

REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “Carlos Rafael Rodríguez”

FACULTAD DE INGENIERÍA



Trabajo de Diploma.

Título: Anteproyecto de sistema solar fotovoltaico. Nave Taller Automotriz.
Empresa MICALUM Cienfuegos.

Autor: Harold de la Cruz Carvajal.

Tutor: MsC.Ing. Francisco M. Pérez Díaz.

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.

Firma Vice Decano.

Firma del Tutor.

Nombre y Apellidos. Firma.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Pensamiento

**El adquirir conocimiento
es la mejor inversión
que se puede hacer.**

Abraham Lincoln

Dedicatoria

A mis padres por su apoyo incondicional durante todos mis años de estudio en especial en el proceso de mi formación académica.

A mi hermano Cristian, mi tía Zeida, mi amigo Javier y demás familiares que también formaron parte y contribuyeron a mi formación.

Agradecimientos

A mi tutor Francisco M. Pérez Díaz. por su paciencia y dedicación, su apoyo fue fundamental para la realización de este proyecto de grado. Gracias a sus consejos, su guía, entrega y por brindarme la oportunidad de ser su alumno. A todos los profesores que de una forma u otra han contribuido a mi formación durante estos 5 años. A mi familia por su dedicación, a todos muchas gracias. A todos mis compañeros de aula los cuales han sido de vital importancia para mí, sin ellos nada de esto hubiese sido posible.

Resumen.

En Cuba el sistema energético nacional se sustenta en la actualidad en el petróleo, constituye una prioridad para el Estado y la sociedad cubana poder diversificar la base energética del país. El vigente trabajo tiene como propósito el desarrollo del Anteproyecto de sistema solar Fotovoltaico en la nave Taller Automotriz, empresa MICALUM, Cienfuegos. Para su cumplimiento se analizaron las propiedades en general de la misma tales como: sector utilizable para montaje de módulos, localidad geográfica, datos meteorológicos del lugar y consumos por mes de electricidad. El desarrollo de exploración dio a conocer que es viable disponer un total de 80 paneles solares, en un sector de 192,72 m², lográndose conseguir una generación de 125,9 kWh/día, que debe satisfacer el 247 % de la demanda eléctrica de la nave Taller Automotriz y disminuir el pago de energía eléctrica en 166 792 \$/año. El análisis económico del anteproyecto mostro que la inversión se recupera en 9 años con una tasa interna de retorno del 5 % y el valor presente neto de 774 762,18 en un lapso de vida de 25 años, lo que hace atrayente la inversión. Con respecto al medio ambiente refleja que se deja de consumir 10,6 t/año de combustible y de emitir 33,8 t/año de CO₂ al medio ambiente.

Palabras Claves:

Sistema Solar Fotovoltaico

Energía eléctrica

Paneles solares

Summary

In Cuba, the national energy system is currently based on oil, it is a priority for the State and Cuban society to be able to diversify the country's energy base. The purpose of the current work is the development of the Preliminary Project of the Photovoltaic solar system in the Automotive Workshop warehouse, MICALUM company, Cienfuegos. For its compliance, its general properties were analyzed, such as: usable sector for module assembly, geographical location, meteorological data of the place and consumption per month of electricity. The exploration development revealed that it is viable to have a total of 80 solar panels, in a sector of 192,72 m², achieving a generation of 125,9 kWh/day, which must satisfy 247% of the electricity demand of the Automotive Workshop warehouse and reduce the payment of electricity by \$166,792/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 774 762,18 in a life span of 25 years, which makes investment attractive. Regarding the environment, it shows that 10,6 t/year of fuel is no longer consumed and 33,8 t/year of CO₂ is emitted into the environment.

Keywords:

Photovoltaic Solar System

Electric power

Solar panels

Resumen.	6
Introducción:	10
Capítulo 1. Estado actual y tendencias en el diseño, explotación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones.	13
1.1.- Estado actual y tendencias del uso de los sistemas solares fotovoltaicos.	13
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.	14
1.2.1.- Los mayores fabricantes de placas solares a nivel mundial.	14
1.2.2.- Paneles solares más eficientes en 2022:	15
1.2.3.- Instalaciones más usadas en Cuba:	17
1.3.- Sintetizar las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país. Principales ventajas y desventajas.	18
1.3.1.-Ventajas de las instalaciones fotovoltaicas:	19
1.3.2.- Desventajas de las instalaciones fotovoltaicas:	19
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).	20
1.5.- Análisis de buenas prácticas nacionales e internacionales en el uso de sistemas solares fotovoltaicos instalados en cubiertas, para el suministro de energía eléctrica a empresas productivas.	21
1.6.- Conclusiones Parciales.	23
Capítulo 2. Caracterización constructiva y energética de la nave Taller Automotriz de la Empresa MICALUM Cienfuegos	25
2.1.- Característica constructiva de la nave. Valorar resistencia al peso del sistema solar fotovoltaico instalado en la cubierta.	26

2.2 Principales modificaciones realizadas a la nave Taller Automotriz. 4	30
2.3.- Conclusiones Parciales.....	32
Capítulo 3. Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico para la nave Taller Automotriz en la Empresa MICALUM Cienfuegos.	32
3.1.- Determinación de las áreas potenciales para la instalación de los campos de paneles fotovoltaicos según las capacidades de los paneles disponibles en el mercado.....	32
3.2.- Fundamentación técnica de la radiación solar recibida por el panel según la ubicación en las áreas seleccionadas.	33
3.3.- Cálculo del sistema solar fotovoltaico:.....	36
3.3.1.- Cálculo del número máximo teórico de paneles fotovoltaicos:.....	36
3.3.2.- Determinación de la energía generada:.....	38
3.3.3.- La potencia instalada:.....	39
3.3.4.- Selección del Inversor:	40
3.3.5.- Cálculo del número de inversores:.....	40
3.4.- Desarrollo de la evaluación económica del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.....	41
3.5.- Desarrollo de la evaluación ambiental del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.....	43
3.6.- Conclusiones Parciales.....	44
Conclusiones Generales.....	45
Recomendaciones:.....	46
Bibliografía.....	47
Anexos:	50

Introducción:

La utilización de las energías renovables se hace cada vez más popular en el mundo, gracias a la toma de conciencia sobre los efectos perjudiciales al medio ambiente que hace la utilización indiscriminada de los combustibles fósiles. La energía fotovoltaica constituye quizás el sector más popular y de mayor crecimiento de la tecnología solar. Los instrumentos fotovoltaicos generan electricidad directamente de la luz solar mediante un proceso eléctrico que se produce de manera natural en determinados tipos de materiales. Un grupo de células fotovoltaicas puede configurarse en módulos y matrices que pueden utilizarse para alimentar un número indefinido de cargas eléctricas. El mundo ha instalado recientemente suficientes paneles solares para generar 1TW de electricidad directamente del sol. La expectativa de que nuestra especie llegaría a los 1000 GW de energía solar se basó primero en las estimaciones que habíamos instalado, al menos, 183 GW en 2021 y que teníamos 788 GW de capacidad instalada a finales del 2020. El mayor contribuyente a esta capacidad es China, que superó los 100 GW a finales de 2016. En el año 2022 se instalaron 168 GW de energía solar en el mundo, lo que supone un nuevo récord y casi dobla la tasa de instalación de la siguiente energía renovable en el ranking, la eólica 98GW. El auge de la energía solar es notorio, pues la capacidad solar global se ha duplicado en los últimos tres años. El mercado solar global está creciendo exponencialmente. Ha sido necesaria una década para que la capacidad solar mundial alcanzara el primer TW, partiendo de los 100 GW instalados en 2012. Se espera que la energía solar global se duplicará con creces a 2,3 TW en 2025. El continente europeo continuó su trayectoria solar positiva, logrando 31,8 GW de capacidad solar adicional. El impacto de la invasión rusa en Ucrania y los desafíos de seguridad energética que la acompañan, junto con los objetivos climáticos de la Unión Europea, están impulsando la transición renovable del continente. En España la generación de energía solar fotovoltaica ha producido más energía en lo que va de año en 2022 que en todo el año 2021, con un crecimiento de un 37,3% y se espera que antes de que se acabe el año se convierta en la tercera fuente de producción por potencia instalada. De acuerdo con los costos recientes, se cree que la energía solar generada cerca del mundo y su mercado se acerca a un valor aproximado de 400

