores componentes de un sistema de energía solar usa diferentes tecnologías. Los cuales hacen a los sistemas más o menos robustos y brindan otro tipo de propiedades. El uso de cada uno de estos componentes y la tecnología a usar depende mucho de la necesidad que se busca cubrir y las limitantes técnicas. Es decir, si se quiere un sistema portátil se deberá reducir peso en las baterías lo más conveniente puede ser usar baterías iones de litio. En casos de humedad muy alta se deben de usar controladores encapsulados con alto grado de protección al agua.

1.1.3 Integración en cubiertas.

Existen diferentes tipos de instalaciones de sistemas solares dependiendo del montaje del panel. Principalmente podemos distinguir tres tipos:

- Instalación Solar de Techo Plano. Este tipo de instalación es el más simple de las instalaciones de paneles solares y se suele utilizar para el techo de edificios, residencias o entidades comerciales. Las instalaciones de sistemas fotovoltaicos

solares de techo plano proporcionan flexibilidad con respecto a la orientación de los paneles en un ángulo específico. Estos paneles están unidos dependiendo de la técnica que se utilice para unirlos.



Fig. 1.2: Estructuras de paneles solares en techo plano.

- Instalación solar de techo inclinado. Este tipo de instalación de paneles fotovoltaicos se realizan en techos angulares. Esta técnica es más compleja ya que los paneles tienen que mantenerse intacto en la superficie inclinada del techo.



Fig. 1.3: Estructuras de fijación de paneles solares en cubiertas y tejados.

- Instalación Solar en Suelo. Es una solución cuando te encuentras con edificios o viviendas, los cuales no se les puede realizar una instalación de los paneles solares debido a su ubicación o áreas de exposición al sol. En estos casos, existen áreas de tierra en el que se puede realizar el montaje en el suelo de los paneles solares. Y esta energía es distribuida a tu hogar, ya que observamos la ubicación geográfica, la disponibilidad de espacio, intensidad del viento, etc, factores a tener en cuenta a la hora de realizar esta instalación.



Figura 1.4: Instalación solar en el suelo.

1.2 Características técnicas de las instalaciones fotovoltaicas disponibles en el mercado nacional e internacional. Costos de adquisición, montaje y explotación de las instalaciones más usadas en Cuba y el mundo.

1.2.1 Los mayores fabricantes de placas solares a nivel mundial.

Cuando hablamos de fabricantes de placas solares, hacer un ranking de los mismos no es tarea fácil, pues los elementos a considerar son varios: la fiabilidad y la eficacia de los productos, las garantías ofrecidas, la cobertura que ofrecen y el trayecto de los fabricantes.

Los mayores fabricantes de paneles solares a nivel mundial son:

1-Jinko Solar	5-Canadian Solar	9-Chint (Astronergy)
2-LONGi Solar	6- Hanwha Q Cells	10-Suntech
3-Trina Solar	7- Risen Energy	
4-JA Solar	8- First Solar	

1.2.2 Costo de los módulos fotovoltaicos en el mercado internacional.

A continuación, se reflejan los costos de algunos módulos fotovoltaicos según el sitio web, de venta de los mismos, Auto Solar, que reside en Perú: (Solutions., 2019).

Paneles Solares 275 W Policristalinos Bauer: 130,00 euros.

Paneles Solares 280 W Policristalinos Bauer: 131,38 euros.

Paneles Solares 270 W Talesun Policristalinos: 129,12 euros.

Paneles Solares 280 W Amerisolar Policristalinos: 138,00 euros.

Paneles Solares 380 W Amerisolar Policristalinos: 178,50 euros

Panel Solar Jinko Tiger Pro 530W Mono Half Cell - JKM530M-72HL4-V 259,00 €

Los Jinko Solar

- Son muy utilizados en instalaciones fotovoltaicas de mediano y gran tamaño. Estos cuentan con excelentes características técnicas:

Tabla 1.1: Características Mecánicas del panel JINKO TIGER PRO 530Wp. Fuente: (Suministros del Sol, 2022)

Mechanical Characteristics	
Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (2×72)
Dimensions	2230×1134×35mm (87.80×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.71 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

1.2.3 Modelos más empleados en el país y costos.

- Los Deshmukh Solar Energy del tipo DSM 250-380 con las siguientes características:

Tabla 1.2 Características de los paneles DSM. Fuente: (DSM Características)

No. de Modelo	DSM-250	DSM-260	DSM-270	DSM-280	DSM-380
Potencia Máxima (Pmax) en (Wp)	250	260	270	280	380
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax) en (A)	30,5	30,5	30,9	31	39,33
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax) en (A)	8,2	8,53	8,75	9,07	9,67

Tensión en Circuito Abierto (Voc) en (V)	37,6	38,3	39,2	39,5	48,5
Corriente de cortocircuito (Isc) en (A)	8,66	9,01	9,44	9,71	10,17
Eficiencia en %	15,42	16,03	16,65	17,3	18,8
Dimensiones (A/A/F) mm	1 650x990x35				1 968x992x40
Peso	20 Kg				22 Kg
Tipo de Células	Policristalinos				Monocristalino PERC
Tamaño de las Células	156x156 mm				156x156 mm

1.3 Sintetizar las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país. Principales ventajas y desventajas.

Cuba es una isla bendecida por el sol, cada metro cuadrado de su territorio recibe diariamente 5 kW/h de energía solar, una cantidad equivalente a medio kilo de petróleo. Y este valor es prácticamente igual todo el año y en todo el país. Gracias a ello, cientos de escuelas y hospitales rurales de la isla disfrutan de electricidad.

Los 11 niños de la escuela Juan Abrantes de Limones, uno de los lugares más recónditos de la geografía guantanamera, casi no daban crédito a lo que veían. El 9 de mayo del pasado año estaban, por primera vez en su vida, ante las imágenes de un televisor. Junto al resto de los vecinos de la zona, asistían a una auténtica celebración: unas cuantas horas antes había culminado la electrificación de la escuela mediante paneles solares fotovoltaicos.

Un sistema que garantiza a la escuela la iluminación, cinco horas de tele y vídeo, y permite a los alumnos seguir estudios a distancia. Meses más tarde, la instalación se ampliaba para garantizar el funcionamiento de un ordenador, que también fue suministrado a la escuela. De igual "privilegio" disfrutaban ahora 2 200 maestros de enseñanza primaria y 35 000 niños que habitan en los parajes más perdidos del mundo rural cubano. La energía solar FV, en algunas ocasiones combinada con la eólica, ha resuelto en estos lugares un problema que parecía no tener solución: la falta de electricidad. "Más del 95% del territorio cubano está electrificado, pero en las zonas rurales y montañosas, por sus difíciles características, este porcentaje sólo llegaba al 80 %. La solución ha venido de la mano de las energías renovables, muy especialmente de la solar fotovoltaica", afirma Fernando González,

coordinador de la RedSolar de Cubasolar, sociedad creada en 1994 para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y el respeto ambiental y galardonada con el premio Global 500 del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el año 2001. Casi 2 000 escuelas electrificadas.

El programa de electrificación fotovoltaica tiene como objetivo llevar la energía a cerca de 2 000 escuelas primarias rurales, de las cuales ya han sido electrificadas 1 975. Comenzó a ejecutarse en el mes de septiembre del año 2000 por parte de la empresa especializada Ecosol Solar, perteneciente a la corporación Copextel S.A y bajo cuya dirección trabajan técnicos de Cubasolar.

Para la electrificación de las primeras tres escuelas, todas en el municipio de Maisí (Provincia de Guantánamo), se emplearon sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos. Estas instalaciones, capaces de aprovechar simultáneamente la energía del sol y el viento para cargar baterías, constan de 1 pequeño aerogenerador de 400 W de potencia nominal y un panel fotovoltaico de 165 Wp, gobernados por un sistema de regulación que optimiza la captación de energía por cada fuente, controla el estado de carga de las baterías y suministra electricidad a los equipos consumidores. El sistema híbrido eólico-fotovoltaico asegura un suministro estable e ininterrumpido cualesquiera sean las condiciones climáticas o meteorológicas, así que resulta muy ventajoso para el suministro eléctrico a pequeñas demandas aisladas de las redes de distribución.

La mejor atención sanitaria.

