

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
Sede: “Carlos Rafael Rodríguez”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



Trabajo de Diploma

Tema:

**Título: Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico en el taller automotriz, sucursal
Transtur, Cienfuegos.**

Autor: Luis Carlos del Castillo Romero

TUTOR(ES):

MS.c Francisco Manuel Pérez Díaz

Ing. Ariel Cogollos

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

"Si quieres entender el universo, piensa en energía, frecuencia y vibración."

Nikola Tesla.



Dedicatoria.

A mis padres por su gran dedicación y su apoyo, les agradezco el haberme apoyado y ayudado a ser la persona que soy.

A mi hermana mis primos por el apoyo moral.

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

Agradecimientos

A mi tutor MS.C Francisco Manuel Pérez Díaz, por sus consejos, su paciencia, entrega y por brindarme la oportunidad de ser su estudiante.

A mi tutor Ing. Ariel Cogollos, sin el cual este proyecto no hubiese realizado, gracias por su ayuda, su paciencia y su entrega en este proyecto.

A los directivos y trabajadores de la Base Transtur, sucursal Cienfuegos.

Muchas gracias a todos que de una forma u otra han contribuido en mi formación durante estos 5 años.

RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
Problema científico:.....	11
Hipótesis:.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos:.....	11
Capítulo 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.....	12
1.1 Estado actual y tendencias del uso de los sistemas solares fotovoltaicos.....	12
1.1.1 Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas.....	12
1.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico.....	13
1.1.3 .Integración en cubiertas.....	15
1.1.4 Fallas de los paneles.....	17
1.2 Paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado internacional, características técnicas y costos de adquisición. Sistemas más usados en la República de Cuba.....	22
1.2.1. Principales fabricantes de módulos fotovoltaicos.....	22
1.2.2 Costo de los módulos fotovoltaicos en el mercado internacional.....	22
1.2.3. Módulos más empleados en el país y costos.....	23
1.3 Sintetizar las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país. Principales ventajas y desventajas.....	25
1.3.1. Ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas.....	27
1.4. Experiencias en el uso de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del SEN.....	30
1.5 Resoluciones nacionales encaminadas a promover y facilitar la inversión en medios de fuentes de energía renovable.....	32
1.6. Conclusiones parciales.....	35
Capítulo 2: Caracterización constructiva y energética, Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico para del taller automotriz y fregado de la sucursal Transtur, Cienfuegos.....	36
2.1 Características constructivas y energéticas de la nave del taller automotriz y fregado.....	37
2.2 Definición y comprobación de la radiación solar recibida por el panel según la ubicación en las áreas seleccionadas.....	38

2.3 Cálculo del sistema solar fotovoltaico	41
2.3.1 Cálculo del número máximo teórico de paneles fotovoltaicos:	41
2.3.2 Determinación de la energía generada:	43
2.3.3 La potencia instalada:	44
2.3.4 Selección del inversor:	44
2.3.5 Cálculo del número de inversores:	45
Conclusiones Parciales	45
Capítulo 3: Zonas de altas concentración de tensiones en las estructuras ante la acción de las cargas distribuida de los paneles fotovoltaicos. Análisis económico del anteproyecto técnico del sistema fotovoltaico propuesto.	46
3.1 Evaluación del comportamiento de las estructuras de las naves antes la solicitud de cargas distribuidas por los paneles fotovoltaicos.	46
Evaluación económica.	51
Evaluación ambiental del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.	54
Conclusiones Parciales	55
Conclusiones generales	56
Recomendaciones	58
Bibliografía	59
Anexos	61

RESUMEN.

El presente trabajo tiene como objetivo el impacto de la energía solar fotovoltaica en la base, Transtur, Cienfuegos, para el área donde se encuentra el taller automotriz y fregado. El desarrollo del trabajo demostró que es posible instalar 60 paneles solares, lográndose obtener una generación de 94,42 kWh/día, que satisface el 202 % de la demanda eléctrica de la nave, así como el 80 % de la demanda de la Base, sucursal Transtur, Cienfuegos y reduce el pago de energía eléctrica en 125 083 \$/año. El análisis económico del anteproyecto arrojó que la inversión se recupera en 9 años con una tasa interna de retorno de un 5% y el valor presente neto de \$ 579 950 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 8 t/año de combustible y de emitir 24,4 t/año de CO₂ al medio ambiente.

Palabras claves:

Paneles solares

Nave

Summary

The objective of this work is the impact of photovoltaic solar energy at the base, Transtur, Cienfuegos, for the area where the automotive and scrubbing workshop is located. The development of the work demonstrated that it is possible to install 60 solar panels, achieving a generation of 94.42 kWh/day, which satisfies 202% of the electrical demand of the ship, as well as 80% of the demand of the Base, Transtur branch, Cienfuegos and reduces the payment of electricity by \$125,083/year. The economic analysis of the preliminary project showed that the investment is recovered in 9 years with an internal rate of return of 5% and a net present value of \$579,950 over a 25-year lifespan, which makes the investment attractive. The analysis and contribution to the environment shows that 8 t/year of fuel is no longer consumed and 24.4 t/year of CO₂ is emitted into the environment.

Keywords:

Solar panels

Ship

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 de energía. Ello quiere ser cambiado y 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 MW pico 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. (Cubadebate, 2022)

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 área a nivel de tierra puede tener diferentes usos, desde jardines hasta base de edificaciones colaterales en caso de ampliación requerida por la institución. (Morales, 2020)

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 la cubierta de la nave del taller automotriz en la base de la sucursal Transtur de Cienfuegos, tecnología que brinda

la posibilidad de una generación limpia y económicamente sostenible, acorde con las exigencias de la actualidad.

Problema científico:

¿Resultaría factible reducir el costo energético eléctrico del taller automotriz y fregado de la sucursal Transtur, Cienfuegos utilizando paneles solares?

Hipótesis:

A partir de un estudio técnico, económico y medioambiental, se propone la construcción de una instalación solar fotovoltaica en el taller automotriz de la sucursal Transtur, Cienfuegos que debe reducir los costos energéticos, contribuir a la reducción del impacto ambiental y garantizar la capacidad productiva en momentos de crisis energéticas.

Objetivo general.

Desarrollar el anteproyecto de factibilidad técnica económica de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el taller automotriz de la sucursal Transtur, Cienfuegos.

Objetivos específicos:

1. Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas fotovoltaicos para el suministro de energía eléctrica en edificaciones.
2. Realizar la caracterización energética de la nave del taller automotriz y fregado, elaborar el dimensionamiento e identificación de las dimensiones y tipos de perfiles metálicos de las estructuras de base y cubierta.
3. Desarrollar el cálculo técnico de selección de la instalación fotovoltaica a colocar sobre la estructura de la instalación.
4. Establecer las zonas de altas concentraciones de carga cuando sobre la estructura actúa la carga distribuida de los paneles fotovoltaicos.
5. 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.

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

1.1.1 Clasificaciones de las instalaciones fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de las mismas: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; esta última, de gran superficie, se está utilizando como superficie de terminación e imagen en 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); este sistema conlleva, además, un beneficio económico: "huertos solares".

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. (Smart Spain, 2022)

1.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Dentro los componentes de un sistema de energía solar 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 figura 1.1 se pueden ver de forma más didáctica los componentes. (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 poli-cristalinos. Los de mejor precio y mayor disponibilidad en el mercado

internacional y colombiano es el policristalino. Estos son caracterizados por su potencia nominal o potencia máxima que puede generar este panel en condiciones ideales (radiación de 1kW/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 protegiendo el sistema de sobrecarga y sobre-descargas. 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 (12v o 24v típicamente) proveniente de las baterías o controlador en corriente alterna, de forma simplificada se puede decir que transforma la corriente continua en un 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.

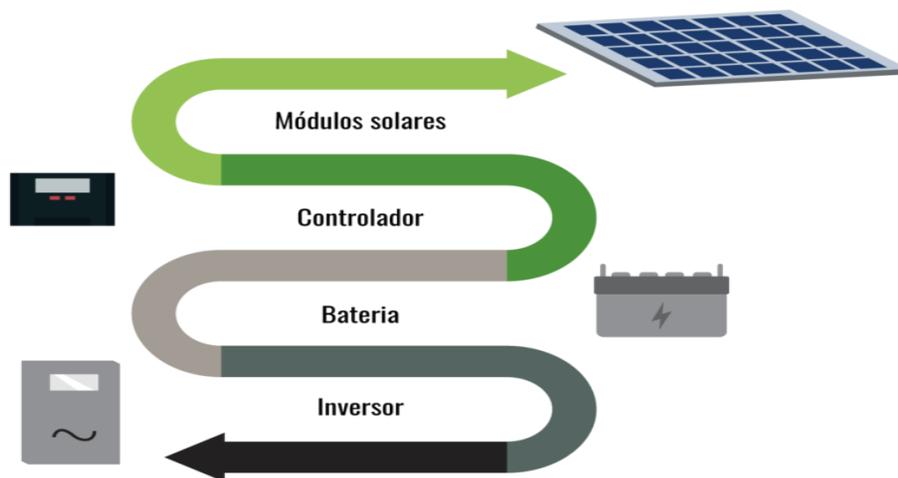


Figura 1.1: Partes componentes de un Panel Fotovoltaico. Fuente: (Sun Supply, 2021)

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 comerciales. Las instalaciones de sistema 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.



Figura 1.2 Integración en techo plano. Fuente: (Cambio Energetico , 2021)

- 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 intactos en la superficie inclinada del techo.



Figura 1.3 Estructuras de fijación de paneles solares en cubiertas. Fuente: (Cambio Energetico , 2021)

- Instalación Solar en el suelo. Y la última, 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. Se recomienda siempre, realizarlo con una empresa experta, ya que se necesita observar 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. Fuente: (Cambio Energetico , 2021)

1.1.4 Fallas de los paneles.

Los paneles solares son muy fiables, y han demostrado ser no sólo beneficiosos para el medio ambiente, sino también una excelente inversión. Su fiabilidad se debe principalmente a que son dispositivos sin piezas móviles. Esto elimina casi por completo el riesgo de fallos mecánicos y permite que los paneles requieran muy poco mantenimiento durante largos periodos de tiempo.

Sin embargo, nada es perfecto, y los paneles solares pueden desarrollar defectos a lo largo de su vida útil. Hemos elaborado una lista de los problemas más comunes que pueden surgir en tu sistema solar. (EcolInventos Green Technology, 2022)

Delaminación.

La laminación de los paneles solares mantiene las células solares protegidas mediante el sellado al vacío y la fusión de la célula solar, la lámina de vidrio y la lámina posterior. Aunque estos sellos suelen ser extremadamente seguros, si el proceso de laminación no se ha realizado correctamente, puede producirse una delaminación, es decir, la separación de la unión entre estos componentes.

La delaminación suele comenzar en el borde del panel y se va abriendo paso hacia el interior. Sin un sellado seguro, la humedad y el aire pueden introducirse en el sistema, causando corrosión y una reducción sustancial del rendimiento del panel. Si ve manchas oscuras en sus paneles, esto podría ser una señal de que sus paneles están sufriendo delaminación y debería ponerse en contacto con su instalador para una inspección.

Microgrietas.

Las microgrietas son grietas extremadamente pequeñas en las células solares que se originan en el envío o la instalación si no son suficientemente cuidadosos, o en defectos de fabricación. Aunque estas microgrietas no provocan una pérdida inmediata de generación de energía, los cambios en el clima y el desgaste general por el uso pueden contribuir a su crecimiento con el tiempo y convertirlas en un problema mayor. Contratar a un instalador experimentado y de confianza ayudará a reducir el riesgo de microgrietas durante la instalación.