millones de USD cada un año. El país cuenta con una política para el desarrollo perspectivo de las fuentes renovables de energía 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 comento a Cubadebate, Rosell Guerra Campaña, director de Energías Renovables del Ministerio de Energía y Minas, durante el 2021 las FRE aportaron 994 mil MWh de energía limpia, con lo cual se dejó de consumir 273 mil toneladas de combustible fósil y se dejó de emitir a la atmosfera 800 mil toneladas de CO₂. Hoy se trabaja en distintos programas, los cuales están en diferentes escenarios de elaboración, inversión, administración de financiamiento, negociación y ejecución, pero el más adelantado es el programa solar fotovoltaico. Hasta hoy se logró un desarrollo de la capacidad instalada y se tiene 226 MWp en 72 parques solares fotovoltaicos, lo que representa un total de 310 GWh anuales, tributados a la red eléctrica nacional, con esa generación de electricidad limpia se sustituyen aproximadamente 81 mil toneladas de combustible anualmente, la potencia fotovoltaica instalada actualmente en nuestro país es alrededor del 35 % de los 700 MW, que inicialmente se planificaron que existirán para el año 2030.

La Empresa de Tecnología de Avanzada de la Construcción, MICALUM Cienfuegos, debido a la dura realidad de la situación energética en el país se ha visto seriamente afectada en el desempeño de su misión, pues recibe energía que llega del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) generado desde combustibles fósiles con alto valor e impacto ambiental, no dando abasto al consumo energético de la Nave Taller Automotriz.

Esa circunstancia conduce al **Problema científico**: ¿Cómo contribuir al uso de energías renovables e impulsar el proyecto de montaje de un pequeño parque fotovoltaico en la cubierta de la nave del Taller Automotriz de la empresa MICALUM?

Hipótesis:

Si se proyecta el montaje de un pequeño parque fotovoltaico en la cubierta de la nave del Taller Automotriz de la empresa MICALUM; entonces se satisfacen los requerimientos energéticos productivos y la entrega en días no laborales al Sistema

Eléctrico Nacional, así como se contribuye a reducir los costos energéticos, económicos e impactos ambientales.

Objetivo general:

Desarrollar el anteproyecto de factibilidad técnica económica de un sistema solar fotovoltaico de apoyo al suministro de energía eléctrica a la nave Taller Automotriz de la empresa MICALUM Cienfuegos.

Objetivos específicos:

- 1- Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas solares fotovoltaico en las cubiertas de las edificaciones para el suministro de energía eléctrica.
- 2- Realizar la caracterización constructiva y energética de la nave objeto de estudio.
- 3- Desarrollar el cálculo teórico para selección de las instalaciones fotovoltaicas a instalar sobre la estructura de la nave Taller Automotriz.
- 4- Evaluar económicamente y medioambientalmente la solución presentada.

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

En el presente capítulo se lleva a cabo un estudio teórico sobre el estado actual y tendencias del uso de los sistemas solares fotovoltaicos, las propiedades técnicas de las instalaciones fotovoltaicas accesibles en el mercado nacional e internacional, los costos de compra, montaje y explotación de las instalaciones más utilizadas en Cuba y el planeta. De esta forma además se estudió los principales productores de paneles solares en todo el mundo, los paneles solares más eficaces en 2022, se precisan las instalaciones más utilizadas en Cuba, las vivencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país reflexionándose sobre sus principales ventajas y desventajas. De la misma manera se indagan las vivencias en la utilización de los sistemas fotovoltaicos operando de conjunto con el suministro de energía eléctrica del Sistema Electroenergético Nacional y ejemplos de satisfactorias prácticas nacionales en la utilización de sistemas solares fotovoltaicos instalados en cubiertas de techo para el suministro de energía eléctrica a empresas productivas.

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

La energía es uno de los principales motores del desarrollo económico y de la transformación social de una sociedad, dado que se encuentra presente en todas las facetas de la actividad económica, tanto de producción, como de consumo. Constituye un elemento fundamental de la estructura de costos de nuestro sistema productivo, con un fuerte impacto social y medioambiental, por lo que se considera que es un factor básico para la economía.

En la actualidad, el empleo de las fuentes renovables de energía se ha convertido en una necesidad a nivel mundial debido al deterioro de los combustibles fósiles y al alza en los precios de los principales hidrocarburos, por lo que constituye un reto de la humanidad ante las consecuencias del cambio climático que experimenta nuestro planeta y la necesidad de la preservación de la vida en el mismo. La energía solar fotovoltaica es, una de las fuentes de energía limpia y renovable más rentable y fiable para satisfacer las demandas energéticas de los países, en tanto uno de sus grandes beneficios es que al utilizarla no emite gases

contaminantes a la atmósfera, lo que ofrece una alternativa ecológica sostenible para todos los habitantes del planeta Tierra.

La energía fotovoltaica es una forma de producir energía eléctrica, directamente del sol. Los rayos solares chocan contra unas placas compuestas por materiales semiconductores que transforman la energía recibida en electricidad.

Las principales aplicaciones de estas tecnologías se llevan a cabo en electrificación de viviendas alejadas a la red eléctrica, aplicaciones agrícolas y de ganado (bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos y granjas) sistemas de depuración de agua. Los países con mayor desarrollo en esta materia están empleando esta tecnología 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 como 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.

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.

Debido a la gran aceptación que ha tenido esta tecnología a nivel mundial dentro de grandes corporaciones, se ha establecido una gran competencia en el mercado, marcada por la fiabilidad y la eficacia de los productos, las garantías ofrecidas, la cobertura que ofrecen y la trayectoria de los fabricantes.

De acuerdo al número de módulos proporcionado a lo largo del año 2022, a día de hoy los mayores fabricantes de paneles solares a nivel mundial son:

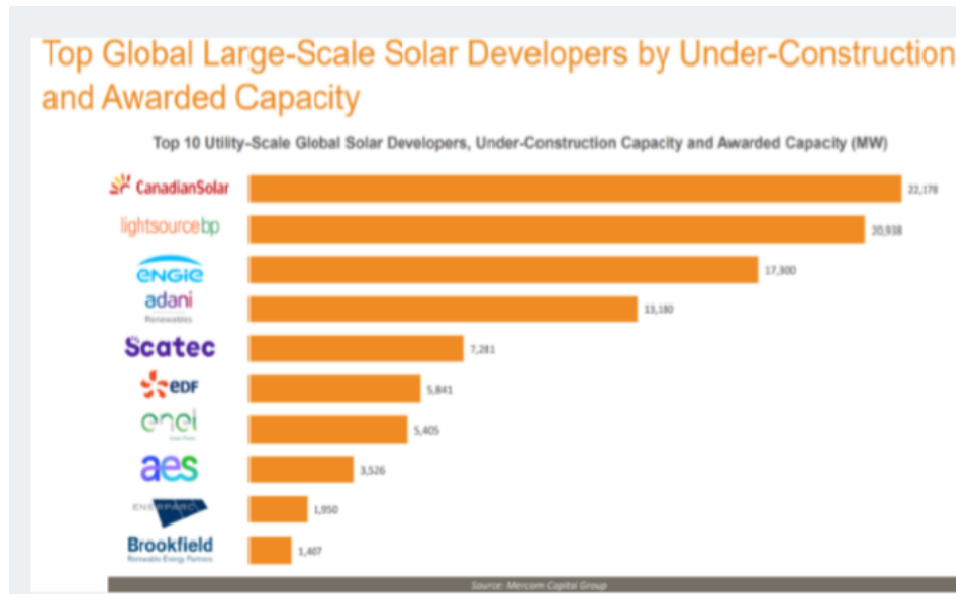


Figura 1.1: Principales desarrolladores solar a gran escala mundial por capacidad en construcción. Fuente (Roca, 2022)

1.2.2.- Paneles solares más eficientes en 2022:

Paneles solares más eficientes para el año 2022 de acuerdo a las principales marcas del sector fotovoltaico, clasificando por series y obteniendo los paneles solares más eficaces de cada serie.

Marca	Modelo	Número de	Celulas	Tecnología	Eficiencia	Potencia
SunPower	Maxeon 3	104	n-type	IBC	22.60%	400 W
SunPower	Maxeon5	72	n-type	IBC	22.20%	450 W
REC	Alpha	120	n-type	HJT- Half Cell	21.70%	380 W
LG	NeoN R	60	n-type	IBC	21.70%	375 W
Jinko	Tiger PRO	156	n-type	TR Half cell MBB	21.60%	560 W
Canadian	HiKu7	132	n-type	Half Cell	21.40%	665 W
Risen	Titan	120	n-type	PERC Half Cell	21.40%	605 W
Suntech	Ultra-V	144	n-type	Half cell MBB	21.30%	550 W
Trina	Vertex	180	n-type	1/3 cut cells	21.20%	505 W
Jinko	Tiger	156	n-type	Half cell MBB	21.16%	475 W
GCL	Saturn M3	120	n-type	Half cell	21.10%	390W
Seraphim	S4	120	p-type	PERC Half Cell	21.10%	540 W
JA Solar	Deep Blue 3.0	144	n-type	PERCMBB	21.00%	545 W
LONGi	Hi-MO 5	144	p-type	PERC	21.00%	540 W
Risen	Jäger Plus	156	n-type	PERC Half Cell	21.00%	455 W
LONGi	LR4-72 HPH-455	144	n-type	PERC Half Cell	20.90%	455 W
Jolywood	JW-H 60N	60	n-type	IBC	20.90%	340 W
Q-Cells	Q-PEAK DUO XL	104	n-type	Half cell MBB	20.90%	465 W
Phosolar	PS 380M4-20/UH	120	n-type	MonoPERC	20.71%	380 W

Figura 1.2: Paneles solares con mayor eficiencia en el mercado. Fuente: (Mengual, 2022)

Panel Canadian HiKu7 Mono PERC:

ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS
Nominal Max. Power (Pmax)	640 W	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.07 A	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.6 V	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	18.31 A	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A
Module Efficiency	20.6%	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL))						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Figura 1.3: Datos eléctricos. Fuente: (Canadian Solar, 2021)

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 10 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) (supply additional jumper cable: 2 lines / Pallet) or customized length*
Connector	T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

Figura1.4: Datos mecánicos. Fuente: (Canadian Solar, 2021)

Panel REC Alpha 440Wp

DATOS GENERALES			
Tipo de célula:	144 células tipo-n mono cortadas 6 cadenas de 24 células en serie-type cells	Conectores:	Stäubli MC4 Evo 2 PV-KBT4-EVO-2/PV-KST4-EVO-2(4mm ²) e conformidad con IEC 62852 IP68 solo cuando se conecta
Cristal:	Vidrio solar de 3,2 mm con tratamiento antirreflectante	Cable:	4 mm ² cable solar, 1,2 m + 1,3 m de conformidad con EN 50618
Lámina posterior:	Poliéster de alta resistencia	Dimensiones:	2063 x 1026 x 30 mm
Marco:	Aluminio anodizado	Peso:	23,5 kg
Caja de conexiones:	IP67, en 3 partes, 3 diodos de derivación, de conformidad con IEC 62790	Origen:	Fabricado en Singapore

Figura 1.5: Datos generales. Fuente: (REC Alpha, 2022)

1.2.3.- Instalaciones más usadas en Cuba:

Entre los módulos más empleados en el país se encuentran los Deshmukh Solar Energy del tipo DSM 250-380 con las siguientes características

Tabla 1.1: Características de los paneles DSM. Fuente: (Energy., 2020)

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 Potencia (Vmax) en (V)	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

Costos: Panel solar DSM 250-380 es de 0,25 USD/kWh.

1.3.- Sintetizar las experiencias de las instalaciones fotovoltaicas usadas en el país.

Principales ventajas y desventajas.

Desde el año 2013 se empezó el avance de instalaciones fotovoltaicas en Cuba conectadas a la red eléctrica con la instalación de la primera planta fotovoltaica de 1 MWp en Cantarrana, en las afueras de la región de Cienfuegos, al centro de la isla. Con la creación de esta primera planta, que después fue expandida hasta una capacidad total de 2,6 MWp, empezó el programa fotovoltaico cubano respaldado por el estado, que tiene como propósito la instalación de una aptitud de 700 MWp para el año 2030. Desde entonces el desarrollo fotovoltaico cubano ha sido lento, pero siempre creciente como se puede observar en la figura 1.6:

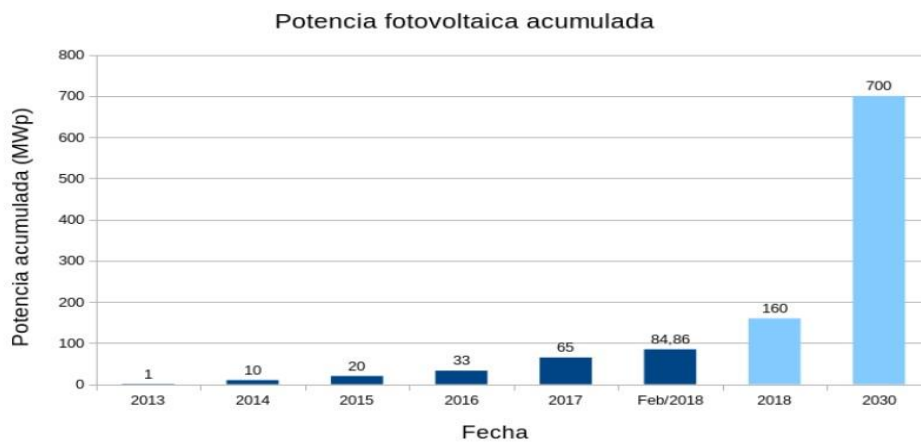


Figura 1.6: Potencia fotovoltaica instalada en Cuba por años. En color azul claro se muestra el plan gubernamental para el año 2018 y la meta para el 2030. Fuente (Rimada, 2018)

En Cuba, aunque aún con cifras relativamente modestas, también ha habido un crecimiento notable de la participación de la energía solar fotovoltaica en la generación eléctrica del país. Según las cifras que aporta el sitio web del Ministerio de Energía y Minas, se han construido 72 parques con una potencia instalada total de 226 MW. Esta potencia fotovoltaica tributa a las redes eléctricas del país un total de 310 GWh al año, una cifra considerablemente mayor a la que teníamos hace una década. Con esa generación de electricidad limpia se sustituyen aproximadamente 81 mil toneladas de combustible anualmente. Esta cantidad de energía eléctrica es equivalente a la que requiere el servicio eléctrico de más de 289 mil viviendas en

el horario pico del mediodía. Adicionalmente se han instalado también unos 12 MW de potencia fotovoltaica en techos de varias instituciones.