Los centros de salud rurales son objeto de otro programa semejante. Para lograr un servicio de atención semejante al de las ciudades se requiere que el personal de la salud que presta sus servicios en zonas rurales remotas y montañosas del país cuente con un servicio eléctrico disponible durante las 24 horas del día, sin embargo, extender la red eléctrica nacional a estas zonas es una solución incosteable. La utilización de plantas diésel requiere de mantenimiento y del suministro estable de aceite y combustible, además de los impactos ecológicos negativos vinculados con estas tecnologías. También en este caso la solución ha llegado de mano de las energías renovables. El programa, que cuenta con el apoyo de diversas ong (entre ellas, varias españolas) está impulsado también por Cubasolar, junto al Ministerio de Salud Pública y los gobiernos municipales, y se desarrolla desde 1994. Hasta el momento, ha permitido que más de 350

consultorios médicos enclavados fuera de las áreas urbanizadas puedan prestar sus servicios sanitarios. Cada uno de estos pequeños consultorios están dotados de una instalación solar FV de 400 a 425 W de potencia, suficiente para atender todas sus necesidades: lámparas para la iluminación, equipo de radio comunicación, refrigerador para la conservación de vacunas y medicamentos, un televisor y un equipo de fototerapia. Además, permite el funcionamiento de los equipos electromédicos existentes en los consultorios, como son el negatoscopio, la lámpara de cuello y el electrocardiógrafo. Y a cada centro de referencia que agrupa varios consultorios se le dota de un equipo láser. Esa experiencia adquirida en los consultorios ha permitido extender el programa a los 5 hospitales de montaña que no contaban con servicio eléctrico. En su caso, la instalación fotovoltaica depende de las características del hospital, aunque, por lo general, tienen una potencia instalada de 2 KW.

A medida que se vaya desarrollando la industria fotovoltaica cubana y disminuyendo los costos de fabricación de los paneles, podrá ampliarse el campo de utilización de estos sistemas en Cuba, alrededor del 5% de hogares no tienen electricidad, al estar ubicados lejos de la red de distribución, y ellos podrían ser los siguientes beneficiados. De hecho, ya hay algunos pueblos, como el de La Magdalena (Guamá) y Santa María del Loreto (La Maya), que cuentan con electricidad de origen solar. En Cuba también se acaba de inaugurar la primera línea propia de fabricación de células y paneles solares. Está situada en de Pinar del Río y tiene una capacidad de producción de 1 MW al año. Pero la apuesta también alcanza a la solar térmica. Hace 13 años, en la isla había ya más de 350 sistemas de calentamiento solar instalados en hospitales, círculos infantiles y hogares de ancianos. Problemas políticos y económicos bien conocidos detuvieron temporalmente su implantación, retomada a mediados de los 90 y en la que participan las empresas EcoSol y EICISOFT. La primera de ellas comercializa los colectores compactos de alta eficiencia que ha desarrollado la segunda firma con tecnología propia, y que están especialmente diseñados para las condiciones climáticas de la isla. La utilización de cámaras de clima controlado para la producción de vegetales y semillas de alta calidad, la refrigeración y la climatización, son también procesos de altos consumos de energía que pueden ser resueltos con energía solar. En ello están también volcados estos organismos que, con el apoyo de Cubasolar, han centrado la investigación en la producción

de patatas, tomates y otros productos que ahora Cuba se ve obligada a importar (Cubadebate, 2022).

Cuba: costo nivelado de energía solar está muy debajo de 10 centavos de USD/kWh.

Cuba tiene una gran distribución de red eléctrica, de los más de 10 000 000 de habitantes unos 500 000 no tenían acceso a la red eléctrica, hace más de 20 años comenzaron a instalarse sistemas solares fotovoltaicos aislados remotos en lugares lejos de la red eléctrica, en varios años se llegaron a instalar alrededor de 9 000 sistemas solares fotovoltaicos de poca potencia, en casas, consultorios médicos, escuelas, centros de cultura, que en total no llegaban a los 3 MWp, este plan continúa para cubrir lo que falta.

Prácticamente todas las instalaciones han sido en parques sin ninguna utilización a cargo de la propia UNE, Unión eléctrica de Cuba, que es una empresa estatal . Ahora se están elaborando los marcos legales que deben estar listos pronto para incluir paulatinamente a otros sectores. El incentivo fundamental hasta ahora ha sido el costo evitado en combustible fósil, en Cuba el kWh fósil es bastante caro, unos 21 centavos de USD antes de la caída de los precios del barril de petróleo, mientras que el costo promediado de por vida, que muchos le llaman "nivelado", ha estado por debajo de 10 centavos de USD/kWh y actualmente menos aún. Hay que tener en cuenta que el precio del kWh por factura en el sector residencial y en la mayor parte de los otros sectores también están altamente subvencionados por el Estado cubano.

Como otras experiencias se tiene:

Grupo de la Electrónica en La Habana (4 kW). Se empleó el silicio amorfo.

Reloj Club (Empresa Desarrolladora de Inversiones en Fuentes Renovables de Energía) (4 kW). También de silicio amorfo.

Maqueta de La Habana, (Municipio Playa, La Habana).

CUBARON, en la localidad de Santo Domingo, Villa Clara.

Hoy, el 95 % de la matriz energética nacional se compone de combustibles fósiles. Es por ello que se hace urgente impulsar proyectos para el cambio de la matriz energética en Cuba hacia el empleo de fuentes de energías renovables (FRE).

Nuestro país cuenta desde 2014 una política para el desarrollo prospectivo de las fuentes renovables y su uso eficiente, a fin de garantizar una transición segura, amigable con el medio ambiente, y la racionalidad en el empleo de los recursos.

Según comentó a Cubadebate, Rosell Guerra Campaña, director de Energías Renovables del Ministerio de Energía y Minas, durante el 2021 las fuentes renovables de energía aportaron 994 000 MWh de energía limpia, con lo cual se dejó consumir 273 000 toneladas de combustible fósil y se dejó de emitir a la atmósfera 800 000 toneladas de CO₂.

La principal fuente utilizada en el país es la solar fotovoltaica, tecnología que cuenta con una potencia instalada de 238 MW en parques solares, que son capaces de producir la energía eléctrica consumida por unas 200 000 familias cubanas.

Igualmente se ha logrado la instalación hasta la fecha de 1 188 bombeos solares, sobre todo para el agua que se emplea en la ganadería, aunque también para la población y riego, de un plan que ronda los 7 000; de 2 644 plantas de biogás, y de 34 000 calentadores solares de agua, una cifra todavía pequeña para nuestros planes.

El propio directivo señaló durante la segunda Feria Internacional de Energías Renovables la producción de 12 MW de energía solar fotovoltaica en las cubiertas de industrias y edificios estatales, un dato que se planea elevar hasta los 900 MW; la presencia de más de 160 000 viviendas que reciben electricidad en la nación a partir de la instalación módulos solares fotovoltaicos; y de unos 600 vehículos eléctricos que circulan en el país, que se abastecen de paneles solares y entre los que destacan las flotas de empresas como ETECSA y Aguas de La Habana.

Aun conscientes de estar muy distantes de lo que se quiere y se puede lograr en este camino, las proyecciones futuras es lograr el cambio total de la matriz energética del país logrando la participación del 100 % de las fuentes renovables de energía, para lo cual se estima serán necesarios instalar más de 10 000 MW en solar fotovoltaica, unos 1 800 MW en energía eólica y aprovechar la biomasa cañera y forestal para la instalación de 612 MW.

La aspiración mayor es alcanzar el 100 por ciento y ello demanda grandes volúmenes de inversiones, pero también la articulación de todos los actores económicos de la mayor de las Antillas para finalmente alcanzar la independencia de los combustibles fósiles.

Recientemente el presidente cubano Miguel Díaz-Canel, aseguró que “la manera más efectiva para un país pobre, sin recursos y sin combustibles fósiles, es utilizar las fuentes de energía renovable para el desarrollo de la nación, sobre todo la solar fotovoltaica”.

El tema energético es una prioridad debido a la tensa situación actual marcada por el deterioro de las plantas de generación térmica, reflexionó el mandatario al visitar la II Feria Internacional de Energías Renovables celebrada en La Habana.

1.3.1 Ventajas de las instalaciones fotovoltaicas:

La instalación de paneles fotovoltaicos para obtener energía eléctrica es una opción por la que cada vez apuestan más personas, ya que según avanza la tecnología ofrece mayores garantías a precios más asequibles, acortándose así el tiempo de amortización de las instalaciones.

Estas son algunas de sus ventajas:

- Es una fuente de energía limpia, renovable, infinita y silenciosa.
- No consume combustibles ni genera residuos.
- Requiere poco mantenimiento.
- Los paneles tienen una larga vida y resisten las condiciones climáticas adversas.
- Los paneles pueden colocarse sobre tejados, cubiertas industriales, sin ocupar espacio útil y sin impacto arquitectónico.
- Es una tecnología cada vez más asequible económicamente.

1.3.2 Desventajas de las instalaciones fotovoltaicas:

Entre las desventajas podemos destacar:

- Los parques fotovoltaicos suelen ocupar grandes espacios.
- Solo se produce energía mientras hay luz solar y depende del grado de insolación.
- El costo de instalación es elevado, sobre todo si se compran los paneles en el extranjero.
- El período de amortización de la inversión es largo, de aproximadamente 10 años.
- El rendimiento es bastante bajo, debido a la eficiencia de las células solares, es inferior a 20 %.