Puntos calientes.

Los puntos calientes, uno de los problemas más comunes de los sistemas solares, se producen cuando las zonas de un panel solar se sobrecargan y alcanzan altas temperaturas en relación

con el resto del panel. Cuando la corriente fluye a través de las células solares, cualquier resistencia dentro de las células convierte esta corriente en pérdidas de calor.

Las imperfecciones en los paneles, como grietas, soldaduras deficientes o la acumulación de suciedad, pueden hacer que esta resistencia aumente en una zona concentrada, provocando un punto caliente. Es importante solucionarlos de inmediato si aparecen porque, si no se controlan, pueden provocar la degradación de su sistema o incluso hacerlo irreparable.

Baba de caracol.

En ocasiones, los paneles solares pueden desarrollar pequeñas líneas marrones en la superficie, que se denominan baba de caracol porque dan la apariencia de que los caracoles han pasado por el panel. Los rastros de caracol suelen aparecer al cabo de unos pocos años y pueden tener múltiples causas, que a menudo se atribuyen a paneles de baja calidad. Los defectos de estos paneles pueden permitir la entrada de humedad a través de la lámina posterior, lo que provoca la oxidación entre la pasta de plata, un material clave usado en la fabricación, y el material de encapsulado. Esta reacción hace que la parte delantera del panel se descomponga químicamente, reduciendo el rendimiento del sistema y, en última instancia, haciendo que falle prematuramente. Las babas de caracol suelen estar asociadas a microfisuras y pueden crear puntos calientes. La compra de paneles de buena calidad puede reducir sustancialmente el riesgo de que se produzca este tipo de problema.

Degradación potencialmente inducida.

La degradación inducida por el potencial, o PID, se produce debido a la elevada diferencia de voltaje entre la lámina de vidrio conectada a tierra y las células solares. Cuando esto ocurre, el circuito primario de alimentación puede producir una descarga parcial de tensión, lo que reduce el rendimiento y acelera el envejecimiento del panel. La DPI suele producirse poco después de la instalación de los sistemas solares y puede verse agravada por las largas conexiones, las temperaturas elevadas y la alta humedad. Afortunadamente, si se detecta en una fase temprana se pueden reparar o prevenir este problema.

Problemas eléctricos.

En ocasiones, una mala instalación de tu sistema solar puede provocar problemas eléctricos. Problemas como cables sueltos o daños en el cableado causados por la corrosión o la oxidación pueden acabar reduciendo la producción de tu sistema. Si crees que tu sistema puede estar afectado por problemas eléctricos, lo mejor es que te pongas en contacto con tu instalador. Intentar reparar el problema por ti mismo te hará correr un riesgo innecesario que su instalador o un electricista autorizado están capacitados para solucionar.

Problemas con el inversor.

Un inversor solar ayuda a convertir la energía solar en corriente alterna. Mientras que los paneles en sí suelen durar entre 25 y 30 años, los inversores son algo menos duraderos y suelen tener que ser sustituidos cada 10 o 15 años en el caso de los inversores de cadena y hasta 25 años en el caso de los microinversores. Asegúrate de llevarlos a revisar si notas un problema con la producción de electricidad de tus paneles en esos periodos.

Vidrio roto o agrietado.

El vidrio frontal sirve como una capa de protección autolimpiante para las delicadas celdas que permiten que los rayos del sol accedan a las células de la manera más eficiente posible. Si el vidrio está roto o dañado de alguna manera, que generalmente esto se produce por influencia de los vientos que arrastran objetos y golpean los paneles, esto puede afectar el rendimiento y también potencialmente permitir el acceso a la tensión peligrosa a la que operan los paneles, ejemplo en la figura 1.5:



Figura 1.5 Ejemplo de panel con vidrio roto. Fuente: (Solarpedia, 2022)

Tabla 1.1 Frecuencia de fallos en instalaciones fotovoltaica. Fuente: (PVTRIN Installer Certification, 2011)

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	-

1.2 Paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado internacional, características técnicas y costos de adquisición. Sistemas más usados en la República de Cuba.

1.2.1. Principales fabricantes de módulos fotovoltaicos.

La demanda de módulos fotovoltaicos superó las expectativas de la mayoría de los analistas, lo que significó que las condiciones de suministro fueron ajustadas en toda la cadena de producción, y los precios incluso aumentaron.

Ranking de los principales fabricantes de módulos. Fuente (Admin, 2022)

- 1 LONGi Solar Technology Co, Ltd (Xi'an, China)
- 2 JinkoSolar Holding Co. (Shanghai, China)
- 3 Trina Solar Co., Ltd. (Changzhou, China)
- 4 Canadian Solar Inc. (Guelph, Canadá)
- 5 Hanwha Solutions Corporation (Seúl, Corea del Sur)
- 6 Risen Energy Co. (Ningbo, China)
- 7 First Solar Inc. (Tempe, EE.UU.)
- 8 Wuxi Suntech Power Co. (Wuxi, China)
- 9 JA SOLAR Technology Co., Ltd. (Pekín, China)
- 10 Worldwide Energy and Manufacturing USA Co., Ltd (San Francisco)

1.2.2 Costo de los módulos fotovoltaicos en el mercado internacional.

A continuación, se reflejan los costos de algunos módulos fotovoltaicos según los sitios web de venta de los mismos

- 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 1.2 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. Módulos más empleados en el país y costos.

- Costo: Panel solar DSM 250-380 es de 0,25 USD/kWh.
- Los Deshmukh Solar Energy del tipo DSM 250-380 con las siguientes características:

Tabla 1.3 Características de los paneles DSM. Fuente: (Energy., 2019)

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	48,5V
Corriente de cortocircuito (Isc) en (A)	8,66	9,01	9,44	9,71	10,17
Eficiencia en %	15,42	16,03	16,65	17,27	19,5
Dimensiones (A/A/F)	1 650x990x35 mm				1960x990x40mm
Peso	20 Kg				22 Kg
Tipo de Células	Policristalinas				Mono-cristalino

Tamaño de las Células	156x156 mm	156.75m m
-----------------------	------------	--------------

Potencia Fotovoltaica kW	Precio de la potencia fotovoltaica contratada MLC				kWh a reducir del consumo eléctrico	
	Para 20 años	Para 10 años	Para 5 años	Para 2 años	Mensual	Anual
0.5	750.00	382.50	195.00	79.50	63.0	756.0
1	1 500.00	765.00	390.00	159.00	125.0	1 500.0
1.5	2 250.00	1 147.50	585.00	238.50	188.0	2 256.0
2	3 000.00	1 530.00	780.00	318.00	250.0	3 000.0
2.5	3 750.00	1 912.50	975.00	397.50	313.0	3 756.0
3	4 500.00	2 295.00	1 170.00	477.00	375.0	4 500.0
3.5	5 250.00	2 677.50	1 365.00	556.50	438.0	5 256.0

Figura 1.7 Precios en MLC del contrato por potencia. Fuente: (Cubadebate, 2022)

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

Entre las alternativas para aprovechar la energía solar se encuentra el plan de utilizar paneles en la cubierta de los edificios gubernamentales y empresas, donde se deben instalar como prioridad unos 900 MW. Esto forma parte de un programa a 5 años que estima reducir el consumo eléctrico del SEN como mínimo en un 2% anual con la máxima utilización posible de las cubiertas disponibles para instalar sistemas solares fotovoltaicos. Por otra parte, existe la opción de usar esos sistemas en viviendas. Sin embargo, a pesar de las ventajas en los aranceles, es bastante costoso obtener por su cuenta ese servicio por parte de las personas naturales. Hoy en día solo unas 16 mil viviendas cubanas tienen las instalaciones fotovoltaicas. Si se llega a instalar al menos un 1 kilowatt en el 50% del total de nuestras viviendas instalaríamos unos 2 mil MW con las ventajas que implica producir la energía directamente en el consumo.

Además, como prioridad en el país se encuentra el empleo de energía solar para el bombeo de agua para el riego en la agricultura, el consumo de la ganadería y para la población. “El bombeo de agua es el mayor consumidor de electricidad del país, lo que nos impone la necesidad de implementar un programa priorizado para su sustitución por sistemas de bombeo solar. (Osa, 2022)

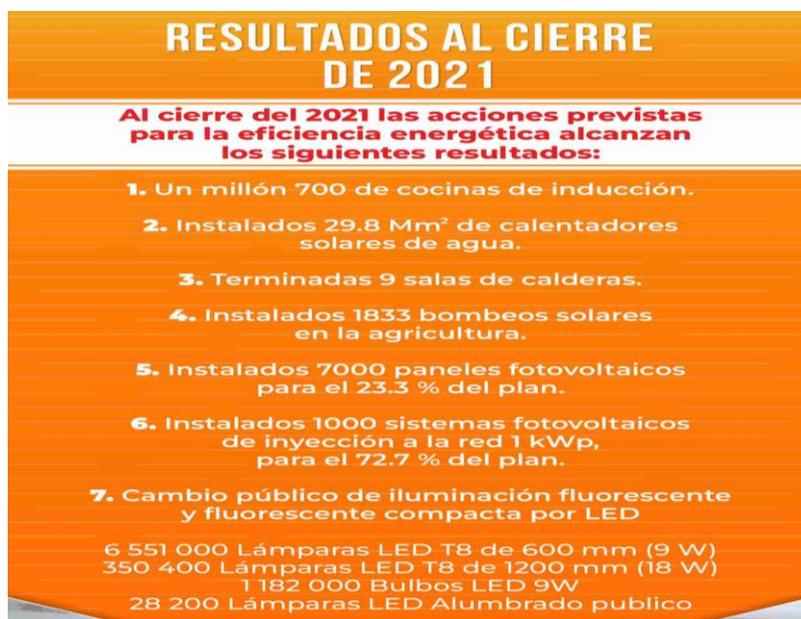


Figura 1.8 Resultados de las acciones previstas para la eficiencia energética. Fuente: (Osa, 2022)

Cuba sumó cinco parques fotovoltaicos con una potencia de generación total de 60,3 MW de energía eléctrica en 2020, tres de los cuales se ubican en la Zona Especial de Desarrollo Mariel, el principal enclave para la inversión extranjera en la Isla.

En el país caribeño se han instalado hasta el momento 227 MW a partir de sistemas fotovoltaicos conectados al sistema eléctrico, dijo este martes el director de Generación con Fuentes Renovables de Energía de la Unión Eléctrica, Ovel Concepción, en el programa televisivo Mesa Redonda, citado por medios oficiales.

Con una inversión superior a los 250 millones de dólares, este programa alcanza una generación eléctrica 340 000 MWh anualmente, lo que equivale a 88 400 toneladas de combustible ahorrado.