La potencia fotovoltaica instalada actualmente en nuestro país es alrededor del 35 % de los 700 MW, que inicialmente se planificaron que existirán para el año 2030. En una proyección más reciente se espera que esa cifra pueda superar los 2000 MW, por lo que el trabajo a desarrollar para cumplir con esa meta deberá ser arduo y sostenido.

1.3.1.-Ventajas de las instalaciones fotovoltaicas:

En los últimos años la industria fotovoltaica ha venido experimentando un rápido crecimiento y un abaratamiento de sus costos de producción, gracias a notables avances tecnológicos

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, terrenos baldíos sin ocupar espacio útil y sin impacto arquitectónico.

1.3.2.- Desventajas de las instalaciones fotovoltaicas:

Como 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 radica fundamentalmente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que trabaja en paralelo con la red eléctrica común. El criterio de inyección a la red tiene un extenso margen de aplicaciones, desde chicos sistemas de pocos kWp de capacidad instalada hasta centrales de numerosos MWp. Al principio, los sistemas fotovoltaicos de conexión a la red se desarrollaron para centrales fotovoltaicas considerables. Tras comprobarse en la práctica que estos centrales trabajaban de manera correcta, en la medida en que avanzó el desarrollo de la electrónica se han comenzado a crear sistemas de menor envergadura, más chicos y manejables, con la intención de ser instalados en forma de pequeñas centrales completamente adaptables a casas y empresas, dotadas de una acometida común de suministro eléctrico desde la red. (Martínez, 2005) Entre los primordiales resultados logrados hasta el día de hoy en el país, el directivo dijo que la integridad de los parques construidos, mantienen una disponibilidad técnica superior al 98% y su producción de energía se corresponde con la planificada en los estudios de factibilidad. De igual modo, el país ha invertido más de 250 millones de USD en este programa, hasta el día de hoy con una generación anual mayor a los 340 mil MWh, semejante a 88 mil 400 toneladas de combustible ahorrado. Esta cantidad significa no anunciar 285 mil 600 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

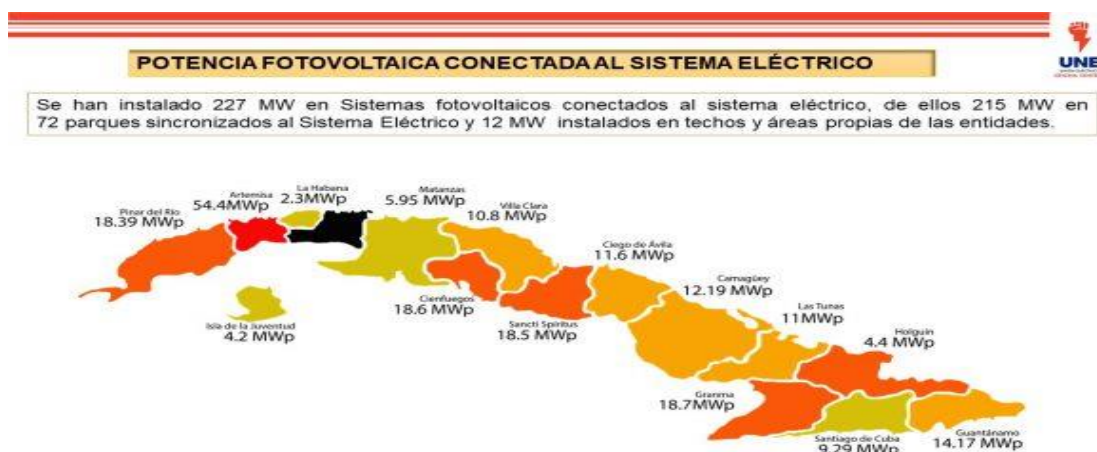


Figura 1.7: Potencia fotovoltaica conectada al sistema eléctrico. Fuente (<http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/03/16/union-electrica-ejecuta-ambicioso-proceso-inversionista-y-apuesta-por-las-fuentes-renovables-de-energia-video/>)

1.5.- Análisis de buenas prácticas nacionales e internacionales en el uso de sistemas solares fotovoltaicos instalados en cubiertas, para el suministro de energía eléctrica a empresas productivas.

Zona Especial de Desarrollo Mariel Las condiciones de Cuba son favorables para el desarrollo de los parques fotovoltaicos con valores de irradiación considerables. Así es el caso de la Zona Especial de Desarrollo Mariel donde se potencia el uso de fuentes renovables de energía lo que tributa a la sustitución de importaciones para la producción de energía eléctrica generada por combustible fósil. Actualmente se implementan dos variantes de generación de energía solar fotovoltaica: instalación solar fotovoltaica sobre cubierta y en parques fotovoltaicos en terrenos baldíos. Por concepto de generación de energía eléctrica a través de plantas solares fotovoltaicas colocadas sobre cubiertas, actualmente se aporta una generación promedio mensual de 649 MWh. La colocación de 18 095 paneles sobre las cubiertas de grandes edificaciones se ha alcanzado un total de 5,05 MW de potencia instalada. El proyecto Mariel Solar enclavado en la Zona Especial de Desarrollo Mariel está compuesto por los parques solares Habana Libre, Trébol, Varela y Herradura. Este proyecto proporciona una producción anual promedio de 102 897 kWh con una potencia instalada de 62 MW. Con la instalación de 189 301 paneles estos parques aportaron al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) un total de 191 863 MWh al cierre del primer semestre de 2022. Este concepto de generación ahorra al país 17 196 toneladas de diésel equivalente a 8 597 926 USD.



Figura 1.8: Paneles fotovoltaicos sobre las naves de la zona de desarrollo de Mariel. Fuente: (Estación Meteorológica Automática Mariel, 2022)

Copextel División Territorial Cienfuegos.

En correspondencia con la situación energética actual que vive el país, es de vital importancia la explotación de las fuentes renovables de energía, en especial la fotovoltaica. En la empresa de Copextel Cienfuegos se está instalando un sistema solar fotovoltaico sobre cubierta con una capacidad de generación de 114 MWp.



Figura 1.9: Paneles solares fotovoltaicos sobre cubierta en la empresa Copextel Cienfuegos. Fuente (Elaboración propia)

1.6.- Conclusiones Parciales.

- A nivel Internacional la utilización de los sistemas solares fotovoltaicos se está incrementando considerablemente, desarrollándose así también en Cuba, donde se espera alcanzar una generación de 700 MW para el año 2030.
- Cuba ha desarrollado una vasta experiencia en el montaje de paneles solares sobre cubierta, lo cual ha representado un ahorro de combustible y de emisión de CO₂ al medio ambiente.
- La utilización de sistemas solares fotovoltaicos contribuye a la no contaminación del medioambiente, esta puede ser aprovechada por todos ya que su fuente de energía proviene del Sol. Sus instalaciones pueden ser pequeñas o de gran tamaño, adecuadas para abastecer las necesidades domésticas de una vivienda urbana o aislada, como para plantas de generación a gran escala conectadas a la red.
- Oportunidad para disminuir el tiempo de retorno de la inversión aprovechando la posibilidad tecnológica y de aportar energía a la red nacional.