1.4 Experiencias en el uso de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Energético Nacional (SEN).

Un sistema fotovoltaico conectado a la red consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. El concepto de inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kWp de potencia instalada hasta centrales de varios MWp.

Inicialmente, los sistemas fotovoltaicos de conexión a la red se desarrollaron para centrales fotovoltaicas de gran tamaño. Tras comprobarse en la práctica que estas centrales trabajaban correctamente, en la medida en que avanzó el desarrollo de la electrónica se comenzaron a diseñar sistemas de menor envergadura, más pequeños y manejables, con la finalidad de ser instalados a modo de pequeñas centrales totalmente adaptables a viviendas y empresas, dotadas de una acometida convencional de suministro eléctrico desde la red.

Entre los principales resultados logrados hasta el momento en el país, la totalidad de los parques construidos se encuentran generando, mantienen una disponibilidad técnica superior al 98 % y su producción de energía se corresponde con la planificada en los estudios de factibilidad.

Asimismo, el país ha invertido más de 250 000 000 de dólares en este programa, hasta el momento con una generación anual superior a los 340 000 MWh, equivalente a 88 400 toneladas de combustible ahorrado. Esta cantidad significa no emitir 285 600 toneladas de CO₂ a la atmósfera. (Martínez, 2005)

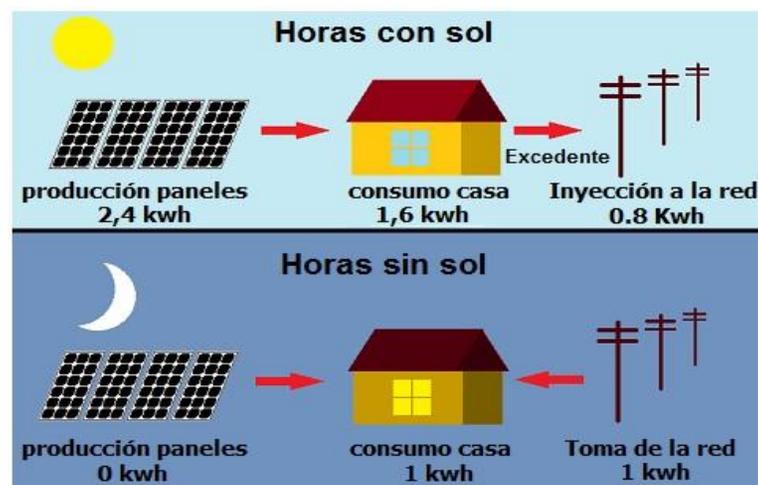


Figura 1.5: Ejemplo de una instalación conectada a la red. Fuente (Sitiosolar., 2013).

1.5 Conclusiones Parciales.

1. La instalación de los sistemas solares fotovoltaicos se ha realizado preferiblemente sobre el suelo, con un alto costo en la preparación del terreno y las estructuras de soporte de los paneles. Ello atenta contra el costo competitivo de esta tecnología como sistema de generación eléctrica.
2. En los últimos años ha existido una fuerte tendencia a la instalación de los sistemas solares fotovoltaicos sobre la cubierta de edificaciones, dado que reduce los gastos de preparación del terreno, no requiere complejas estructuras de soporte y deja en libertad grandes áreas de terreno disponible para otros usos.
3. En el mundo se está incrementando la utilización de los sistemas solares fotovoltaicos desarrollándose así también en Cuba donde se espera que para el 2030 el país alcance una generación de 700 MW.

Capítulo 2. Caracterización constructiva y energética. Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico en el punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos

El presente capítulo tiene como objetivo realizar una caracterización constructiva y energética en el punto de renta unión, de la Sucursal Transtur Cienfuegos, hacer un análisis de las cargas instaladas en la nave objeto de estudio y finalmente una caracterización constructiva de las edificaciones, así como una evaluación del estado técnico de la cubierta y su posible resistencia a las cargas que originan los sistemas solares colocados en la misma.

Punto de renta unión, sucursal Transtur Cienfuegos.

La Sucursal Transtur Cienfuegos, creada el 8 de Diciembre del 2004 , ubicada en calle 105 final, reparto Buena Vista, provincia de Cienfuegos, tiene como objetivo prestar servicios de transportación de pasajeros, así como de renta de medios de transportación con y sin chofer, brindar servicios de operación de servicentros automotrices, así como de auxilio, mantenimiento y reparación de medios de transporte, prestar servicios de servidores de radio móvil y ejecutar las operaciones de comercio exterior relacionadas con la importación de bienes, según nomenclatura aprobada por el Ministerio del Comercio Exterior y la Inversión Extranjera.

El punto de renta unión, de la Sucursal Transtur Cienfuegos, cuenta con un solo metro-contador para las oficinas, el área de parqueo y la nave donde van ubicadas las motos eléctricas, por lo que no podemos conocer el consumo energético por meses o por años de la nave donde van ubicados los paneles fotovoltaicos.

Cada Bicicleta eléctrica necesita 5 horas de carga para obtener su capacidad total de autonomía, si le suministramos carga a todas las bicicletas (20) serían necesarios 30 kWh $(0,25 \text{ kW} * 20 \text{ (cantidad de bicicletas)} = 5 \text{ kW} * 6 \text{ h} = \mathbf{30 \text{ kWh}}$, por lo que a la hora de diseñar un sistema solar fotovoltaico (SSFV) para esta nave hay que hacerlo con el objetivo de suplir toda la carga o parte de ella para garantizar de forma continua la renta de motos eléctricas.

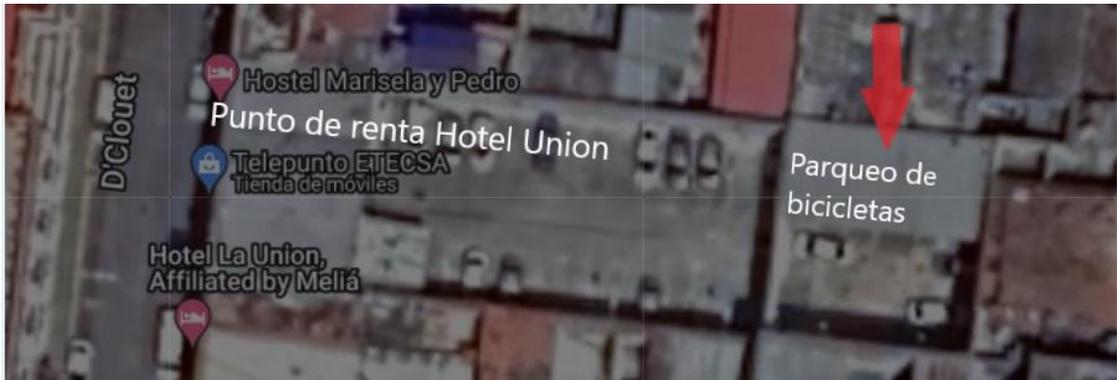


Figura 2.1 Vista satelital del punto de renta unión, de la Sucursal Transtur Cienfuegos.
Fuente: (elaboración propia).

2.1 Características constructivas y energéticas de la nave.

En la tabla 2.1 se muestran las principales dimensiones de la nave del parqueo unión, Base Transtur, Sucursal, Cienfuegos, además se tiene en cuenta la inclinación de los techos y orientación cardinal.

Tabla 2.1: Dimensión de la Nave. Parqueo unión.

Nave #	Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	At (m ²) de las cubiertas del techo	Ángulo Superficie (°)	Orientación Cardinal
1	Parqueo de bicicletas eléctricas	15	6,50	97,5	8	SUR
	Total			97,5		

En la tabla 2.2 se refleja el consumo de la nave del parqueo unión, Sucursal Transtur Cienfuegos según las cargas instaladas en ellas.

Tabla 2.2: Consumo de la nave del punto de renta unión, de la Sucursal Transtur Cienfuegos. Fuente: (elaboración propia).

Instalación: Punto de Renta Hotel La Unión							
No.	Area	Consumidor	Cantidad	Consumo (kWh) Unidad	Horas de trabajo/día	días/mes	Consumo mes (kWh)
1	Renta Hotel La Unión	Split 3 Ton	1	3,35	4	24	321,6
2	Renta Hotel La Unión	Computadora	1	0,03	8	24	5,76
3	Renta Hotel La Unión	Impresora	1	0,02	8	24	3,84
4	Renta Hotel La Unión	Aspiradora mod4AA0300	1	1,5	0,27	24	9,72
5	Renta Hotel La Unión	Proyector Campana 70 W	1	0,07	8	30	16,8
6	Renta Hotel La Unión	Iluminación	5	0,018	8	24	17,28
7	Renta Hotel La Unión	Proyector 100W	2	0,1	8	30	48
8	Renta Hotel La Unión	Ventilador	1	0,05	8	30	12
						Subtotal	435

2.2 Definición y comprobación de la radiación solar recibida por el panel según la ubicación en las áreas seleccionadas.

La valoración de la ubicación es la principal etapa para la realización de un proyecto fotovoltaico, pues ella determina los factores geográficos y climáticos que en una evaluación preliminar determinan el potencial fotovoltaico del lugar. Como una de las potencialidades de las energías renovables es la utilización de paneles solares es necesario conocer que cantidad de energía radiada por el sol llega a la región en la que se va a desarrollar el trabajo.