Según el directivo, la instalación de esa tecnología ha ayudado a dejar de emitir alrededor de 285 600 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera. Los sistemas de generación eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos también permiten la electrificación de viviendas aisladas en zonas rurales de difícil acceso. (Osa, 2022)

1.3.1. Ventajas y desventajas de las instalaciones fotovoltaicas.

Se recomienda hacer una valoración de qué cantidad de potencia es la que conviene contratar, suponiendo siempre, que se disponga de la capacidad de pago inicial. No se obtiene el mismo beneficio contratando 2 kW si tu consumo mensual es de 450 kW a que si tu consumo es de 750 kW. Por otra parte, tener claro si lo que se pretende es ahorrar dinero, o sea, consumir la misma energía y pagar menos, o consumir más energía sin incrementar tus gastos. Como desventajas fundamentales de la modalidad de contratación del servicio, está en que no cuentas con respaldo de energía cuando ocurren afectaciones al servicio, lo cual puede ser posible haciendo la inversión propia y estar claros que no eres propietario de la inversión, aun cuando lo hagas por 20 años, que es la vida útil promedio de estas instalaciones. (Cubadebate, 2022)

Razones que hacen viable la energía fotovoltaica:

Tiene un coste menor

Se conoce que la factura de la energía eléctrica no ha hecho más que subir últimamente. Esto ha provocado un notable interés en la energía solar. Es cierto que su instalación tiene un coste, pero ayuda a reducir de forma sustancial el importe de la factura energética, por lo que la inversión realizada se puede amortizar en pocos años y después disfrutaras de energía totalmente gratuita y limpia.

Reduce la huella de CO₂

La huella de CO₂ o huella ambiental es el conjunto de gases de efecto invernadero que produce una empresa o un hogar. En el caso de las viviendas particulares, la huella de CO₂ es alta debido al consumo elevado de gas y energía eléctrica. Si se opta por instalar placas solares la dependencia de la energía eléctrica es mucho menor. Se trata de una energía más limpia, lo que se traduce en que la casa con placas solares es una casa menos contaminante. La energía solar es una energía renovable que no emite gases de efecto invernadero.

El mantenimiento es sencillo y barato

Las placas fotovoltaicas pueden parecer algo complejo, pero lo cierto es que son elementos cuyo mantenimiento es realmente sencillo. En la mayoría de los casos basta con hacer una limpieza de la superficie para garantizar una buena absorción de la energía solar y comprobar que las conexiones eléctricas y cableado están en perfecto estado.

La fabricación de las placas es sostenible

No solo la energía que se obtiene con este sistema es renovable y sostenible, también la fabricación de las placas lo es. Los paneles fotovoltaicos se elaboran con silicio, que es el segundo material más abundante en nuestro planeta después del oxígeno. Esto implica que su obtención es sencilla y barata, reduciendo con ello la contaminación y haciendo que los precios de las placas sean asequibles.

El precio de instalación se ha reducido

Cada vivienda tiene sus propias necesidades energéticas, no es lo mismo un piso en el que vive una persona sola que una vivienda unifamiliar en la que conviven cinco personas. Por eso, el precio de la instalación será diferente en cada caso. Ya hemos visto antes que gracias a lo que se ahorra en la factura de la luz lo invertido en energía fotovoltaica se amortiza pronto. Pero también hay que tener en cuenta que en la última década el precio de las instalaciones ha bajado de forma notable, por lo que ahora es mucho más asequible.

Se puede compensar la energía excedente

Con la aprobación del nuevo real decreto, los excedentes de energía eléctrica que genera la instalación durante las horas de máxima producción, se compensaran en tu factura de electricidad contra la energía que consumes en las horas en las que la instalación no funciona. Obteniendo un descuento equivalente en su factura eléctrica, lo que hace que la instalación sea aún más rentable.

Inconvenientes de la energía fotovoltaica:

Es una energía variable

La energía solar es inagotable, pero también es variable. La placa recibirá más o menos energía en función de la orientación de la vivienda y de la climatología. Si el día está nublado la producción energética cae notablemente, y puede coincidir con días en los que más demanda energética hay en las casas.

El espacio es una limitación

Si hay un motivo por el que este tipo de energía no es mayoritaria es porque está limitada por el espacio. Los paneles tienen unas dimensiones que hacen que solo se puedan instalar en tejados y azoteas con unas determinadas medidas.

No se aprovecha toda la energía solar

Es un campo en el que se está investigando mucho y se están consiguiendo mejoras, pero a día de hoy el rendimiento de los paneles solares está en torno al 20 %. Es decir, que de toda la energía solar que reciben solo pueden convertir en energía útil una cuarta parte.

No es posible desconectarse de la red eléctrica

Quizá instalando paneles de última generación en una vivienda con una buena orientación y que reciba gran cantidad de horas de luz cada día sería posible un abastecimiento de energía

solar que pudiera cubrir todas las necesidades de ese hogar con la instalación de baterías para acumular el excedente de producción. A día de hoy, una vivienda no puede funcionar solo con energía solar, por muy buena que sea su instalación. Esto implica que debe permanecer conectada a la red eléctrica sí o sí para tener energía en los momentos en los que los paneles no reciben radiación solar. Así que, aunque con las placas se reduce de forma notable la factura eléctrica, lo cierto es que hay que seguir pagando los costes fijos de acceso a la red eléctrica, peajes e impuestos. Aunque con la instalación de sistemas de almacenamiento con baterías, estos costes fijos también se pueden reducir. (Besun Energy, 2022)

1.4. Experiencias en el uso de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del SEN.

¿Qué es un Sistema solar Conectado a Red y cómo funciona?

Un sistema solar conectado a red es un sistema fotovoltaico que trabaja de manera conjunta a red eléctrica pública y la generación de energía de los paneles solares. Este sistema está compuesto por: Red eléctrica, Paneles Solares, Inversor de Red y un equipo de monitoreo. Por lo tanto, no necesita de baterías.

¿Qué hace un inversor de red? Además de transformar la corriente continua a alterna, permite priorizar de manera automática el uso de la energía fotovoltaica de los paneles solares. Como resultado, se reduce el consumo energético de la red pública. Durante las noches y en días de poco sol, el inversor permite la entrada de energía de la red eléctrica sin ninguna configuración necesaria. El uso de este sistema solar conectado a red puede ser residencial, comercial e industrial y su beneficio principal es el ahorro en costos energéticos y la reducción de emisión de dióxido de carbono. El único mantenimiento que un sistema conectado a red necesita es la limpieza de paneles de 3 a 6 veces al año. Cuentan con un tiempo de vida mayor a 20 años y su inversión se recupera a mediano plazo. Estos sistemas pueden alimentar motores e incluso cargas industriales. Su instalación es bastante sencilla y económica. Con este sistema podrás producir energía de manera eficiente y sostenible. Este año está planeada la aprobación del reglamento de Generación Distribuida. En definitiva, ello permitirá aprovechar la energía

generada excedente -es decir, la que tus paneles generaron y tú no utilizaste- como un crédito de energía a futuro. (NovumSolar, 2022)



Figura 1.9 Ejemplo de una instalación conectada a la red. Fuente: (Quintero, 2021)



Figura 1.10 Empresas que han contratado potencia solar fotovoltaica en Cuba. Fuente: (Cubadebate, 2022)

La empresa Antenas, de Villa Clara, es otra de las que hoy se unen a las fuentes renovables mediante esta vía. Según su director general, Ihosvany Orozco Muñoz, luego de estudiar los beneficios y para contribuir al desarrollo de las energías limpias en Cuba, decidieron contratar

45 kW de potencia por dos años. Esta cantidad, que equivale a 5 625 kWh mensuales, reporta para Antenas un ahorro aproximado de 1.23 CUP por kWh, logrando ahorrarse más de 167 000 CUP en los dos años contratados. Dicho monto resulta beneficioso para los indicadores de eficiencia de la empresa y sus trabajadores, resalta el directivo. (Cubadebate, 2022)

1.5 Resoluciones nacionales encaminadas a promover y facilitar la inversión en medios de fuentes de energía renovable.

El esquema energético cubano está basado en energías fósiles, que se satisface fundamentalmente en inversiones en el extranjero para la compra de petróleo crudo destinado generalmente a la refinación en Cuba para la obtención de diferentes subproductos tales como gasolina, nafta, querosén y otros.

La adquisición de este portador energético en el extranjero lleva a la erogación de grandes sumas de dinero que en la actualidad son pagadas fundamentalmente con la prestación de servicios técnicos de personal de alta calificación en sectores como la medicina, la ingeniería de diversas ramas, el deporte en sus más diversas manifestaciones y el sector turístico nacional. Lo antes expuesto ha obligado a la dirección política y de gobierno del país a tomar medidas para la implementación de tecnologías de fuentes renovables de energía en sus más diversas ramas en los sectores estatales y de uso privado, para ello han sido dictadas regulaciones que norman beneficios económicos a las instituciones con posibilidades de uso de las diversas tecnologías de fuentes renovables de energía para satisfacer necesidades propias o de uso social, ejemplo de ellas son:

Resolución No. 123 del Ministerio de Energía y Minas, del primer día del mes de noviembre de 2019, "Establece los requisitos a cumplir, en el desarrollo de las fuentes renovables, por organizaciones superiores de dirección empresarial, sistemas empresariales de administraciones provinciales y municipales, y entidades presupuestadas.

Resolución No. 124 del Ministerio de Energía y Minas, del primer día del mes de noviembre de 2019 “Regulaciones para elevar la gestión, eficiencia y conservación energética”, así como el control de los sistemas de gestión de la energía en entidades grandes consumidoras de energía. Es de aplicación a personas jurídicas estatales y no estatales, sociedades mercantiles de capital 100% cubano y las modalidades de inversión extranjera.

Resolución No. 141 del MINCIN, del primer día del mes de noviembre de 2019 “Procedimiento para la comercialización de equipos que utilicen fuentes renovables y para el uso eficiente de la energía”

Instrucción No. 6/2019 del Banco Central de Cuba, del primer día del mes de noviembre de dos mil diecinueve, instruye a los bancos comerciales el otorgamiento de créditos a personas naturales para adquirir equipos que utilizan fuentes renovables de energía (calentadores solares y sistemas solares fotovoltaicos). Los créditos se otorgan en pesos cubanos hasta el 100% del valor de los equipos. El importe y el plazo de amortización del crédito responden al análisis de riesgo que realice el banco a partir de la capacidad de pago del solicitante.

Además, dispone que todas las personas jurídicas están en la obligación de contar con un programa de desarrollo de las fuentes renovables y el uso racional de la energía, “que hasta ahora no estaba plasmado, con independencia de que en el Plan de la Economía se concebían acciones en este tema, y de los programas nacionales de desarrollo de las fuentes renovables. Pero no había un instrumento jurídico que permitiera la exigencia, a las entidades, de contar con esos programas y el diagnóstico y el proceso inversionista que requieren”.

Asimismo, se establece la disposición de la UNE, como entidad principal generadora en el país, para trabajar en la eficiencia de sus plantas y en la preparación del Sistema Eléctrico Nacional en función de asimilar las tecnologías de fuentes renovables de energía y eficiencia energética que forman parte del programa de desarrollo de ese grupo empresarial.

En ello se incluye el aprovechamiento óptimo de las ventajas de la generación distribuida hoy en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN); el incremento de la cogeneración, considerando la generación simultánea de energía eléctrica y calor; la adecuación del SEN con las condiciones

para la introducción de las fuentes renovables de energía, y la elevación de la eficiencia energética en la quema de combustibles fósiles, ya sea crudo cubano u otro.

El Decreto Ley No. 345 “Del Desarrollo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía “, de 23 de marzo de 2017 declara como un objetivo de la industria nacional la producción de equipos, medios y piezas para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y los destinados a elevar la eficiencia energética. Además, dispone que la Unión Eléctrica (UNE) es el ente encargado de comprar toda la energía generada por productores independientes, tanto del sector residencial como del estatal y no pertenecientes al sistema de la UNE.

Para la formación de los precios de compra, se tiene en cuenta fundamentalmente el costo evitado en la generación. Se definen de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Finanzas y Precios, se explicó en la conferencia de prensa en la cual se informó sobre la nueva norma jurídica.