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
INGENIERÍA



Capítulo 2. Caracterización constructiva y energética de la nave Taller Automotriz de la Empresa MICALUM Cienfuegos

El presente capítulo tiene como propósito hacer una caracterización constructiva y energética de la Nave Taller Automotriz de la empresa MICALUM Cienfuegos, analizando las cargas instaladas en la nave objeto de estudio y una evaluación del estado técnico de la cubierta y su viable resistencia a las cargas que originan los sistemas solares colocados en la misma.

Tabla 2.1: Cargas instaladas en el Taller Automotriz. Fuente (Elaboración Propia)

Carga instalada en el taller de Equipos							
Máquina	Cantidad	Potencia en kWh	Potencia total instalada kWh	Consumo en 8 horas de trabajo en kWh	Voltaje	Trabajo promedio en el día Horas	Consumo promedio en el día kWh
Máquina de soldar	1	15,00	15,00	120,00	220	1	15,00
Torno	1	7,50	7,50	60,00	380	5	37,50
Taladro Vertical	1	2,20	2,20	17,60	220	1	2,20
Piedra Esmeril(muela abrasiva)	1	3,00	3,00	24,00	220	1	3,00
Caja de agua	1	0,50	0,50	4,00	110	7	3,50
Pulidora	1	2,00	2,00	16,00	110	1	2,00
Taladro	1	0,65	0,65	5,0	110	1	0,65
Total		30,85	30,85	246,80			63,85

Como se puede apreciar en dicha tabla el consumo en el día es de 63,85 kW/h por lo que para poder garantizar la elaboración de las producciones en este taller se debe diseñar un

Sistema Solar Fotovoltaico capaz de suplir esta carga energética en su totalidad o al menos gran parte de ella.

2.1.- Característica constructiva de la nave. Valorar resistencia al peso del sistema solar fotovoltaico instalado en la cubierta.

Dimensiones de la nave Taller Automotriz y áreas disponibles para instalación de sistemas fotovoltaicos.

Tabla 2.2: Característica constructiva de la nave Taller Automotriz. Fuente (Elaboración propia)

NAVE	N° de Alas	Dimensión del ala	Orientación cardinal	Ángulo superficie	At (m ²) de las cubiertas del techo
T. Automotriz	1	8.55x22.54	Sur	4	192.72

La nave Taller Automotriz (figura 2.1), presenta la vista isométrica de esta nave. La estructura está compuesta por perfiles tipo (I), tipo canal y tubos cuadrados/rectangulares para un total de 36 vigas. La tabla 2.3 presenta la distribución de estas vigas.

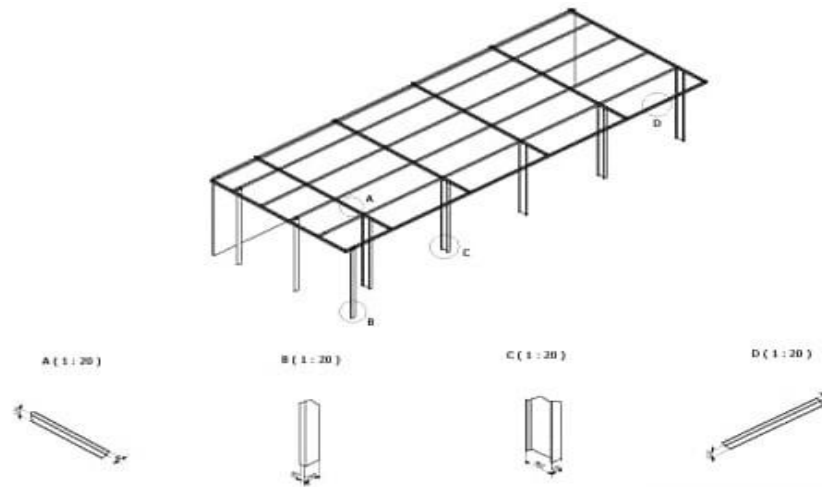


Figura 2.1: Vista isométrica de la nave Taller Automotriz. Fuente (Elaboración propia)

Tabla 2.3: Modelo de Vigas que componen la estructura nave Taller Automotriz. Fuente (Elaboración propia)

Nodos	146
Vigas	31
Canales	12
Vigas en I	5
Tubos cuadrados/rectangulares	14

Para la determinación de las tensiones máximas y los desplazamientos de las estructuras cuando sobre ellas actúa la carga de los paneles y accesorios, fue necesario calcular la carga distribuida sobre las vigas que soportaran el peso propio de los paneles y elementos adicionales.

Los paneles no se colocarán directamente sobre las cubiertas, sino sobre vigas cuyo perfil utilizado fue ISO 10799-2 (rectangular) 100x50x3 (mm), estas vigas a su vez van apoyadas sobre tejas trapezoidales de forma perpendicular a la dirección de las correas de la cubierta, que permitirán la firme fijación y ventilación de los paneles.

Los datos necesarios para la determinación de la carga por metro lineal de longitud están dados en la tabla 2.5.

Tabla 2.4: Datos necesarios para la determinación de la carga distribuida a actuar sobre las vigas. Fuente (Elaboración propia).

Criterios	Unidades
Total de paneles (T_p)	(u)
Peso lineal del calibre del conductor (W_c)	(kgf/m)
Longitud de las vigas (L_v)	(m)
Cantidad de largueros (C)	(u)
Peso propio del panel + accesorios (P_{p+a})	(kg)
Densidad del acero	(g/cm ³)
Área de sección transversal	(mm ²)

De acuerdo con los datos necesarios para la determinación de la carga es usada la ecuación 1.

$$N = \left(\frac{P_{p+a} * T_p}{L_v} \right) + W_c \quad (\text{Ec.1})$$

Con ella y considerando el número de largueros por naves se puede calcular la carga distribuida por cada elemento de acuerdo con la ecuación 2:

$$N_1 = \frac{N}{C} \text{ (kgf/m)} \quad (\text{Ec.2})$$

Para el caso del Taller Automotriz la tabla resume los valores para la determinación de la carga distribuida.

Tabla 2.5: Valores para la determinación de la carga distribuida en el Taller Automotriz. Fuente (Elaboración propia)

Criterios	Valores
Total de paneles (T_p)	80
Peso del calibre del conductor (W_c)	0,064
Longitud de las vigas (L_v)	6,08
Cantidad de largueros (C)	12
Peso propio del panel+accesorios (P_{p+a})	22
Densidad del acero(g/m^3)	7,85
Área de sección transversal(m^2)	192,72

Tabla 2.6: Magnitud aplicada sobre las vigas de la estructura nave Taller Automotriz. Fuente (Autodesk Inventor)

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	0.200 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	93,50 gr
Q_x	0,000 N/mm
Q_y	-0,200 N/mm
Q_z	-0,012 N/mm
Desfase	0,000 mm
Longitud	23 040,000 mm
Magnitud final	0,200 N/mm