Por Cuba tener una configuración este-oeste con menos cambio de latitud, la fluctuación de radiación solar total (directa más difusa) es relativamente pequeña, por lo que todo el territorio fluctúa alrededor de 1 825 kWh/m²/año, o sea, unos 5,5 kWh/m²/día. En los meses de invierno es algo menor; aunque también hay un aumento en los meses de lluvia, por lo que el promedio mayor de radiación solar ocurre aproximadamente en el mes de abril. Este promedio es el medido durante muchos años, ya tiene en cuenta la disminución por nubosidades; por ejemplo, Cuba está en una latitud similar a la del desierto del Sahara, región con promedios de radiación solar mucho mayores, por tener menos nubosidad, menos

lluvia y más radiación directa que la de Cuba. Se debe destacar que en Cuba los procesos de lluvia son más abundantes que en el Sahara; por lo que contribuye significativamente a la limpieza de la superficie de los módulos fotovoltaicos. (Stolik, 2019)

En el Mapa de Radiación Solar Promedio en Cuba, Figura 2.2, se puede observar la radiación solar que incide sobre la superficie de nuestro país. En este mapa se corrobora que las instalaciones fotovoltaicas son válidas en la inmensa mayoría del territorio nacional, ejemplo de ello es la radiación solar anual en Cienfuegos que se caracteriza por una buena presencia de esta; donde la radiación solar se encuentra en el orden de más de 5,3 kWh/m² en la provincia.



Fig. 2.2 Radiación solar en Cuba. Mapa elaborado por el Instituto de Meteorología de Cuba. (Rodríguez, 2014).



Fig. 2.3: Potencial solar diario promedio anual incidente en los municipios de la provincia de Cienfuegos. (Gámez., 2013).

En la figura 2.3, se puede ver de forma detallada la radiación promedio anual incidente por municipio de la provincia de Cienfuegos. La radiación promedio diaria de la provincia de Cienfuegos es de 6,14 kWh/m²día. (Cabrera, 2017).

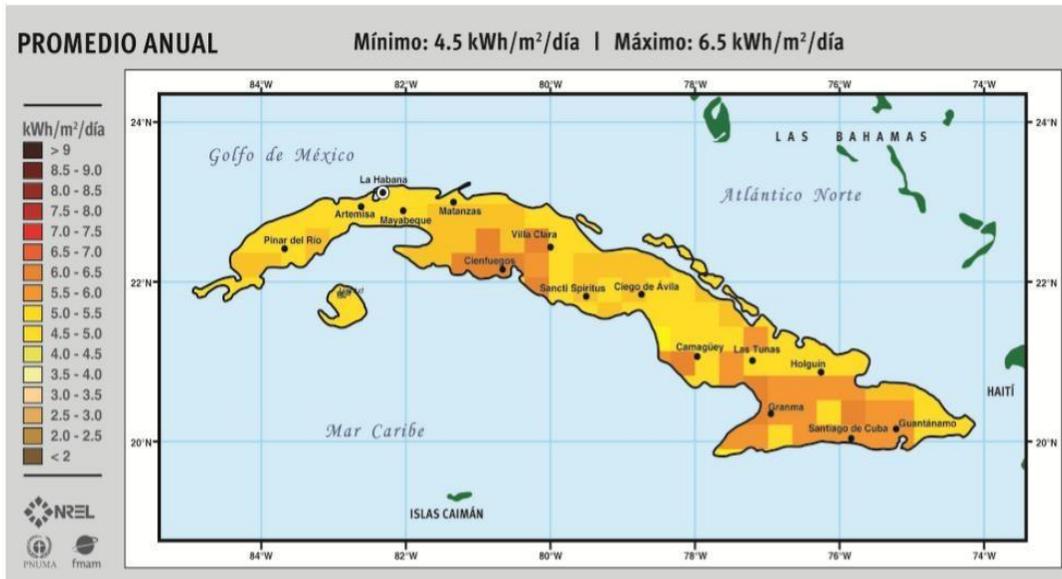


Fig. 2.4: Promedio anual de la radiación solar en Cuba. Fuente: (NASA-SEE, 2005).

La radiación solar que incide sobre la provincia de Cienfuegos se encuentra en el rango de 5,5 a 6,0 kW/m²/día, donde para los cálculos previos a desarrollar se trabajará con el valor más pequeño, para así garantizar las condiciones críticas en las que se puede encontrar el sistema de paneles solares.

Como aparece en las tres bibliografías consultadas los índices de radiación solar se mantienen por encima de los 5 kWh/m² para la provincia de Cienfuegos.

Tabla 2.3. Resultados sobre la captación y transformación energéticas de las celdas fotovoltaicas a diferentes ángulos de inclinación. Fuente: (Gámez, 2013).

Grados de inclinación de los paneles							
5°	10°	15°	22°	25°	30°	35°	40°

Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			Inclinación adecuada para la provincia de Cienfuegos	Pérdidas en la captación de energía, Wh/m ²			
-176	-59	-18		-23	-63	-103	-143
Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp				Pérdidas de conversión energética, kWh/kWp			
-32.4	-11.4	-5		-6.4	-17.4	-28.5	-39.6

En nuestro caso la inclinación de los módulos solares será de 8 grados, la misma inclinación de las cubiertas del techo de la nave del punto de renta donde se cargaran las bicicletas eléctricas.

2.3 Cálculo del sistema solar fotovoltaico

Es necesario seleccionar el módulo fotovoltaico para la instalación del sistema, se selecciona el DSM-380, producido por la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara ubicada en la carretera al Aeropuerto Álvaro Barba 2 ½, Pinar de Río, Cuba. El módulo está compuesto por 72 celdas solares de **silicio monocristalino PERC** del formato 156,75 mm x 156,75 mm, con dimensiones incluyendo el marco de **1968 mm x 992 mm x 40 mm** conectadas en serie; es capaz de entregar una potencia de 380 Wp con una tolerancia de $\pm 3\%$, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², temperatura de los módulos T=25 ° C, masa de aire AM 1.5), este módulo, en su punto de máxima potencia al voltaje 39,33 V de corriente directa (CD).

Para lograr una mayor ubicación de paneles en la cubierta del parqueo unión se colocarán de forma tal que el ancho del panel (0,992 m) tenga el mismo sentido del ancho de la edificación (6,50 m), y el largo del panel con la longitud de la edificación. Para facilitar el acceso para la limpieza y mantenimiento de los paneles solares fotovoltaicos se asume que la distancia mínima es de 0,25 m entre los paneles y el borde superior e inferior (6,50 m menos 0,5 m, 0,25 m por cada lado), así como el extremo derecho e izquierdo de las cubiertas, la distancia entre paneles será el ancho del panel (0,992 m), con este valor se podrá calcular el número máximo de filas que se podrán colocar sobre el área útil de las cubiertas del techo, mediante la ecuación 1:

$$\text{Número máximo de filas de paneles} = \frac{\text{ancho de la edificación}}{\text{Distancia entre paneles}} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{número máximo de filas de paneles} = \frac{6}{0,992} = 6,04$$

Conocida la longitud de la edificación (15 m menos 1 m, 0,50 por cada lado), el ancho del panel será en nuestro caso el largo del mismo 1,968 m más 0,025 m para facilitar el acceso para la limpieza y mantenimiento de los paneles solares fotovoltaicos, en cada fila podrán colocarse un número máximo de paneles determinado por la ecuación 2:

$$\text{Número máximo de paneles por fila} = \frac{\text{Largo de la edificación}}{\text{Ancho del panel}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{número máximo de paneles por fila} = \frac{14}{1,993} = 7,02$$

Obtenido el número máximo de filas (6) y de columnas (7) que se pueden instalar en el área útil del parqueo, se obtiene un valor de 42 paneles fotovoltaicos.

2.3.1 Determinación de la energía generada:

Para el análisis de generación energética del sistema fotovoltaico se transformó la ecuación 3 en la ecuación 4: (UNESCO., 2003)

$$N = \frac{E_g}{P_{pp} * I_{si} * 0,753} \quad \text{Ec.3}$$

Mediante la ecuación 3 transformada se determina la energía generada según la ecuación 4:

$$E_g = N * P_{pp} * I_{si} * 0,753 \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Potencia pico del panel (Ppp): 380 Wp.