En el caso de las empresas estatales que instalen estas tecnologías y se conviertan en generadoras a partir de sus excedentes, podrían pagar con esos beneficios y los costos evitados el financiamiento recibido.

Si es el caso de un gran consumidor, y le resulta rentable, una vez hecha la instalación por entidades del Grupo de la Electrónica, y que se haga el contrato para el mantenimiento del sistema y este comience a generar, existen normas del Ministerio de Finanzas y Precios vigentes para que el excedente de esa producción de electricidad pueda ser vendido a la Unión Eléctrica.

La Unión Eléctrica, como parte de los incentivos previstos en esta política, está en la obligación de comprar toda la energía que se produzca con fuentes renovables sin importar el productor (un consumidor del sector residencial, un inversionista extranjero, una empresa, una cooperativa, un productor independiente) en un precio definido por el Ministerio de Finanzas y Precios.

La UNE sería la encargada de colocar un metro contador que permita discriminar qué consume el productor y qué excedente produjo para entregar a esa red.

El Decreto No.327, “Reglamento del Proceso Inversionista”, de 7 octubre de 2014, en la disposición final tercera, encarga a los jefes de los organismos de la Administración Central del Estado con funciones rectoras, de regular la forma para otorgar los permisos requeridos, que, de conformidad con la condición de órgano de consulta permanente, se define en el artículo 77.2 del propio texto legal, siendo necesario establecer el procedimiento que garantice el cumplimiento de esos fines.

A tenor del antes mencionado Decreto No.327, se hace necesario actualizar la Resolución 126, de 13 de julio de 2007, de la Ministra de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente que establece el procedimiento para la evaluación de los estudios de factibilidad de las inversiones vinculadas a las esferas de la ciencia, la tecnología y el medio ambiente, que originó la no aplicación de la Resolución No. 13, de 2 de marzo de 1998, de la propia Ministra, mediante la cual se establecieron los requisitos básicos para la fundamentación, evaluación y dictamen de la transferencia de tecnología, asociada con los proyectos de inversión nominales propuestos en los estudios de factibilidad.

1.6. Conclusiones parciales.

- La tendencia a la ubicación de los paneles en la cubierta de los edificios se incrementa, ya que no siempre se cuenta con los terrenos para su ubicación.
- 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.
- La literatura reporta que los tres principales productores de paneles solares a nivel mundial son: Jinko Solar, Trina Solar y Canadian Solar, donde Cuba ha hecho utilización de los paneles de la marca Jinko o emplea en mayor grado el DSM 250-380 de producción nacional.
- Cuba asegura en su marco legal resoluciones que facilitan la adquisición y montaje de tecnologías de fuentes renovables de energía. Ejemplo de ello son las Resoluciones No.224/14 y la No.60/19.

Capítulo 2: Caracterización constructiva y energética, Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico para del taller automotriz y fregado de la sucursal Transtur, Cienfuegos.

Base, Transtur, Cienfuegos.

La sucursal Transtur, Cienfuegos, creada 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.



Figura 2.1 Vista satelital del Taller automotriz y fregado de la Base Transtur, Sucursal, Cienfuegos. Fuente: (elaboración propia).

2.1 Características constructivas y energéticas de la nave del taller automotriz y fregado

La base de la Sucursal Transtur Cienfuegos, cuenta con un solo metro contador para las oficinas, y la nave del taller automotriz donde van ubicados los sistemas fotovoltaicos, por lo que no podemos conocer el consumo energético por meses o por años de la nave donde van ubicados los paneles fotovoltaicos.

En la tabla 2.1 se refleja el consumo de las naves del Taller Automotriz y fregado de la Base Transtur, Sucursal, Cienfuegos según las cargas instaladas en ellas.

Tabla 2.1 Consumo de la nave del Taller Automotriz y fregado. Fuente (elaboración propia)

Instalación: Base Sucursal							
No	Area	Consumidor	Cantidad	Consumo (kWh) Unidad	Horas de trabajo/día	días/mes	Consumo mes (kW)
1	Taller	Compresor de Aire	1	5.5	1	26	143
3	Taller	Elevador de 2 Columnas	1	2.2	0.17	26	9.724
4	Taller	Bomba de alta presión para Fregar	1	2.2	8	26	457.6
5	Taller	Aspiradora mod4AA0300	1	1.5	1	26	39
6	Taller	Cargador Arrancador 12/24V DIGIT-MATIC	1	3	5	26	390
7	Taller	Desmontador de Neumáticos Ligeros	1	0.55	0.33	10	1.815
8	Taller	Desmontador de Neumáticos Pesados	1	2.94	0.5	14	20.58
14	Base	Iluminación	8	0.018	8	26	29.952
19	Taller	Cepillo Fregador	1	2.2	6	26	343.2
						Subtotal	1434.871

En la tabla 2.2 se muestran las principales dimensiones de la nave del Taller automotriz de la Base Transtur, Sucursal, Cienfuegos, además se tiene en cuenta la inclinación de los techos y orientación cardinal.

Tabla 2.2 - Dimensión de la Nave. Taller automotriz

Nave #	Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	At (m ²) de las cubiertas del techo	Ángulo Superficie (°)	Orientación Cardinal
1	Taller automotriz y fregado	25	5,2	130	20	SUR

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

Las coordenadas geográficas y datos meteorológicos del lugar están dados en la tabla 2.3 (RETScreen Plus. Minister of Natural Resources Canada, 2013)

Tabla 2.3. Datos meteorológicos de la región donde está ubicada la empresa.

N°	Magnitud	Valor	Unidades
1	Latitud	22,2	°N
2	Longitud	- 80,5	°E
3	Elevación	58	M
4	Temperatura diseño de calefacción	16,2	°C
5	Temperatura diseño de aire acondicionado.	30,6	°C
6	Amplitud de la temperatura del suelo	10,9	°C
Valores medios anuales			
7	Temperatura del aire	24,5	°C
8	Humedad Relativa	76,7	%
9	Radiación solar diaria	5,06	kWh/m ² /día
10	Presión atmosférica	101,3	kPa.
11	Velocidad del viento	4,1	m/s

12	Temperatura del suelo	25,3	°C
13	Días Grado de calentamiento	0	°C-d
14	Días Grado de enfriamiento	5 290	°C-d anual

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.



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



Figura 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, donde está ubicada la Base Transtur, Sucursal, Cienfuegos. La radiación promedio diaria de la provincia de Cienfuegos es de 6.14 kWh/m²día.

Se puede concluir que la radiación solar que incide sobre la provincia de Cienfuegos se encuentra en el rango de 5,5 a 6,0 kWh/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.

En el caso estudiado, la nave del Taller automotriz, su cubierta está compuesta por dos aguas, las cuales tienen por supuesto diferente orientación (norte y sur). Se utilizará solo el ala Sur, pues es la orientación cardinal más efectiva para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Tabla 2.4. 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 provincia 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

2.3 Cálculo del sistema solar fotovoltaico

2.3.1 Cálculo del número máximo teórico de paneles fotovoltaicos:

Es necesario seleccionar el módulo fotovoltaico para la instalación del sistema, se selecciona el DSM-380, (Ver anexo #1) 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 ±3%, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², temperatura de los módulos

$T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 de la nave del taller se colocarán de forma tal que el ancho del panel (0,992 m) tenga el mismo sentido del ancho de la edificación (5,20 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 (5,20 m menos 0,5 m, 0,25 m por cada lado , 4,7), 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:

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

$$\text{número máximo de filas de paneles} = \frac{4,7}{0,992} = 4,7$$

Conocida la longitud de la edificación (25 m menos 1 m, 0,50 por cada lado, 24), 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:

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

$$\text{número máximo de paneles por fila} = \frac{24}{1,968} = 12,19$$

Obtenido el número máximo de filas (5) y de columnas (12) que se pueden instalar en el área útil del parqueo, se obtiene un valor de 60 paneles fotovoltaicos.

2.3.2 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): 60.

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.

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

$$E_g = 60 * 0,380 * 5,5 * 0,753 = 94,42 \text{ kWh/día}$$

Tabla 2.5 Resultados de la generación del sistema fotovoltaico.

Energía generada	94,42	kWh/día
Energía generada	2,83	MWh/mes
Energía generada	33,99	MWh/año

Realizado el cálculo preliminar se obtiene que el valor total generado por el SSFV es de 113,31 kWh/día por lo que el SSFV satisface totalmente la demanda necesaria. (Tabla 2.6)

Tabla 2.6 Porcentaje de energía satisfecha. Fuente:(Elaboración propia)

Energía generada SSFV (MWh/mes)	Consumo máximo registrado (MWh/mes)	% de energía satisfecha
2,83	1,4	202

2.3.3 La potencia instalada:

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

$$N = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) = 60 * \left(\frac{380}{1000} \right) = 22,80 \text{ kWp}$$

Por otra parte, tomando como referencia la información dada por el Dr. Daniel Stolik (Stolik, Los costos FV, 2019) de que 1 kWp genera como promedio 1 360 kWh al año, los 60 paneles generarán:

$$22,80 \text{ kWp} * 1 360 \text{ kWh/kWp. año} = 31 008 \text{ kWh/año} \quad (1 033,6 \text{ kWh/mes})$$

2.3.4 Selección del inversor.

El Sunny Tripower es el inversor ideal para plantas comerciales e industriales a gran escala. Ofrece altos rendimientos con una eficiencia del 98,4%, pero también ofrece una enorme flexibilidad de diseño y compatibilidad con muchos módulos fotovoltaicos gracias a sus capacidades multicadena y su amplio rango de voltaje de entrada. (Ver anexo #2)

El futuro es ahora: el Sunny Tripower viene con funciones de gestión de red de última generación como Integrated Plant Control, que permite al inversor regular la potencia reactiva en el punto de acoplamiento común. Ya no se necesitan controladores separados, lo que reduce los costos del sistema. Otra característica nueva: provisión de energía reactiva bajo demanda.

2.3.5 Cálculo del número de inversores:

La cantidad de inversores que hacen falta para la instalación se determina mediante la ecuación 6: (Marrero J. B., 2018)

Datos:

PI: potencia instalada: 22,80 kW.

P_{inversor}: Potencia del inversor: 25 kW.

$$\text{Número de inversores} = \frac{PI(kWp)}{P_{inversor}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{Número de inversores} = \frac{22,80}{25} = 0,912$$

Se normaliza el valor al inmediato superior, por lo que se necesitara 1 inversor de 25 kW de potencia para realizar la instalación.

Conclusiones Parciales

1. Se selecciona para colocar los paneles solares fotovoltaicos el área del techo del taller automotriz con orientación hacia el sur.
2. La radiación solar recibida por los paneles en las áreas seleccionadas es de 5,5 kWh/m² /día.
3. El número máximo teórico de paneles es de 60 del tipo DSM-380 que garantiza una potencia instalada de 22,8 kWp.
4. Se necesita un inversor de 25 kWp trifásico sin transformador listado por UL para un voltaje máximo del sistema de hasta 1000 V.

5. El balance y los resultados principales para el año es de comportamiento normal, donde la media de la energía generada es de 94,42 MWh con valor máximo de 2,83 MWh en el mes de mayo, obteniéndose una generación de 33,99 MWh al año.
6. El SSFV es capaz de generar 2,83 MWh/mes, lo cual satisface el 202 % de la máxima demanda del Taller automotriz y fregado.