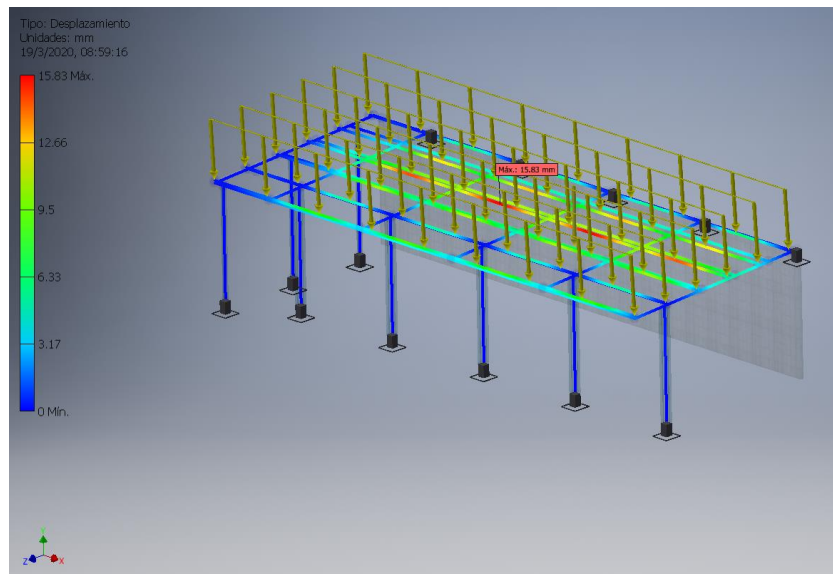


Figura 2.2: Resultados de los desplazamientos de la estructura nave Taller Automotriz.
Fuente (Autodesk Inventor)

Tabla 2.7: Resultados del análisis de resistencia para el taller automotriz. Fuente (Autodesk Inventor)

Nombre		Máximo
Desplazamiento		15,831 mm
Tensiones normales	Smax	92,951 MPa
Tensión de corte	Tx	2,498 MPa
	Ty	5,445 MPa
Tensiones de torsión	T	1,043 MPa

2.2 Principales modificaciones realizadas a la nave Taller Automotriz.

Colocación de dos vigas DIN I 450 en las zonas de la pared que poseían grietas (color rojo pegadas a la pared).

- I. A todas las vigas principales con perfil I se le agregaron "pie de amigos" a 1 m x 60° (con respecto a la vertical) para hacer un total de 12.

- II. Se colocaron cuatro vigas ISO 10799-2 (Rectangular) 120x80x5 en la "malla del techo" (color rojo a lo largo de la vista lateral).
- III. A modo de recomendación se pudiera colocar una viga DIN I 450 con pie de amigos en el extremo derecho de la pared, pero existe un objeto que hace dificulta la colocación de esta viga.

Como resultado del cálculo de la estructura con la incorporación de estas modificaciones fue posible disminuir los desplazamientos de 15,8 mm en la viga central del taller a solo 4,2 mm en uno de los extremos de este. (Figura 2.3)

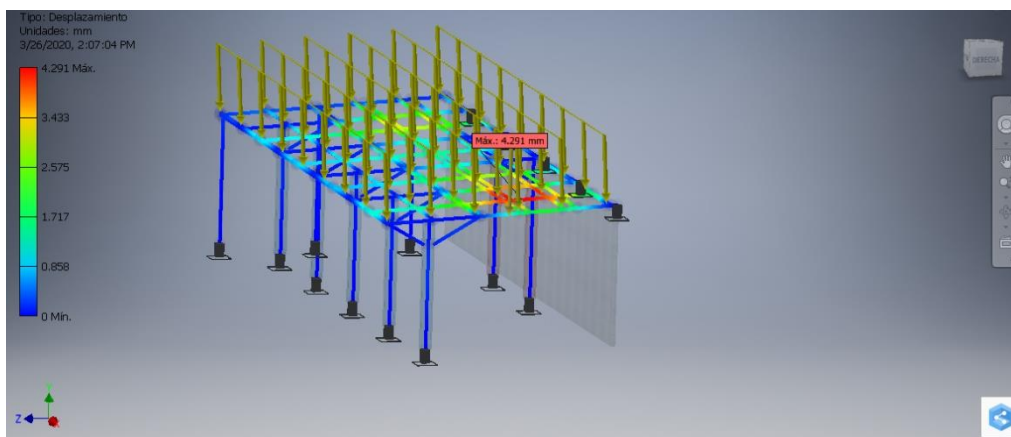


Figura 2.3: Calculo de los desplazamientos para el caso de la nave Taller Automotriz. Fuente (Autodesk Inventor)

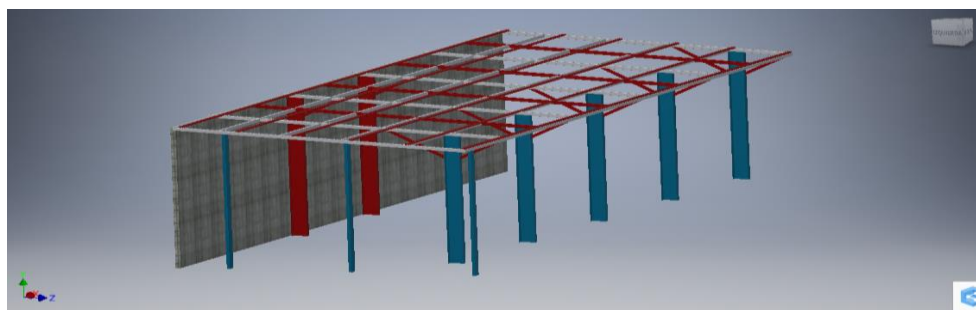


Figura 2.4: Modificaciones realizadas a la nave Taller Automotriz. Fuente (Autodesk Inventor)

2.3.- Conclusiones Parciales.

- El consumo promedio de la carga instalada para un día (8h) en la nave Taller Automotriz es de 63,85 kW/h, por lo que para poder garantizar la elaboración de las producciones en este taller se debe diseñar un Sistema Solar Fotovoltaico capaz de suplir esta carga energética en su totalidad o al menos gran parte de ella.
- El estudio de resistencia de la estructura de la nave a las cargas del Sistema Solar Fotovoltaico muestra que puede ser instalado el sistema sobre las vigas de la cubierta cuyo perfil utilizado fue ISO 10799-2 (rectangular) 100x50x3 (mm) de forma satisfactoria, ya que la carga originada no representa un peligro inminente para la estructura de la nave y se garantiza la vitalidad de la misma.

Capítulo 3. Desarrollo del anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico para la nave Taller Automotriz en la Empresa MICALUM Cienfuegos.

El presente capítulo tiene como propósito desarrollar el anteproyecto técnico del sistema solar fotovoltaico para la nave Taller Automotriz en la empresa MICALUM Cienfuegos. Para el cual se determinó las superficies potenciales para la instalación de parques fotovoltaicos según las capacidades de los paneles accesibles en el mercado, además de una fundamentación técnica de la radiación solar recibida por el panel de acuerdo con la localidad en las superficies elegida y se lleva a cabo el cálculo del sistema solar fotovoltaico.

3.1.- Determinación de las áreas potenciales para la instalación de los campos de paneles fotovoltaicos según las capacidades de los paneles disponibles en el mercado.

Las coordenadas geográficas y datos meteorológicos del lugar están dados en la tabla 3.1. (RETScreen Plus. Minister of Natural Resources Canada , 2013).

Tabla 3.1: Datos meteorológicos de la región donde está enclavada la empresa.

N°	Magnitud	Valor
1	Latitud (°N)	22,2
2	Longitud(°E)	- 80,5
3	Elevación (m)	58
4	Temperatura diseño de calefacción(°C)	16,2
5	Temperatura diseño de aire acondicionado.(°C)	30,6
6	Amplitud de la temperatura del suelo(°C)	10,9
7	Temperatura del aire(°C)	24,5
8	Humedad Relativa (%)	76,7
9	Radiación solar diaria(kWh/m ² /día)	5,06
10	Presión atmosférica (kPa.)	101,3
11	Velocidad del viento(m/s)	4,1
12	Temperatura del suelo(°C)	25,3
13	Días Grado de calentamiento(°C-d)	0
14	Días Grado de enfriamiento (°C-d anual)	5 290

3.2.- Fundamentación técnica de la radiación solar recibida por el panel según la ubicación en las áreas seleccionadas.