Número de paneles (N): 42.

Irradiación solar incidente sobre los paneles (Isi): 5,5 kWh/m²*día.

Factor de funcionamiento que se toma 0,753 este tiene en consideración la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, la eficiencia de los inversores y pérdidas de cableado.

$$E_g = N * P_{pp} * I_{si} * 0,753$$

$$E_g = 42 * 0,380 * 5,5 * 0,753 = 66,09 \text{ kWh/día}$$

Tabla 2.3. Resultados de la generación del sistema fotovoltaico.

Energía generada	66,09	kWh/día
Energía generada	1,98	MWh/mes
Energía generada	23,79	MWh/año

Realizado el cálculo preliminar se obtiene que el valor total generado por el SSFV es de 66,09 kWh/día por lo que el SSFV satisface totalmente la demanda necesaria. (tabla # 2.3)

Tabla 2.4. Porcentaje de energía satisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Energía generada SSFV (MWh/mes)	Consumo máximo registrado (MWh/mes)	% de energía satisfecha
1,98	0,9	220

La energía necesaria para satisfacer la demanda de la nave donde se van a ubicar y cargar las bicicletas eléctricas es de 30 kWh/h que representa 900 kWh/mes, el SSFV genera 1 980 kWh/mes, por lo que tenemos un excedente de 1 080 kWh/mes, según cálculo promedio desde 2017-2021 al punto de renta se la han asignado diariamente 30 kWh/mes, que representa 900 kWh/mes también, utilizando ese excedente también se puede garantizar energía para el punto de renta quedando un total de 180 kWh/mes, que puede ser suministrado a la red nacional, este excedente puede ser vendido a la empresa eléctrica según la **Resolución No. 435 de fecha 29 de junio de 2017**, representando mensualmente un ingreso a la empresa de 10,8 CUP, y en un año 129,6 CUP.

2.3.2 La potencia instalada:

$$N = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) \quad \text{Ec. 5}$$

$$N = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) = 42 * \left(\frac{380}{1000} \right) = 15,96 \text{ kWp}$$

Por otra parte, tomando como referencia la información dada por el Dr. Daniel Stolik (Stolik, 2019) de que 1 kWp genera como promedio 1 360 kWh al año, los 42 paneles generarán:

$$15,96 \text{ kWp} * 1\,360 \text{ kWh/kWp.año} = 21\,705 \text{ kWh/año} \quad (1\,808 \text{ kWh/mes})$$

2.3.3 Selección del inversor.

El inversor escogido es el Symo Advance/ Symo Lite (Fronius), con rangos de potencia desde 10 kW a 24 kW, este inversor es el inversor sin transformador trifásico compacto ideal para todas las aplicaciones comerciales. Anexo 4.

Inversores

Symo Advance / Symo Lite

Con rangos de potencia desde 10 kW A 24 kW, el inversor Fronius Symo es el inversor sin transformador trifásico compacto ideal para todas las aplicaciones comerciales.

El sistema de amplio rango de voltaje de entrada en CD asegura máxima flexibilidad en el diseño de cualquier en el diseño de cualquier sistema FV.

El moderno diseño está basado en el sistema de instalación SnapInverter, permitiendo instalaciones y reparaciones sencillas y seguras. Algunas funciones líderes en la industria están disponibles en el Fronius Symo, como interfaces Wi-Fi® y SunSpec Modbus para monitoreo y datalogging, interrupción de falla de arco en el circuito (AFCI) probada en campo, certificación NEC 2014 y la plataforma en línea para monitoreo móvil Solar.Web. La versión Symo Lite no incluye tarjeta Datamanager.



2.3.4 Cálculo del número de inversores:

La cantidad de inversores que hacen falta para la instalación se determina mediante la ecuación 7: (Marrero, 2018)

Datos:

PI: potencia instalada: 15,96 kW.

P_{inversor}: Potencia del inversor: 16 kW.

$$\text{Número de inversores} = \frac{PI(kWp)}{P_{inversor}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$\text{Número de inversores} = \frac{15,96}{16} = 0,99$$

Se normaliza el valor al inmediato superior, por lo que se necesitara 1 inversor de 16 kW de potencia para realizar la instalación.

2.4 Conclusiones Parciales.

1. Las características técnicas del uso de SSFV demuestran que su uso no contamina el medioambiente y es accesible a todos ya que su fuente de energía proviene del Sol. Sus instalaciones pueden ser pequeñas o de gran tamaño, adecuadas para abastecer las necesidades tanto domésticas de una vivienda urbana o aislada, o para plantas de generación a gran escala conectadas a la red.
2. El consumo eléctrico de la nave donde se van a colocar las bicicletas eléctricas en el punto de renta unión, de la Sucursal Transtur Cienfuegos es de 30 kW/h, el SSFV genera 66,09 kW/h que representa el 220 % de la energía consumida, por lo que este SSFV satisface totalmente el consumo de energía eléctrica del local en cuestión.
3. La energía generada por el SSFV nos aporta un 120 % por encima del total de la energía eléctrica consumida en la nave, este aporte puede ser inyectado a la red nacional, obteniéndose así ingresos económicos.

Capítulo 3. Zonas de alta concentración de tensiones en las estructuras ante la acción de las cargas distribuida de los paneles fotovoltaicos. Evaluación de soluciones.

3.1 Evaluación del comportamiento de las estructuras de la nave ante la solicitud de cargas distribuidas por los paneles fotovoltaicos.

En la nave del parqueo unión de la Sucursal TRANSTUR Cienfuegos se proponen montar 42 paneles solares en su techo. Dicha nave está constituida por 15 m de largo por 6,50 m de ancho, 3 secciones de 4 vigas en u, que soportan el techo a una distancia de 5 m, las columnas son 4 formadas por 2 vigas en u, unidas un total de 7 vigas en u de 50 mm y de ala 5 mm también que soportan las tejas, las vigas grandes en u son de 70 mm de ala y de 150 mm de ancho.

- Peso de las planchas de zinc: es de 20 Kg y sus dimensiones de 3,8 m * 11 m con un área de superficie de 4,18 kg/m², es decir, este es el peso q le aportan las planchas a la estructura.
- Peso de los paneles: Se ubicarán en la estructura 42 paneles de manera distribuida con un peso por cada panel de 22 kg. El peso total de los paneles es de 924 kg.
- Las dimensiones de la superficie de la nave es de 15 m * 6,5 m con un área total de 97,6 m².
- Si los paneles están uniformemente distribuido el peso que aportan estos a la estructura es de 9,46 k/m².
- Acción del viento: Se considera q será un 20% del peso de los paneles dando una carga en la estructura de 1,9 kg/ m².
- La carga distribuida total en la estructura es de 15,54 kg/m².

- **Evaluación de las solicitudes en el plano xy (Anexo 5)**

Como las cargas están distribuidas uniformemente y las distancias entre secciones son iguales se puede hacer un sección individual .Se le añade una carga puntual de 200 kg en el punto más crítico q representa un trabajador con equipos dando mantenimiento.

Se Calcula el momento (M)

$$M = 0$$

$$B * 5 - 277,7 * 2,5 = 0$$

$$B = 138,85 \text{ kg}$$

$$F_y = 0$$

$$A + B - 277,7 = 0$$

$$A = 277,7 - 138,85 \text{ kg}$$

$$A = 138,85 \text{ kg}$$

- **Evaluación en las solicitudes en el plano xz**

$$M_A = 0$$

$$B * 6,1 - 294,79 * 3,05 = 0$$

$$B = \frac{294,79 * 3,05}{6,1}$$

$$6,1$$

$$B = 146,39$$

$$A = 146,39$$

- **Evaluación de las solicitudes en las vigas de soporte**

La carga distribuida soportada uniformemente por las 4 vigas:

La superficie total es de $97,6 \text{ m}^2$.

La carga total sobre las 4 vigas es de $1\,516,7 \text{ kg}$.

Cada viga tendrá una solicitud a compresión de $379,17 \text{ kg}$.

Cada viga soportará un momento flector resultante debido a que en los planos existen momentos flectores.

Momento flector plano xy: $186,06 \text{ kg/m}$

Momento flector plano xz: $375,74 \text{ kg/m}$

Momento flector resultante: $419,28 \text{ kg/m}$

- Selección y comprobación de las vigas en el plano xy.