Capítulo 3: Zonas de altas concentración de tensiones en las estructuras ante la acción de las cargas distribuida de los paneles fotovoltaicos. Análisis económico del anteproyecto técnico del sistema fotovoltaico propuesto.

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

En la nave del taller automotriz de la base de la sucursal TRANSTUR en Cienfuegos (ANEXO #3) se proponen montar 60 paneles solares en su techo. Dicha nave está construida por vigas tipo C, Vigas tipo I y por columnas de tubos circulares huecos como se muestra en la tabla 3.1 y en la figura 3.1.

Tabla 3.1: Distribución de las vigas dentro de la estructura. Fuente: Elaboración Propia.

Tipo de material	Cantidad
Total de Vigas	40
Vigas tipo C	10
Vigas tipo I	18
Tubos circulares huecos	12

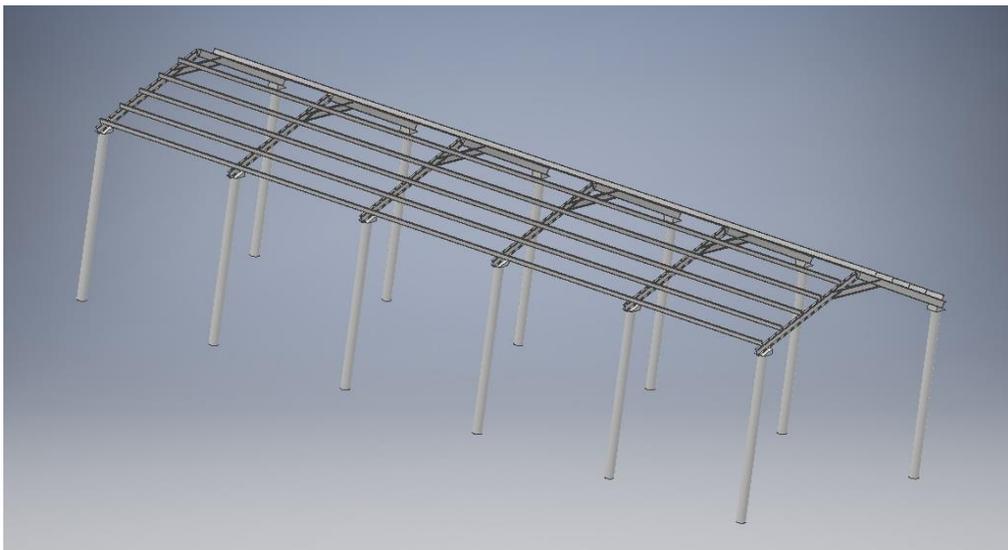


Figura 3.1: Vista isométrica de la nave del taller automotriz de la base de la sucursal TRANSTUR en Cienfuegos sin las planchas del techo. Fuente: Elaboración Propia.

Para comprobar si el techo de la nave resiste el peso de todos los paneles solares propuestos, se utiliza el software Inventor Profesional 2018. Dicho software tiene la herramienta stress analysis que permite simular las tensiones, deformaciones y factores de seguridad de los elementos que soportan las cargas debido al peso de los paneles.

Todos los materiales de la estructura son Acero al carbono exceptuando la cubierta ligera metálica del techo, cuyas propiedades mecánicas se recogen en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del acero al carbón. Fuentes: Elaboración Propia

Name	Steel, Carbon	
General	Mass Density	7,85 g/cm ³
	Yield Strength	350 MPa
	Ultimate Tensile Strength	420 MPa
	Stress	
Stress	Young's Modulus	200 GPa
	Poisson's Ratio	0,29 ul
	Shear Modulus	77,5194 GPa

Para que exista mayor resistencia en la estructura las patas de los paneles deben ser atornillados directamente en las vigas C por tornillos para evitar cargas adicionales. La fuerza ejercida por el peso de todos los paneles es de 2374,020 N en cada viga tipo C como se muestra en la figura 3.2

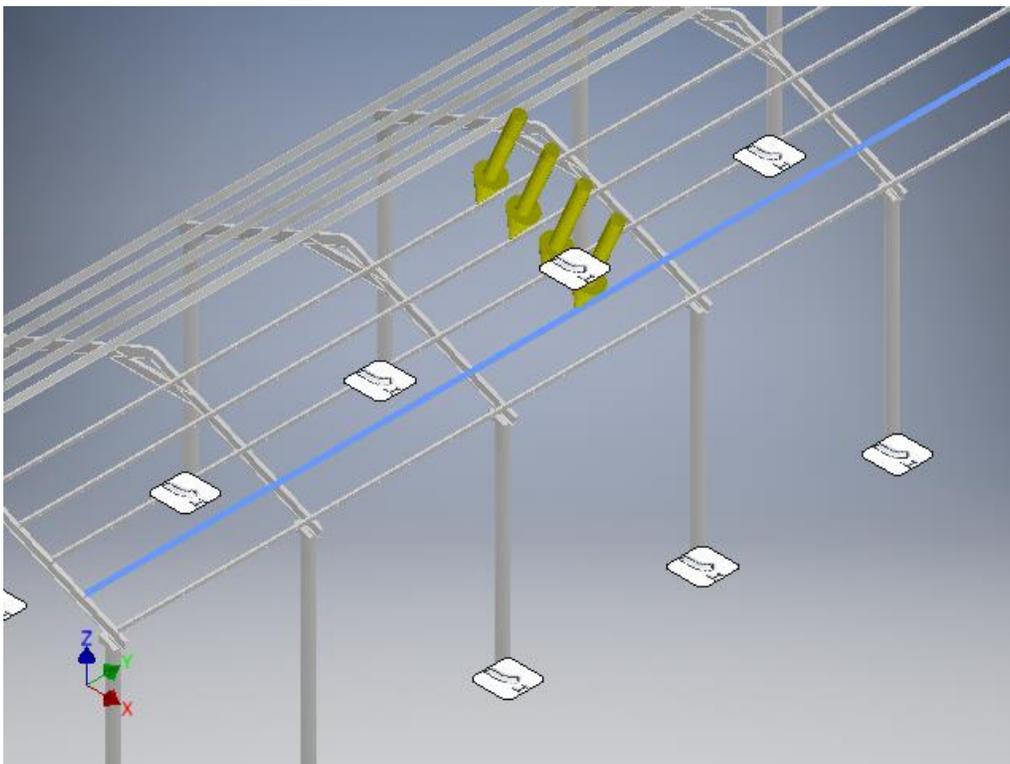


Figura 3.2: Fuerza de 2374,020 N debido al peso de todos los paneles solares atornillados en cada viga tipo C. Fuente: Elaboración Propia.

Se supone que las bases de las columnas cilíndricas de la nave están empotradas en el piso y se simulan las tensiones resultantes a partir de las cargas del sistema en el software Inventor (Figura 3.3):

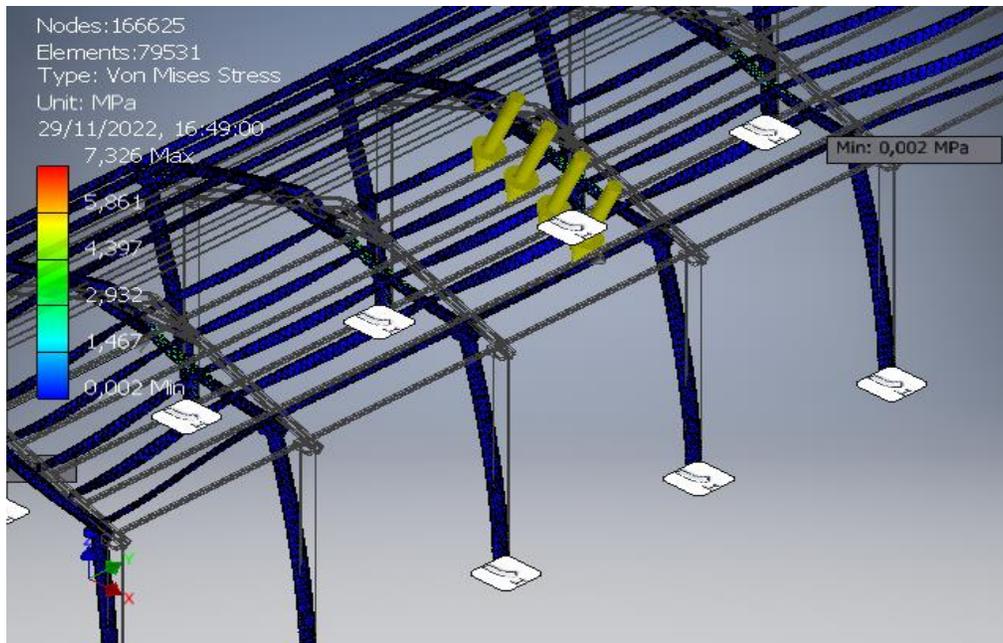


Figura 3.3: Tensiones Von Misses de la nave del taller automotriz. Fuente: Elaboración Propia.

La simulación muestra que la máxima tensión que soporta la nave es de 7,326 MPa en las zonas donde se entrecruzan las vigas tipo C y tipo I. Debido a esto la nave soporta las cargas ya que su límite elástico es de 350 MPa.

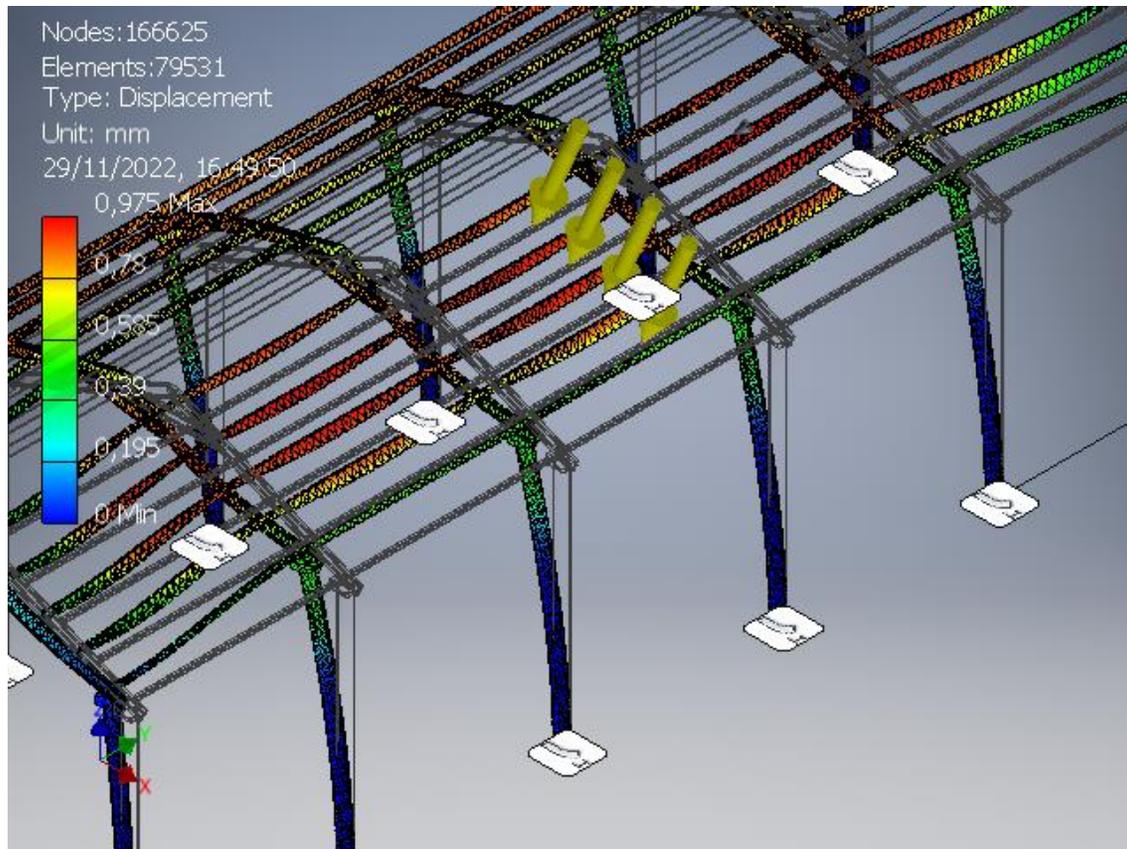


Figura 3.4: Desplazamientos de la nave del taller automotriz. Fuente: Elaboración Propia.