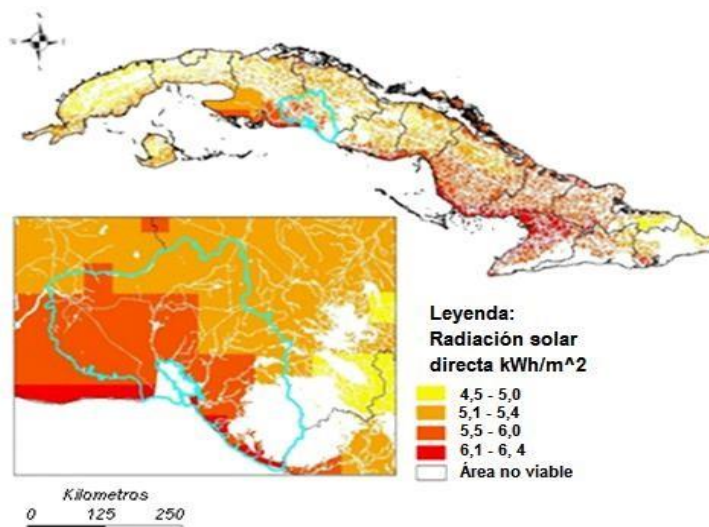
Como una de las potencialidades de las energías renovables es la utilización de paneles solares es de vital importancia comprender que proporción de energía radiada por el sol llega a la zona donde está instalado el mismo. Por Cuba tener una configuración este-oeste con menos cambio de latitud, la fluctuación de radiación solar total (directa más difusa) es subjetivamente pequeña, por lo cual todo el territorio fluctúa cerca de 1 825 kWh/m²/año, o sea, unos 5,5 kWh/m²/día. En los meses de invierno es algo menor; aunque además hay un incremento en los meses de lluvia, por lo cual el promedio más grande de radiación solar

sucede precisamente en el mes de abril. Este promedio es el medido a lo largo de varios años, ya tiene presente la reducción por nubosidades; entre otras cosas, Cuba está en una latitud semejante a la del desierto del Sahara, zona con promedios de radiación solar bastante superiores, por tener menos nubosidad, menos lluvia y más radiación directa que la de Cuba. Hay que poner énfasis que en Cuba los procesos de lluvia son más abundantes que en el Sahara; por lo cual ayuda relevantemente a la limpieza del área de los módulos fotovoltaicos. (Stolik, 2019)

En el Mapa de Radiación solar Promedio en Cuba, Figura 3.1, se puede ver la radiación solar que influye sobre el área de nuestro país. En este mapa se corrobora que las instalaciones fotovoltaicas son válidas en la enorme mayoría del territorio nacional, ejemplo de esto es la radiación solar anual en Cienfuegos que se destaca por una aceptable presencia de esta; donde la radiación solar está en el orden de más de 5,3 kWh/m² en la provincia.



Figura 3.1. Mapa de radiación promedio en Cuba. Fuente: (Centro Meteorológico Nacional, 2012)



La figura 3.2, (Radiación Solar, 2014) muestra que la zona donde está situada la empresa recibe valores de radiación entre 5,5 a 6,0 kWh/m² correspondiente a las zonas de color naranja en la figura de referencia.

Figura 3.2: Incidencia de la radiación solar en Cienfuegos. Fuente: (Radiación solar, 2014).

En la figura 3.3 se puede ver de manera más actualizada los valores promedio de radiación solar hecho en Cuba, obteniéndose una mínima de 4,5 kWh/m²/día y una máxima de 6,5 kWh/m²/día, donde se aprecia que la región de la provincia de Cienfuegos se encuentra dentro de las superiores áreas para la utilización de cuadros solares debido a que a esta zona llegan a incidir cerca de 5,5 a 6 kWh/m²/día de radiación solar.



Figura 3.3. Promedio anual de la radiación solar en Cuba. Fuente: (NREL de EE. UU)

3.3.- Cálculo del sistema solar fotovoltaico:

3.3.1.- Cálculo del número máximo teórico de paneles fotovoltaicos:

El módulo fotovoltaico escogido para la instalación del sistema es el DSM-380(ver anexo 1), producido por la empresa de Elementos Electrónicos Ernesto Che Guevara localizada en la carretera al Campo de aviación Álvaro Barba 2 ½, Pinar de Río, Cuba. El módulo está conformado por 72 celdas solares de silicio monocristalino PERC del formato 156.75 mm x 156.75 mm, con dimensiones introduciendo el marco de 1968 mm x 992 mm x 40 mm conectadas en serie; es con la capacidad de dar una capacidad de 380 Wp con una tolerancia de $\pm 3\%$, bajo condiciones nivel de radiación (STC: 1000 W/m², temperatura de los módulos T=25 o C, masa de aire AM 1.5), este módulo, en su punto de máxima capacidad al voltaje 39,33 V de corriente directa (CD). La energía captada por el panel está en dependencia, componentes, de su inclinación en relación a los rayos solares; se sugiere un ángulo de inclinación igual a la latitud del sitio de instalación, ello facilita la incidencia perpendicular del rayo solar sobre la área del panel, lo que estimula la máxima captación de energía a lo largo de todo el año, en nuestro caso se da por hecho la misma inclinación de las cubiertas. En la tabla 3.2 se detallan los resultados del estudio llevado a cabo sobre el impacto en la captación de la radiación solar y transformación energética, según diferentes grados de la inclinación de los cuadros para la latitud de la provincia de Cienfuegos. (Gámez., 2013)

Tabla 3.2: 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

Los módulos solares utilizados en el proyecto tendrán una inclinación de 4 grados. Para lograr una mayor ubicación de paneles en la cubierta del taller automotriz se colocarán de forma tal que el ancho del panel (0,992 m) tenga el mismo sentido del ancho de la edificación (8,55 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 (8,55 m menos 0,5 m, 0,25 m por cada lado, 8,05), 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 3:

$$\text{Número máximo de filas de paneles} = \frac{\text{Ancho de la edificación}}{\text{Distancia entre paneles}} \quad (\text{Ec.3})$$

$$\text{número máximo de filas de paneles} = \frac{8,05}{0,992} = 8,11$$

Conocida la longitud de la edificación (22,54 m menos 1 m, 0,50 por cada lado, 21,54), 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 3:

$$\text{Número máximo de paneles por fila} = \frac{\text{Largo de la edificación}}{\text{Ancho del panel}} \quad (\text{Ec.4})$$

$$\text{número máximo de paneles por fila} = \frac{21,54}{1,968} = 10,94$$

Obtenido el número máximo de filas (8) y de columnas (10) que se pueden instalar en el área útil del parqueo, se obtiene un valor de 80 paneles fotovoltaicos.

3.3.2.- Determinación de la energía generada:

Para el análisis de generación energética del sistema fotovoltaico se transformó la ecuación 5 en la ecuación 6: (UNESCO., 2003)

$$N = \frac{E_g}{P_{pp} * I_{si} * 0,753} \quad (\text{Ec.5})$$

Mediante la ecuación 5 transformada se determina la energía generada según la ecuación 6:

$$E_g = N * P_{pp} * I_{si} * 0,753 \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

- Potencia pico del panel (P_{pp}): 380 Wp.
- Número de paneles (N): 80.
- Irradiación solar incidente sobre los paneles (I_{si}): 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.