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{fmax}}}{W_x} \leq (\sigma)_t$$

$$W_x \geq \frac{M_{fmax}}{(\sigma)t} = \frac{18606}{350} = 53,16$$

Selección de la viga:

Perfil # 14 h=14 t=0,81

$W_x=702$ b=5,8

$S=40,8$ d=0,49 $I_x=491$

Comprobación

$$[T]_{\text{máx}} = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot S_{x\text{máx}}}{d \cdot I_x} \leq [T]$$

$$= \frac{277,7 \cdot 40,8 \cdot 7}{0,49 \cdot 491} = 47,09$$

$$y = \frac{h}{2} - t = \frac{14}{2} - 0,81 = 6,19$$

$$x = \frac{M_f \cdot y}{I_x} = \frac{18606 \cdot 6,19}{491} = 234,56$$

$$x = \sqrt{((\sigma)t)^2 + 4T^2} \leq (\sigma)t$$

$$x = \sqrt{234,56 + 47,09 \cdot 4}$$

$$x = 252,76$$

Límite de resistencia del hierro atracción:

$$(\sigma)t = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$[T] = (\sigma)t \cdot 0,6$$

$$[T] = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{f\text{máx}} = 18606 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$Q_{\text{máx}} = 277,7 \text{ kg}$$

- Selección y comprobación de las vigas en el plano xz

- $\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{f\text{max}}}{W_x} \leq (\sigma)t$

- $W_x \geq \frac{M_{f\text{max}}}{(\sigma)t} = \frac{37574}{350} = 107,35$

Selección de la viga:

Perfil # 18

h=18 t=0,87

$W_x=121$ b=7

$S=69,8$ d=0,51

$I_x=1090$

Límite de resistencia del hierro atracción:

$$(\sigma)t = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$[T] = (\sigma)t \cdot 0,6$$

$$[T] = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{fmax} = 37\,574 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$Q_{max} = 294,79 \text{ kg}$$

Comprobación:

$$= \frac{294,79 \cdot 69,8}{0,51 \cdot 1090} = 37,01$$

$$y = \frac{h}{2} - t = \frac{18}{2} - 0,87 = 8,13$$

$$x = \frac{M_f \cdot y}{I_x} = \frac{37\,574 \cdot 8,13}{1090} = 280,25$$

$$x = \sqrt{(x^2 + 4y^2)}$$

$$x = \sqrt{280,25 + 4 \cdot 37,01}$$

$$x = 289,86$$

- Cálculo de la flecha en soporte:

El momento en el empotramiento es contrario al momento resultante.

El origen de las coordenadas lo situamos en el empotramiento.

$$Ely_A = Eiy_0 + Ei\theta_0 \cdot \frac{LA - Mr \cdot (LA - 0)^2}{2}$$

Datos:

$$Ely_A = Mr \cdot \frac{LA^2}{2}$$

$$LA = 4M$$

$$Y_A = \frac{Mr \cdot LA^2}{2}$$

Viga de perfil # 18

$$Y_A = \frac{41\,928 \cdot 42}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 1090}$$

$$I_x = 1090 \text{ cm}^2$$

$$Y_A = 1,92 \cdot 10^6$$

$$E = 1,6 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$Mr = 419,28 \text{ kg-m}$$

$$41\,928 \text{ kg} - \text{cm}$$

Es admisible.

Cálculo a compresión en soporte:

Compresión del hierro = 1600 kg/cm²

Área del perfil # 18 = 20,7 cm²

3.2 Evaluación económica.

En la evaluación económica se consideran todos los gastos asociados a la instalación de la tecnología fotovoltaica en cuanto a: paneles, mesas de fijación, cableado, tornillería e inversores (anexo 7), el costo del W instalado es de 6,06 CUP según datos suministrados por la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara, tomando los datos expuestos, el costo de inversión de nuestra instalación es de 400 505 CUP, se tiene en consideración los factores : el impuesto del banco (Cuba., 2012), inflación (Cuba., Circular 1/2017 del director general de tesorería. , 2018), tasa de descuento y el período de vida útil de los paneles, para así poder conocer de forma más certera el período de tiempo en que se recuperará la inversión y las ganancias que traerá consigo.

Los valores de las tasas están dados en la Tabla 1 según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012. El impuesto sobre la ganancia es del 35 %, según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

Tabla 3.1: Valores de las tasas de interés anual. Fuente: (TradingEconomic., 2020)

Período tiempo	Tasa de interés anual (%)	Tasa mínima (%)	Tasa máxima (%)
Hasta 36 meses	7,5	6,5	8,5
Hasta 60 meses	8	7	9

La tasa de inflación ha sido tomada de TradingEconomic (2020) y su magnitud ha variado entre 5,00 a 5,90. Se considera la tasa de descuento de 8 % y el margen de riesgo de 3 %.

Para el análisis económico se toman los valores referidos a los costos de instalación de un SSFV en diferentes países (ver figura 3.1).

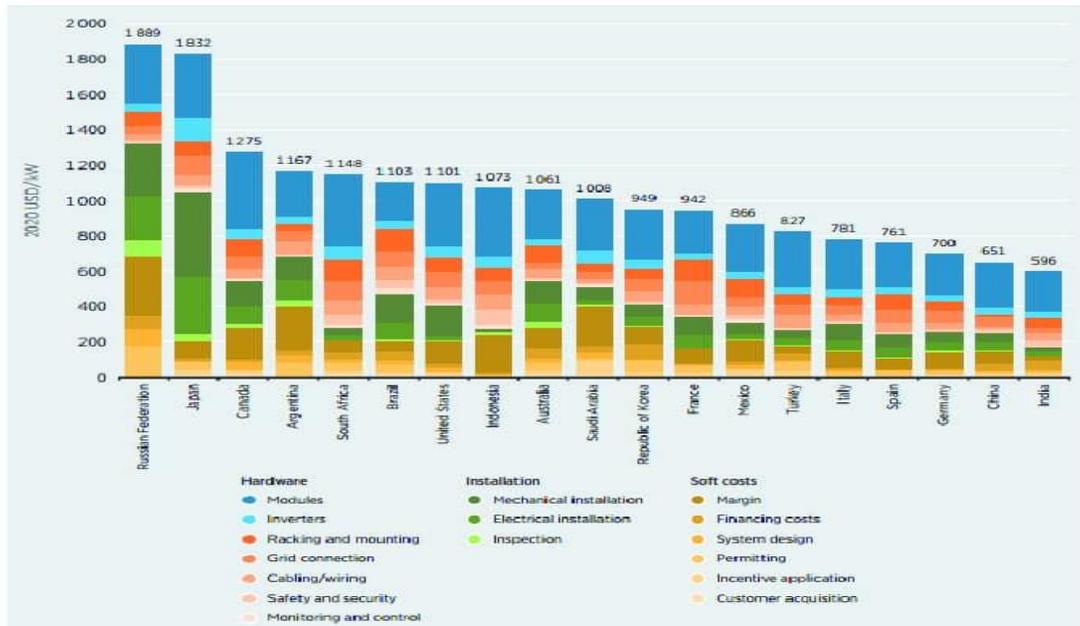


Fig 3.1: Valores de costos totales del kWp. Fuente: IRENA. Renewable Cost Database.

Costo evitado de energía eléctrica del SEN por suplir energía eléctrica desde el SSFV. ($C_{eEE\ SEN}$).

Conociendo el ahorro generado por el SSFV se puede determinar el ingreso monetario por la ecuación 8:

$$C_{eEE\ SEN} = CGM * C_{uEE} = \frac{kWh}{año} * \frac{\$}{kWh} = \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

CGM. - capacidad de generación y entrega del SSFV. (kWh/año)

C_{uEE} . - Costo unitario de energía eléctrica pagado al SEN en horario diurno. (\$/kWh). (\$=CUP).

La tarifa B1 eléctrica de acuerdo al Manual de consumidores (2021) para la empresa es de 3,12 \$/kWh. (Anexo 3)

$$C_{eEE\ SEN} = 23\,790 \frac{kWh}{año} * 3,12 \frac{\$}{kWh} = 74\,224 \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 9}$$

En la Tabla 3.2 se muestran los principales resultados obtenidos del análisis económico.

Tabla 3.2: Resultados obtenidos del análisis económico.

Año	0	1	...	24	25
Depreciación (Dep), \$		16020,2	...	16020,2	16020,2
Flujo de caja (Fc), \$		53466,7052		53466,7052	53466,7052
Tasa de descuento real (R)		0,03		0,03	0,03
Tasa de descuento real con margen (D)		0,06		0,06	0,06
Factor de descuento (Fdesc.)		0,94		0,26	0,24
Flujo de caja descontado (Fd), \$		50508,3585		13639,5296	12884,84573
Flujo descontado acumulado (Fda), VPN, \$	-400505	-349996,642		279471,17	292356,0154

El gráfico de la figura 3.2 donde se muestra el Valor Presente Neto (VPN) vs años de vida útil de los paneles permite conocer las ganancias que puede reportar el proyecto, siendo positivo si el saldo entre beneficios y gastos es favorable, negativo en caso contrario y el tiempo de recuperación de la inversión.