Los desplazamientos máximos según la figura 3.4 son de 0.975 mm en la zona media de las vigas tipo C entre sus apoyos y por tanto no deforman considerablemente la estructura de la nave. También la simulación arroja un factor de seguridad mínimo de 12 (Figura 3.5) confirmando que la nave soporta fácilmente las cargas creadas por el peso de todos los paneles solares montados en el techo.

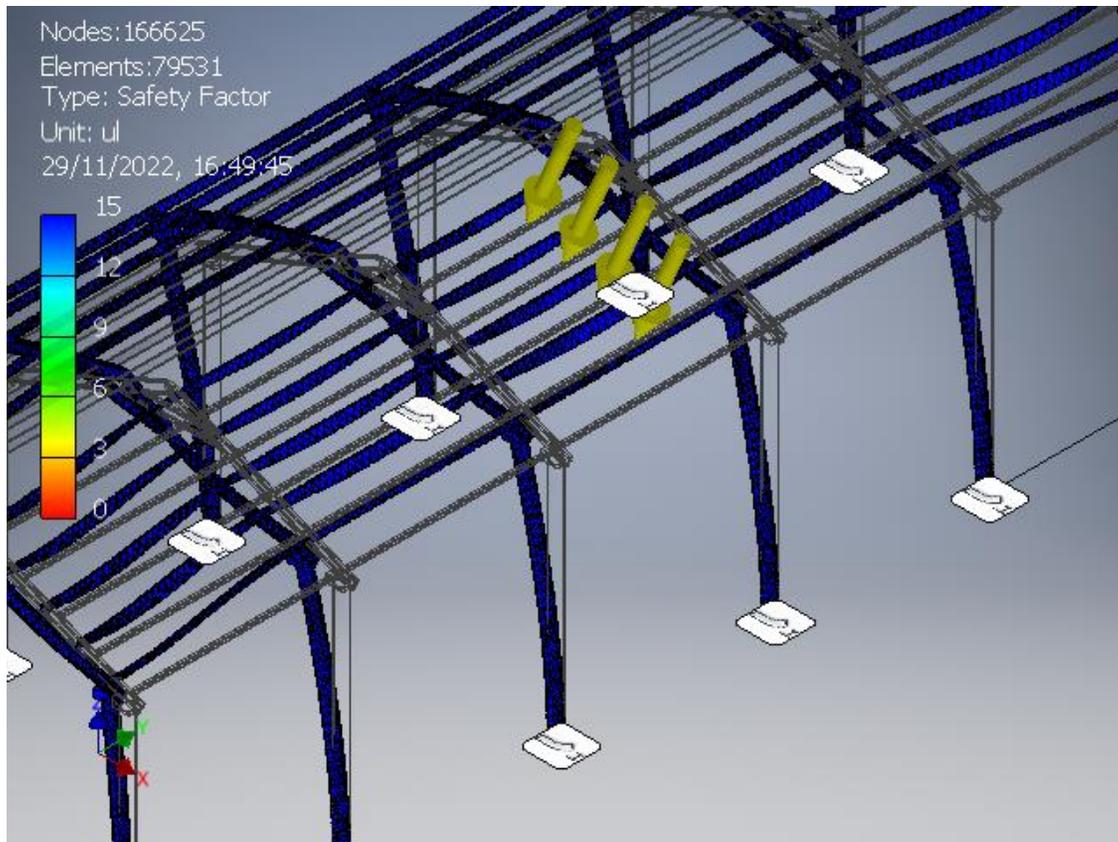


Figura 3.5: Factores de seguridad de la nave del taller automotriz. Fuente: Elaboración Propia.

La nave del taller automotriz de la sucursal TRANSTUR en Cienfuegos soporta el peso de 60 paneles solares instalados en su techo debido a que la simulación por el Software Inventor muestra que la tensión máxima soportada es de 7,326 Mpa y el factor de seguridad es de 12.

Evaluación económica.

Se realiza el análisis económico y medio ambiental de la instalación del sistema fotovoltaico en la nave del taller automotriz en la base Transtur, Cienfuegos, para conocer los beneficios que traerá consigo dicha instalación.

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; además de no tener 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 periodo de tiempo en que se recuperará la inversión y las ganancias que traerá consigo. Los valores de las tasas están dados en la Tabla 4 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 3.3: 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% como se muestra en la table 3.3

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:

$$C_{eEE\ SEN} = CGM * C_{uEE} = \frac{kWh}{año} * \frac{\$}{kWh} = \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

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

CuEE. - Costo unitario de energía eléctrica pagado al SEN en horario diurno. (\$/kWh).

La tarifa B1 eléctrica de acuerdo al Manual de consumidores (2021) para la empresa es de 3,68 \$/kWh.

$$C_{eEE\ SEN} = 33\ 990 \frac{kWh}{año} * 3,68 \frac{\$}{kWh} = 125\ 083 \frac{\$}{año} \quad \text{Ec. 8}$$

En la Tabla 3.4 se muestran los principales resultados obtenidos del análisis económico.

Tabla 3.4. Resultados obtenidos en el análisis económico. (elaboración propia)

Año	0	1	...	24	25
Depreciación (Dep), \$		22887.4		22887.4	22887.4
Flujo de caja (Fc), \$		88908.0203		88908.0203	88908.02025
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), \$		83988.6831		22680.7237	21425.7849
Flujo descontado acumulado (Fda), VPN, \$	-572185	-488196.317		558524.941	579950.7255

El siguiente gráfico de la figura 3.6 de 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.

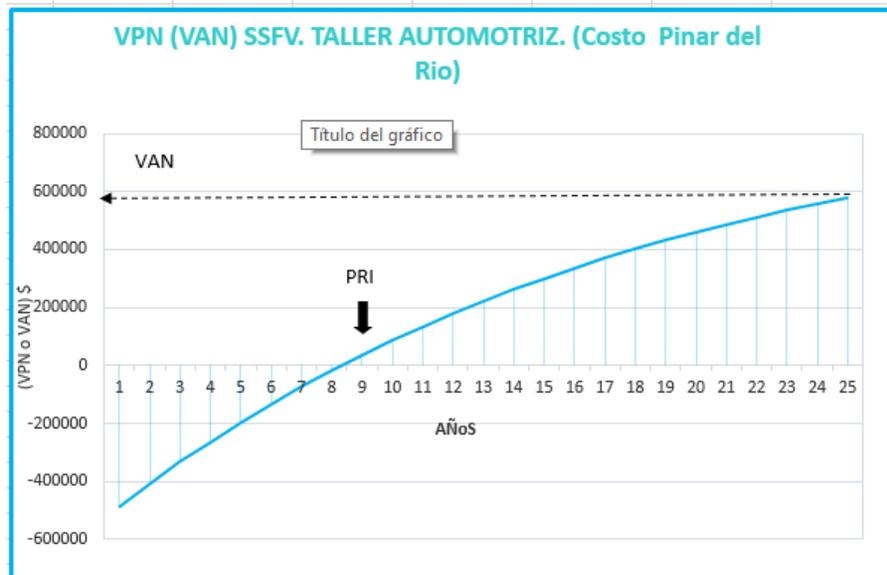


Figura 3.6. Fuente :(elaboración propia)

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:

$$\text{Combustible ahorrado} = (E \cdot g) / 1000 \quad \text{Ec.9}$$

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.

$$\text{Combustible ahorrado} = (33,99 * 0,236) / 1000 = 8 \text{ t/año}$$

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:

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (\text{Combustible ahorrado} * k) / \rho \quad \text{Ec.10}$$

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.

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (8 * 3,119) / (0,9781) = 24,4 \text{ t/año}$$

Utilizando la expresión se determina que la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera es de 24,4 t/año, lo que evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del sistema fotovoltaico.

Conclusiones Parciales

1. La nave del taller automotriz de la sucursal TRANSTUR en Cienfuegos soporta el peso de 60 paneles solares instalados en su techo debido a que la simulación por el Software

- Inventor muestra que la tensión máxima soportada es de 7,326 Mpa y el factor de seguridad es de 12.
2. 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.
 3. El período de recuperación de la inversión en el SSFV de la empresa es en 9 años; con una inversión de 572 185 \$ y un VPN de 579 950 \$ en un período de 25 años de servicios y una TIR de 5 %.
 4. Con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 8 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 24,4 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

Conclusiones generales

Del estudio realizado en este trabajo se pueden formular las conclusiones generales siguientes:

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 taller automotriz de la Base de la sucursal Transtur, Cienfuegos, la cual está integrada por un total de 60 paneles solares, un inversor y posee una generación eléctrica de 94,42 kWh/día.
3. El estudio de resistencia de la edificación a las cargas del SSFV muestra que puede ser colocado el sistema sobre la cubierta ya que la carga originada no compromete la vitalidad de la misma.

4. El SSFV queda instalado en un área de 130 m² de cubierta en el taller automotriz, con un total de 60 paneles fotovoltaicos del tipo DSM-380 Wp, el cual es capaz de generar 2,83 MWh/mes lo cual satisface el 202 % de la máxima demanda del taller.
5. El análisis económico muestra que resulta ventajosa la construcción de este sistema en el taller automotriz porque tiene un período de recuperación de la inversión de 9 años, una tasa interna de retorno de 5% y el valor presente neto alcanza una magnitud de 579 950 \$ para un período de vida de 25 años.
6. Con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 8 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 24,4 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

Recomendaciones

1. Desarrollar a escala piloto el anteproyecto del taller automotriz propuesto a fin de cuantificar las ventajas técnicas y económicas.
2. Sugerir a la Sucursal Transtur de Cienfuegos continuar los estudios de SSFV en otras edificaciones.
3. De ser favorables los resultados sugerir a la entidad nacional, OSDE, la extensión a nivel nacional.

Bibliografía

- Administración Corporativa. (2022). *Suministros del sol*. Panel solar Jinko Tiger Pro 530W Mono Half Cell - JKM530M-72HL4V <https://suministrosdelsol.com/es/paneles-solares/1015-junko-tiger-pro-530w-JKM530M-7TL4-V.html>
- Administración Smart Spain. (2022). Tipos de instalaciones fotovoltaicas. <http://smartpain.es/tipos-instalaciones-fotovoltaicas/>
- Administración Solarpedia. (2022). Descubre 7 formas de proteger los paneles solares. <http://www.solarpedia.info/paneles-solares/7-formas-de-proteger-los-paneles-solares-del-granizo/>
- Anagnost, A., (2018). *Autodesk. Inventor Profesional. Análisis del coeficiente de Seguridad en Cienfuegos*.
- Banco Central de Cuba. (2018). *Circular 1/2017 del director general de tesorería*. La Habana, Cuba.
- Banco Central de Cuba. (2012). *Ley 113 artículo 97 de la Gaceta oficial No. 053*. La Habana, Cuba.
- Cánovas, R., (2022). *Besun Energy*. <https://besunenergu-como/energia-fotovoltaica-ventajas-y-desventajas/>
- Deshmukh Solar Energy. (2019). *Enfosolar, from Enfsolar*. <https://es.ensolar.com/pv/panel-datosheet/crystalline/35317>
- González Salmerón., R., (2021). *Cambio Energético. Fijación de paneles solares en cubiertas y tejados*. <https://www.cambioenergetico.com/blog/fijacion-de-paneles-solares-en-cubiertos-y-tejados>

- Marrero, J. B. (2018). *Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar la División Territorial COPEXTEL Cienfuegos*. (Tesis de Grado), Universidad de Cienfuegos.
- Pvtrin Installer Certification, (2011). *Catálogo de fallos comunes y prácticas inadecuadas en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. European Photovoltaic Industry Association.
- Rodríguez, D. G., (2014). *Propuesta de aprovechamiento de la Energía Solar*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), Facultad de Electromecánica, Holguín.
- Rodríguez Gámez, L. A. (2013). *Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos*. Instituto Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Electrónica, La Habana.
- UNESCO. (2003). *Curso de Entrenamiento en Energía Solar*. Puerto Ayora, Galápagos: UNESCO.
- Trading Economic. (2020). Cuba. Tasa de inflación. <https://es.tradingeconomics.com/cuba/inflation-cpi>.
- Stolik, D. D. (2018). *Los pronósticos FV renovable.cu*. doi: 2219-6919
- Stolik, D. C. (2019). *Los costos fotovoltaicos (FV)*. Renewable.Cu.doi:2219-6919.
- Sun Supply, Admin. (2021). Componentes de un sistema de energía. <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia>



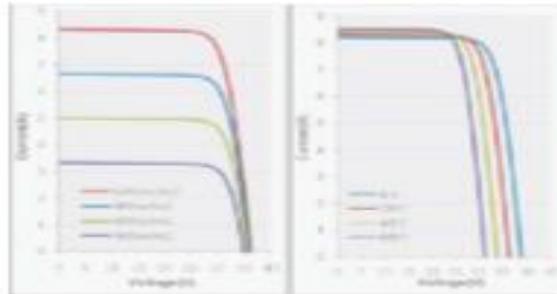
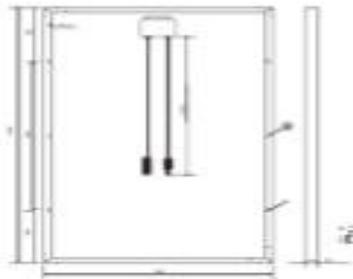
Anexos



Anexo # 1.



Especificaciones técnicas		
Celda	Celda Solar de Silicio Monocristalino PERC	
No. de celdas y conexiones	72 (6X12)	
Dimensiones del módulo	1958mm x 992mm x 40mm	
Cubierta frontal	Vidrio templado	
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado	
Peso	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.

Módulo fotovoltaico DSM-380

Anexo # 2



Technical Data	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Input (DC)		
Max. generator power	36000 Wp	45000 Wp
DC rated power	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3