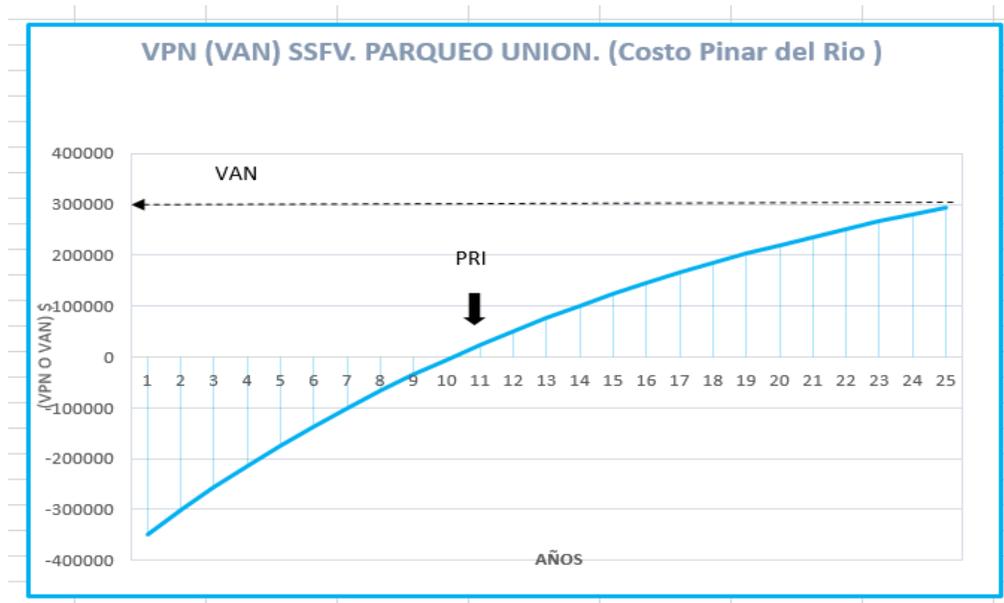


Fig 3.2: Valor presente neto (VPN) vs años de vida útil de los paneles

3.3 Evaluación ambiental del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.

Este aspecto es de gran importancia ya que, debido al auge de las tecnologías alternativas para la generación de energía eléctrica, en conjunto a los esfuerzos que se han llevado a cabo tanto internacional como nacionalmente para la disminución del uso de los combustibles fósiles para producir energía eléctrica, los cuales tienen marcadas influencias negativas en la contaminación ambiental; la fomentación del uso de la tecnología fotovoltaica es una de las principales fuentes energética nacional que tiene gran importancia dada la reducción de emisiones de CO₂ hacia la atmósfera.

Analizando el problema en cuanto a combustible dejado de quemar para producir la misma cantidad de energía, este se puede calcular mediante la ecuación:

$$\text{Combustible ahorrado} = (E \cdot g) / 1000 \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

E: energía generada, kWh/año.

g: es el consumo específico de combustible de los grupos electrógenos; se escoge la peor condición, o sea, aquel que ahorrará menos y es igual a 236 g/kWh.

$$\text{Combustible ahorrado} = (23\ 790 \cdot 0,236) / 1000 = 5,6 \text{ t/año.}$$

Por tanto, a partir del combustible ahorrado se puede obtener la cantidad de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera en t/año por la ecuación:

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (\text{Combustible ahorrado} \cdot k) / \rho \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

K: coeficiente que permite relacionar el combustible no quemado con las toneladas de CO₂ no vertidas a la atmósfera y que es igual a 3,119 kg/l.

ρ: densidad del combustible y es igual a 0,9781 kg/l.

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (5,6 \cdot 3,119) / (0,9781) = 17,85 \text{ t/año}$$

Utilizando la expresión se determina que la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera es de 17,85 t/año, lo que evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del sistema fotovoltaico.

3.4 Conclusiones parciales .

1. Para el cálculo económico se consideran todos los gastos asociados a la instalación de la tecnología fotovoltaica, el impuesto del banco, la inflación y la tasa de descuento.
2. Con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 27,9 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 88,96 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.
3. El período de recuperación de la inversión del SSFV de la empresa es en 11 años; con una inversión de 400 505 CUP y un VPN de 292 356 CUP en un período de 25 años de servicios y posee una TIR de 1 %.

Conclusiones generales.

1. Cuba en consonancia con las tendencias a nivel internacional, prevé que para el año 2030, el país alcance una generación de 700 MW de generación eléctrica a través de las fuentes renovables de energía, por lo que el presente proyecto es una contribución en este campo.
2. Se elaboró el anteproyecto de un sistema solar fotovoltaico para la nave del punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos, el cual está integrado por un total de 42 paneles solares del tipo DSM-380 Wp, el cual es capaz de generar 66,09 kWh/día, lo que satisface el 220 % de la energía demandada.
3. Con la energía generada por el SSFV se dejan de quemar 5,6 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 17,85 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.
4. Fueron caracterizados los componentes de los SSFV en edificaciones, demostrando ventajas con respecto a los SSFV en suelo, especialmente por la cercanía entre el lugar de consumo y el de generación, aprovechando la estructura de la nave y notables ahorros en el proceso de construcción y montaje.

Recomendaciones.

- Desarrollar a escala piloto el anteproyecto al punto de renta unión, Sucursal Transtur Cienfuegos propuesto a fin de cuantificar las ventajas técnicas y económicas.
- De ser favorables los resultados sugerir a la entidad nacional, la extensión a nivel nacional.
- Sugerir a la Sucursal Transtur Cienfuegos continuar los estudios de SSFV en otras edificaciones.
- Utilizar el software PVSYST para la comprobación de los resultados obtenidos para este anteproyecto del SSFV.

Bibliografía.

- Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar le División Territorial COPEXTEL Cienfuegos, n.º 113, 053 (2012).
- AutoSolar. (2019). *AutoSolar Energy Solutions*. <https://autosolar.es/paneles-solares>
- Cabrera, Á. F. (2018, mayo 7). *Producir con conciencia ambiental*. <http://www.granma.cu/cuba/2018-05-07/producir-con-conciencia-ambiental07-05-2018-21-05-10>.
- Cubadebate. (2019). *Cuba impulsa parques solares para elevar cuota de energía renovable*
- Marrero, J. B. (2018). *Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar le División Territorial*.
- Martínez, I. C. (2005). *Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red*. Energía y tu. <https://www.ujaen.es>
- NASA-SEE. (2005). *Valores de datos solares*.
- Rodríguez, D. G. (2014). *Propuesta de aprovechamiento de la energía solar*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM).
- Rodríguez Gámez, Dra. M. (2013). *Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos*. <https://www.researchgate.net>
- Stolik, D. C. (2019). *Los costos fotovoltaicos*. Renewable.Cu. <https://wwwcubaenergia.cu>.
- Sun Supply, (2021). <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>.
- TradingEconomic (2020), Tasa de inflación, <https://es.tradingeconomics.com/cuba/inflation-cpi..>
- UNESCO. (2003). *Curso de Entrenamiento en Energía Solar*. <https://cimavrepositorioinstitucional.mx>
- Yilen, C. (2022). *Fuentes de energía renovables: Más desarrollo, más eficiencia*. cubahora.c (Suministros del Sol, 2022)

(Cuba., Circular 1/2017 del director general de tesorería. , 2018),



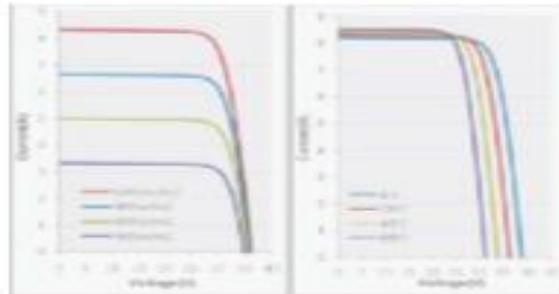
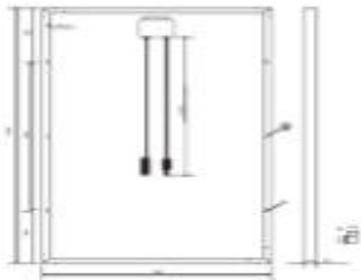
Anexos



Anexo 1: Módulo fotovoltaico DSM-380 Wp.



Especificaciones técnicas		
Celda	Celda Solar de Silicio Monocristalino PERC	
No. de celdas y conexiones	156.75mm x 156.75mm	
Dimensiones del módulo	72 (6X12)	
Cubierta frontal	1968mm x 992mm x 40mm	
Material del marco	Vidrio templado	
Peso	Aleación de aluminio anodizado	
	22 Kg	
Características eléctricas		
Modelo	DSM-380	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	48.50	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	38.33	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	10.17	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	9.67	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	380	
Tolerancia [%]	+3%	
	STC: 1000 W/m ² , 25°C, AM 1.5	
Límites		
Temperatura de operación	-40 a +85°C	
Voltaje máximo del sistema	A :1500 VDC B :1000 VDC	
Valor máximo del fusible de la serie	A :30A B :20A	
Parámetros térmicos		
NOCT	[°C]	45±2
Coefficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.04478
Coefficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.30537
Coefficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.41004



Los datos contenidos en esta ficha técnica pueden estar sujetos a cambios sin previo aviso.

Anexo 2: Nave del parqueo unión.



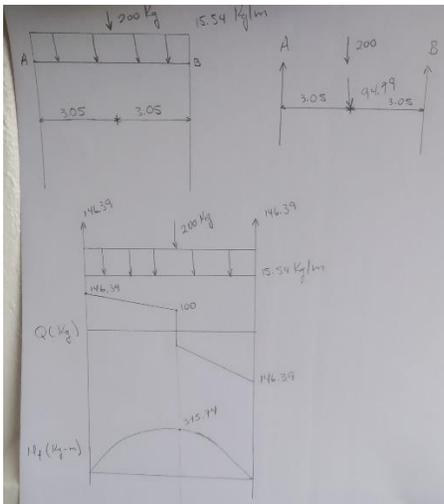
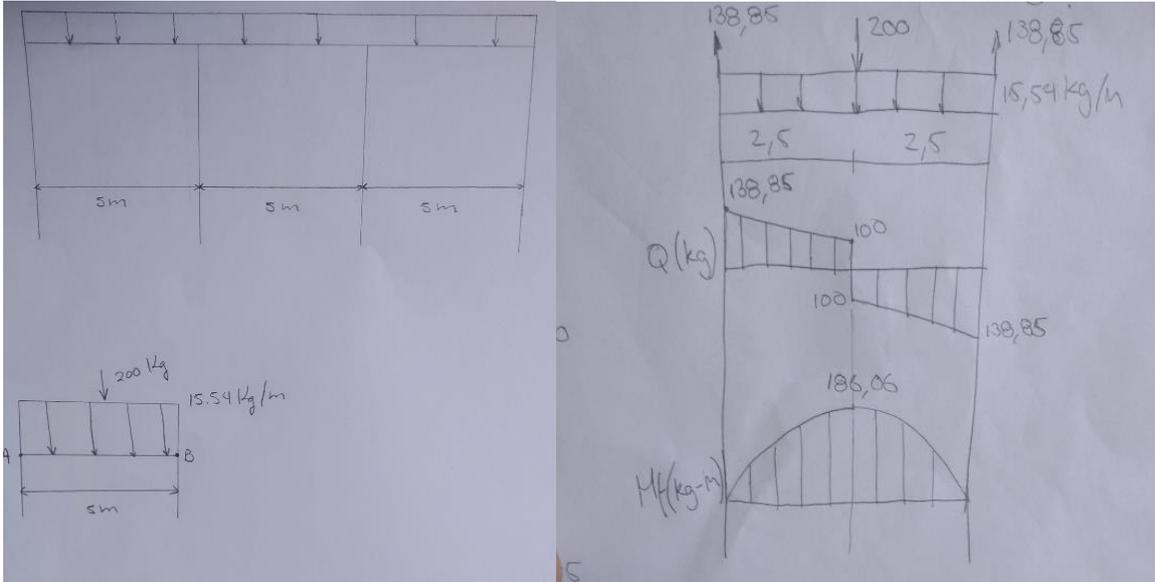
Anexo 3: Tarifa B1 eléctrica del kWh.

Mes	E.elec,2021	Costo 2021	E.elec,2022	Costo 2022
	kWh/mes	\$	kWh/mes	\$
enero	2699	8097	3445	10231,97
febrero	3462	10870,68	3177	9463,19
marzo	3785	12074,15	3612	10861,76
abril	3985	12036,3	3681	11531,08
mayo	3476	10984,16	3679	11943,07
junio	5888	18606,08	4244	13570,05
julio	4044	12819,48	3995	12,464.4
agosto	4983	15.646,62	3995	12384,5
septiembre	3410	10.639,20	2176	6941,44
octubre	3080	9732,8		
noviembre	3984	12509,76		
diciembre	4200	13230		
consumo anual y costo	46996	147246,23	32004	86927,06
costo unitario (\$/kWh)		3,13		3,11
promedio del costo unitario de los cuatro años (\$/kWh)	3,121582581			

Anexo 4: Características del inversor seleccionado.

MODELOS	SYMO 10.0/220	SYMO 12.0/220	SYMO 15.0/220 (IM- PPT)	SYMO 10.0-3/480	SYMO 12.5.0-3/480
Potencia FV recomendada (kWp)	8-13	9.5-15.5	12-19.5	8-13	10-16
Arreglo máximo de corriente de corto circuito	37.5 A / 24.8 A		33 A / 25 A	37.5 A / 24.8A	
Rango de voltaje MPP (VCD)	300-500 V		350-800V	300-800 V	350-800V
Rango de voltaje operacional	200-600 V		200-1000 V		
Voltaje de entrada máximo	600 V		1000 V		
Número de MPPT	2		1	2	
DATOS DE SALIDA					
Potencia máxima de salida (VA)	9995	11995	14995	9995	12495
Eficiencia CEC	96.5%		97%		

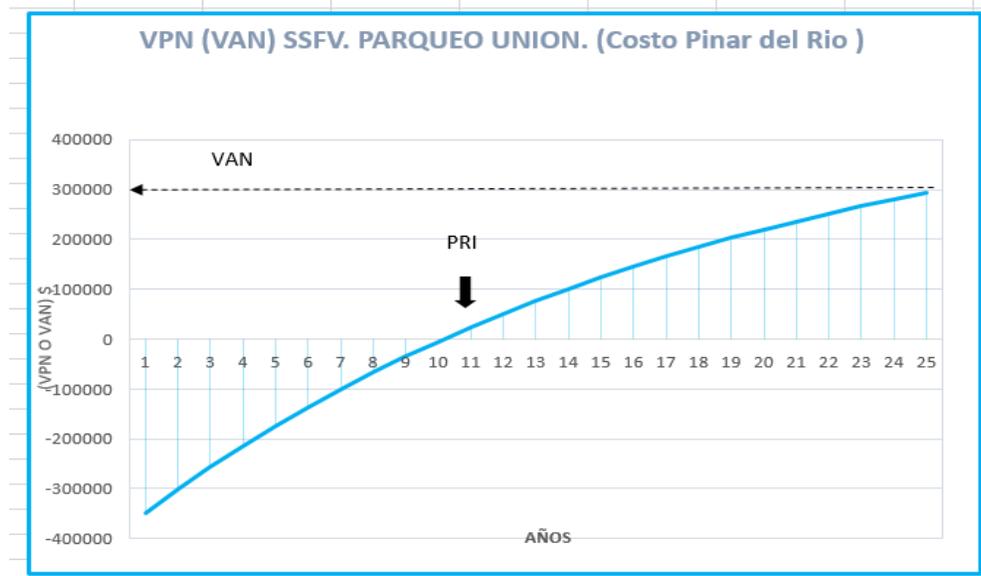
Anexo 5: Evaluación del comportamiento de la estructura.



Anexo 6: Resultados del análisis económico.

PROYECTO DE SSFV PARQUEO UNION.								
Pinar del Río								
N°	Datos iniciales	0	1	11	22	23	24	25
1	Ingresos (I), \$		74224	74224	74224	74224	74224	74224
2	Gastos (G), \$		593,792	593,792	593,792	593,792	593,792	593,792
3	Costo inversión (K ₀)	-400505						
4	Tasa de descuento (r), %	400505	8	8	8	8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5	5
6	Margen de riego, %		3	3	3	3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25	25
Resultados								
9	Año	0	1	11	22	23	24	25
10	Depreciación (Dep), \$		16020,2	16020,2	16020,2	16020,2	16020,2	16020,2
11	Flujo de caja (Fc), \$		53466,7052	53466,7052	53466,7052	53466,7052	53466,7052	53466,7052
12	Tasa de descuento real (R)		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
13	Tasa de descuento real con margen (D)		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
14	Factor de descuento (F _{desc.})		0,94	0,53	0,29	0,27	0,26	0,24
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		50508,3585	28586,5388	15284,0949	14438,4163	13639,5296	12884,84573
16	Flujo descontado acumulado (Fda), VPN,	-400505	-349996,642	24278,3293	251393,224	265831,64	279471,17	292356,0154

TIR	1%
-----	----





Anexo 7: Datos suministrados por la Empresa de Componentes Electrónicos Ernesto Che Guevara.

Costo de la tarea técnica. (kW vs CUP). Además se debe incluir la tarifa horaria por hombre que es de 300 CUP hora/hombre	
Desde 1 kW hasta 75 kW	70 000,00 CUP
Más de 75 kW hasta 150 kW	90 000,00 CUP
Más de 150 kW	130 000,00 CUP