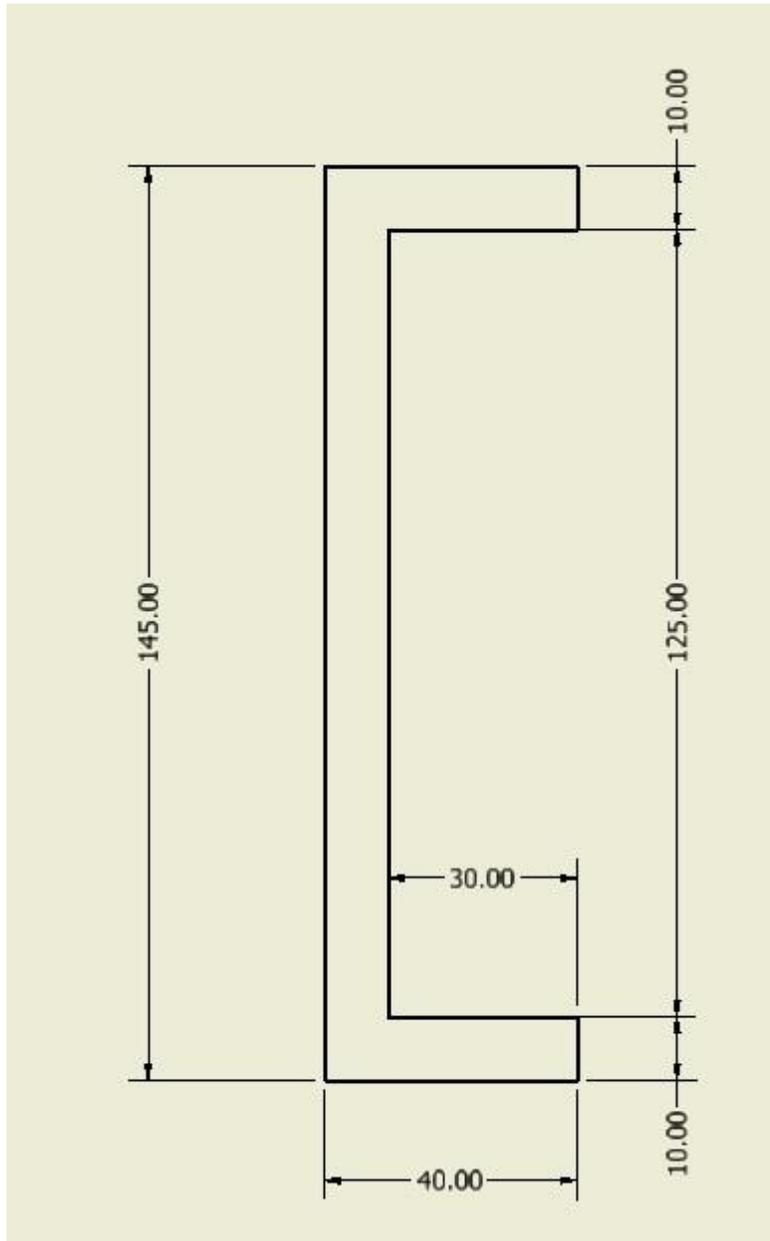
Inversor seleccionado. Características

Anexo #3



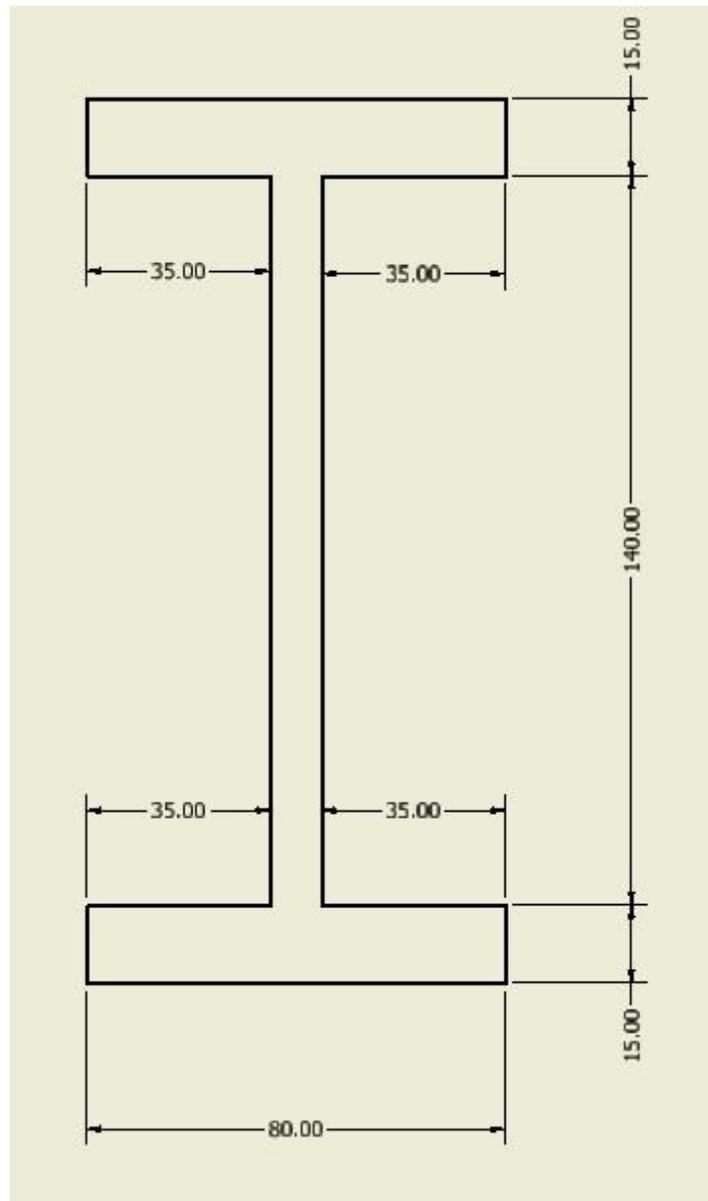
Nave del taller automotriz

Anexo #4



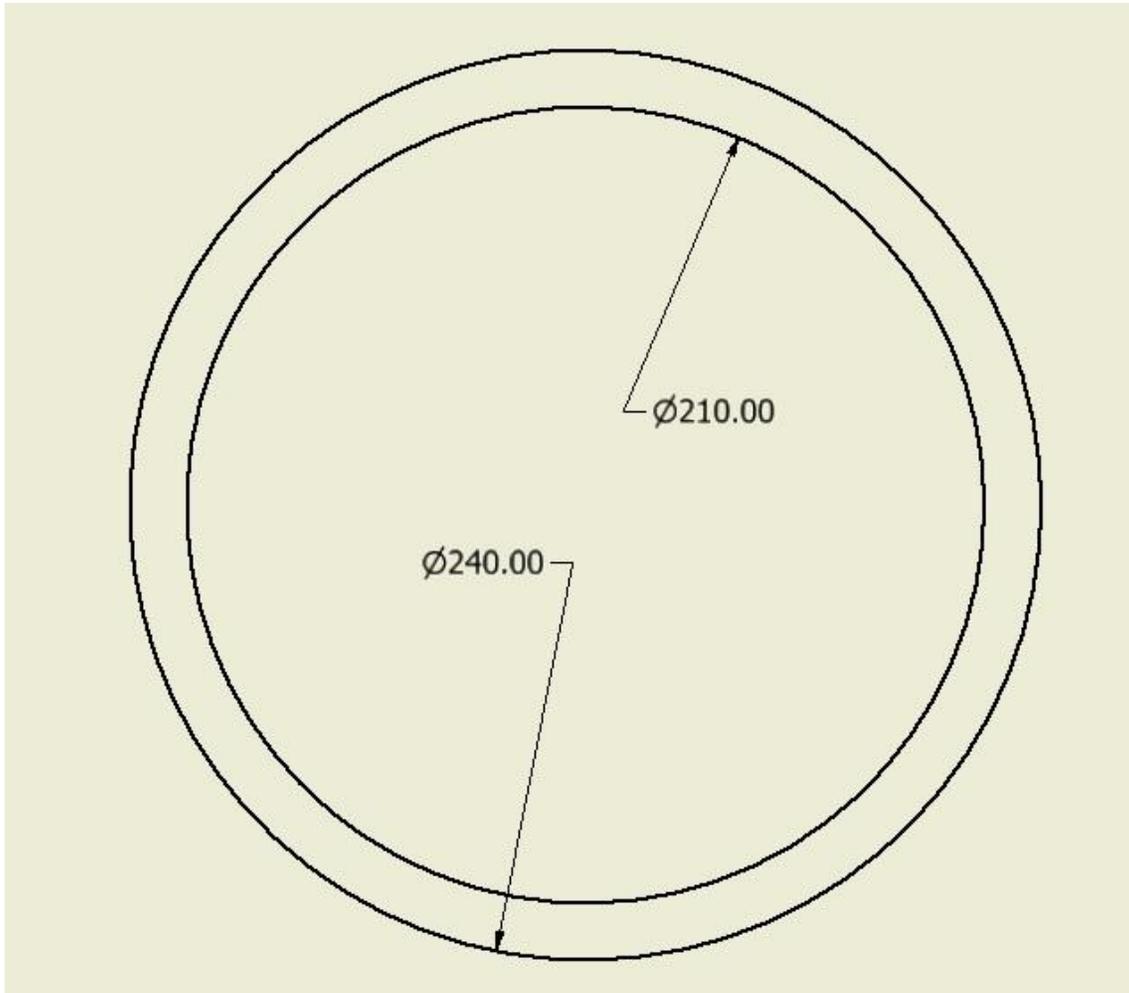
Viga tipo C

Anexo #5



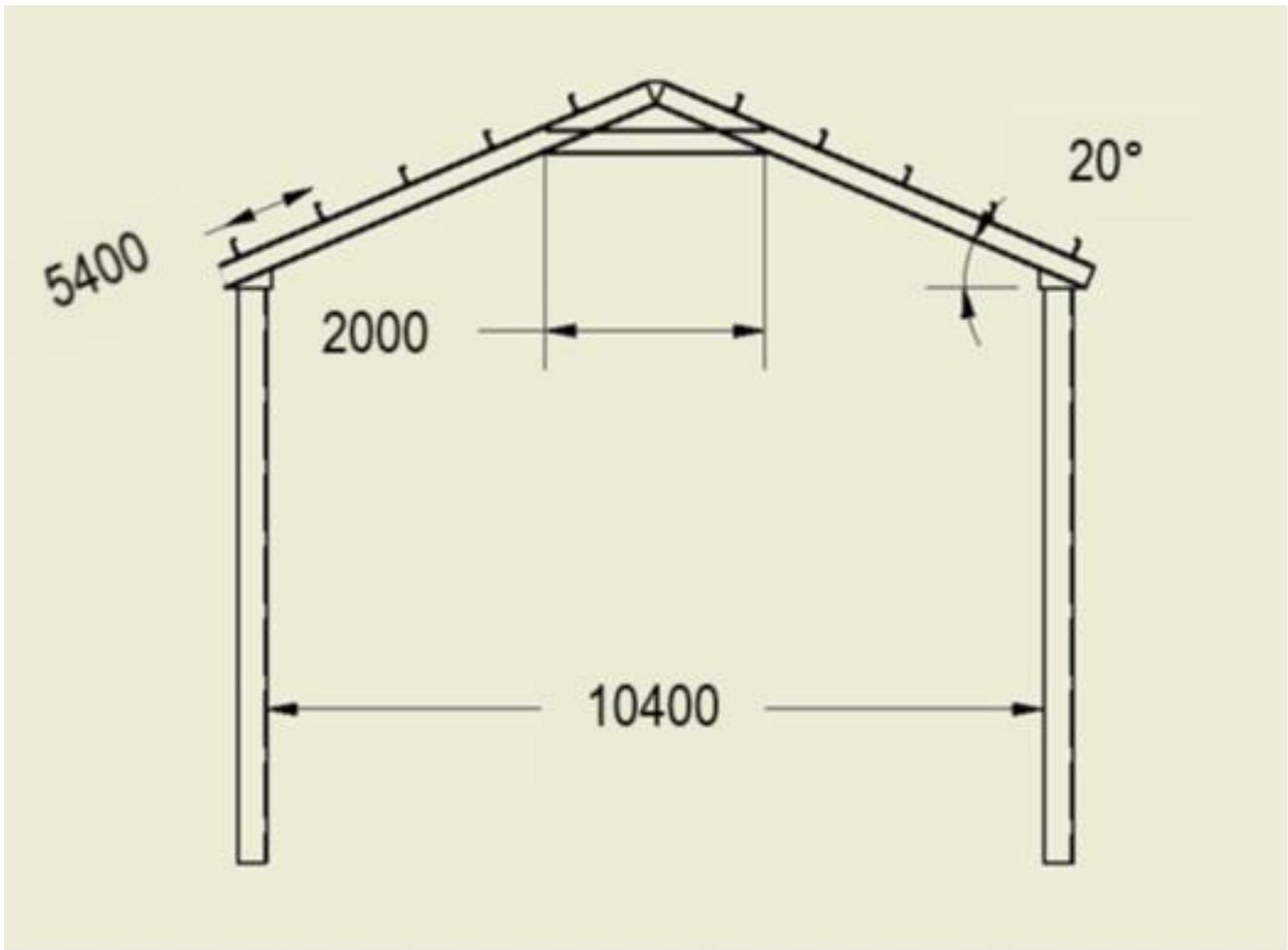
Viga tipo I

Anexo #6



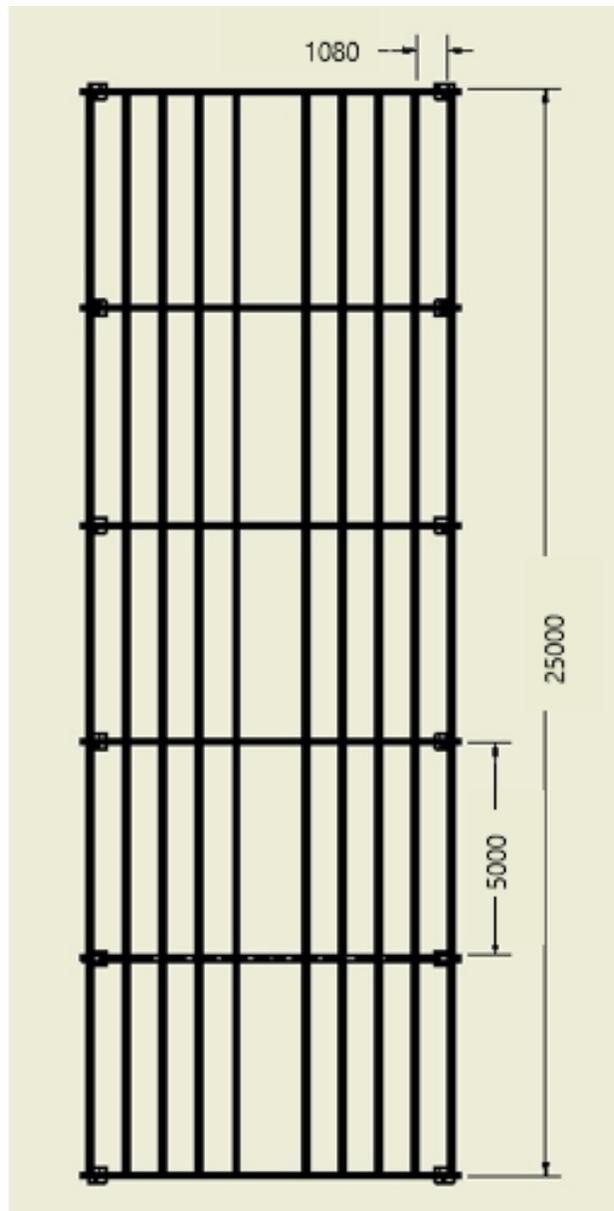
Tubos circulares

Anexo #7



Vista Lateral de la nave

Anexo #8

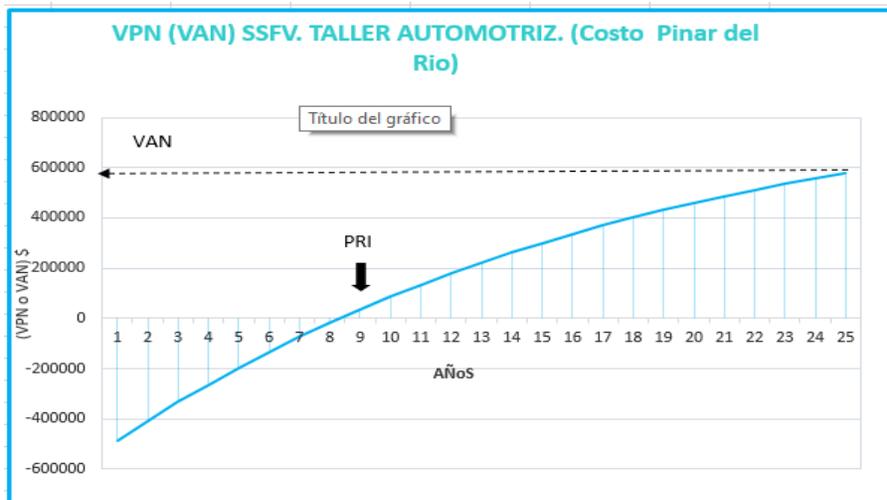


Vista Superior de la nave

Anexo #9

PROYECTO DE SSFV TALLER AUTOMOTRIZ, BASE TRANSTUR										
Taller automotriz										
N°	Datos iniciales	0	1	2	9	21	22	23	24	25
1	Ingresos (I), \$		125083	125083	125083	125083	125083	125083	125083	125083
2	Gastos (G), \$		625.415	625.415	625.415	625.415	625.415	625.415	625.415	625.415
3	Costo inversión (Ko)	-572185								
4	Tasa de descuento (r), %	572185	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5	5	5	5
6	Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3	3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25	25	25	25
Resultados										
9	Año	0	1	2	9	21	22	23	24	25
10	Depreciación (Dep), \$		22887.4	22887.4	22887.4	22887.4	22887.4	22887.4	22887.4	22887.4
11	Flujo de caja (Fc), \$		88908.0203	88908.0203	88908.0203	88908.0203	88908.0203	88908.0203	88908.0203	88908.0203
12	Tasa de descuento real (R)		0.03	0.03	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	0.06	0.06
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0.94	0.89	0.60	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		83988.6831	79341.536	53267.146	26904.0346	25415.4173	24009.1661	22680.7237	21425.7849
16	Flujo descontado acumulado (Fda), VPN,	-572185	-488196.317	-408854.781	36317.7317	486419.633	511835.051	535844.217	558524.941	579950.7255

TIR	5%
-----	----



Resultados del análisis económico.

Anexo #10

A	B	C	D	E
Mes	E.elec,2021	Costo 2021	E.elec,2022	Costo 2022
	kWh/mes	\$	kWh/mes	\$
enero	2699	11312.88	3445	10231.97
febrero	3462	12634.4	3177	12463.19
marzo	3785	12666.68	3612	10861.76
abril	3985	13757.94	3681	11531.08
mayo	3476	13514.83	3679	11943.07
junio	4888	19017.04	4244	13570.05
julio	4044	13220.61	3595	12871.39
agosto	4783	15,646.62	3995	12384.5
septiembre	3410	12,687.63	2176	7941.44
octubre	3080	11456.08		
noviembre	3684	13458.99		
diciembre	2729	12789.56		
consumo anual y costo	44025	162163.26	31604	90927.06
costo unitario (\$/kWh)		3.68		3.69
promedio del costo unitario de los cuatro años (\$/kWh)	3.686717888			

Tarifa B1 eléctrica del kWh