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

$$E_g = 80 * 0,380 * 5,5 * 0,753 = 125,9 \text{ kWh/día}$$

Tabla 3.3: Resultados de la generación del sistema fotovoltaico.

Energía generada	125,9	kWh/día
Energía generada	3,77	MWh/mes
Energía generada	45,324	MWh/año

Realizado el cálculo preliminar se obtiene que el valor total generado por el SSFV es de 125,9 kWh/día por lo que el SSFV satisface totalmente la demanda necesaria. (tabla 3.4)

Tabla 3.4: Porcentaje de energía satisfecha. Fuente: Elaboración propia.

Energía generada SSFV (MWh/mes)	Consumo máximo registrado (MWh/mes)	% de energía satisfecha
3,77	1,532	247

3.3.3.- La potencia instalada:

$$N = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) \quad (\text{Ec.7})$$

$$N = N * \left(\frac{P_{pp}}{1000} \right) = 80 * \left(\frac{380}{1000} \right) = 30,4 \text{ kWp}$$

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 80 paneles generarán:

$$30,4 \text{ kWp} * 1 \text{ 360 kWh/kWp. año} = 41 \text{ 344 kWh/año (1 378,13 kWh/mes)}$$

3.3.4.- Selección del Inversor:

El Inversor Industronic (ver anexo 2) es la solución ideal para el sistema solar, el cual tiene de 1 a 3 MPPT para mejorar hasta 30% su eficiencia. Por sus características de alta eficiencia, confiabilidad, diseño compacto y fácil instalación, es la solución óptima para la Generación y Distribución de Energía. Posee una ingeniería sin transformador, más compacto, más de 25 Años de Vida Útil. Alcanza una eficiencia MPPT mayor al 99.9% y una eficiencia del inversor hasta 98.3%. Cuenta con un DISPLAY LCD el cual muestra un menú de control fácil de operar con alertas para el manejo, configuración, control y diagnóstico del inversor. El estado operativo como Stand-by, Normal, Falla, etc. Tiene un sistema de PROTECCIÓN NEMA 4 / 4X / IP65 Con la mayor protección al polvo y al agua, los inversores Industronic son para uso en interiores y exteriores. Incorpora un SOFTWARE DE MONITOREO integrado Wifi, que verifica todas las operaciones y datos al instante del inversor en la web o aplicación móvil.

3.3.5.- Cálculo del número de inversores:

La cantidad de inversores que hacen falta para la instalación se determina mediante la ecuación 9: (Marrero, 2018)

Datos:

PI: potencia instalada: 30,4 kW.

P_{inversor}: Potencia del inversor: 32 kW.

$$\text{Número de inversores} = \frac{PI(kWp)}{P_{inversor}} \quad (\text{Ec.8})$$

$$\text{Número de inversores} = \frac{30,4}{32} = 0,9$$

Se normaliza el valor al inmediato superior, por lo que se necesitaran 1 inversor de 32 kW de potencia para realizar la instalación.

3.4.- Desarrollo de la evaluación económica del anteproyecto del sistema solar fotovoltaico.

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 3.5: Valores de las tasas de interés anual. Fuente: (TradingEconomic., 2020; 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%.

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 9:

$$C_{eEE\ SEN} = CGM * C_{uEE} = \frac{\cancel{kWh}}{año} * \frac{\$}{\cancel{kWh}} = \frac{\$}{año} \quad (Ec.9)$$

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 (2022) para la empresa es de 3,68 \$/kWh.

$$C_{eEE\ SEN} = 45\ 324 \frac{kWh}{año} * 3,68 \frac{\$}{kWh} = 166\ 792 \frac{\$}{año} \quad (Ec.10)$$

Tabla 3.6: Se muestran los principales resultados obtenidos del análisis económico.

Fuente:(Elaboración Propia)

Año	0	1	...	24	25
Depreciación (Dep), \$		30518,16	...	30518,16	30518,16
Flujo de caja (Fc), \$		118933,534		118933,534	118933,5338
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), \$	-762954	112352,866		30340,3294	28661,57975

El siguiente gráfico (ver anexo 8) 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.

3.5.- Desarrollo de la 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:

$$\text{Combustible ahorrado} = (E \cdot g) / 1000 \quad (\text{Ec.11})$$

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.

$$\text{Combustible ahorrado} = (45\,324 \cdot 0,236) / 1000 = 10,6 \text{ t/año}$$

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:

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (\text{Combustible ahorrado} \cdot k) / p \quad (\text{Ec.12})$$

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.

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

$$\text{CO}_2 \text{ no emitido} = (10,6 * 3,119) / (0,9781) = 33,8 \text{ t/año}$$

Utilizando la expresión se determina que la cantidad de CO₂ dejada de emitir a la atmósfera es de 33,8 t/año, lo que evidencia el aporte al mejoramiento medioambiental que trae consigo la instalación del sistema fotovoltaico.

3.6.- Conclusiones Parciales.

- El sistema se conforma por 80 paneles fotovoltaicos DSM-380, en una superficie total de 192,72 m² y una inclinación de 4 grados.
- El porcentaje de energía satisfecha presenta un notable valor de un 247%.
- El período de recuperación de la inversión en el Sistema Solar Fotovoltáico es de 9 años; con una inversión de 762 954 \$ y un valor actual neto de 778 274,483 \$ en un período de 25 años de servicios y una TIR de 5%.
- El SSFV generando una energía eléctrica de 45 324 kWh/año, representa económicamente una reducción en el pago de energía eléctrica de 166 792 \$/año.
- Con la energía generada por el Sistema Solar Fotovoltáico se dejan de quemar 10,6 t/año de combustibles en las CTE, lo que equivale a una reducción de 33,8 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmósfera.

Conclusiones Generales.

- El incremento de la utilización de Sistemas solares fotovoltaicos en el mundo es todo un hecho, por lo que Cuba prevé alcanzar una generación de 700 MW para el año 2030, basándose en las experiencias obtenidas hasta el momento y poniendo en uso paneles fotovoltaicos de producción nacional como el caso del DSM-380 el cual se utiliza en el presente proyecto, constituyendo un aporte a la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y no contaminantes.
- El consumo máximo promedio de la carga instalada para un día (8h) en la nave Taller Automotriz es de 63,85 kW/h, de ahí la necesidad de instalar un sistema solar fotovoltaico, por lo que se realizó un estudio de resistencia de la estructura de la nave capaz de suplir dicha demanda, generándose resultados satisfactorios debido a que las cargas originadas por el sistema no afectan la vitalidad de la nave.
- El anteproyecto de Sistema Solar Fotovoltaico de la nave Taller Automotriz, está compuesto por un total de 80 paneles DSM-380, ocupando un área total 192,72 m², que genera un total de 45 324 kWh al año, lo que representará un 247% de la demanda de dicho taller.
- 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 778 274,483 \$ para un período de vida de 25 años.
- Con la energía generada en el SSFV se dejan de quemar 10,6 t/año de combustible diésel, lo que equivale a una reducción de 33,8 t/año de CO₂ que se dejan de emitir a la atmosfera.

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 empresa de tecnología avanzada de la construcción, MICALUM, Cienfuegos solicitar a la empresa de Elementos Electrónicos Ernesto Che Guevara, Pinar de Río, que se realice el proyecto de ingeniería.
3. Presentar esta investigación en el Fóruns de Ciencia y técnica de la empresa objeto de estudio.

Bibliografía.

- Cubadebate., (2022). *El ineludible cambio de la matriz energética que necesitamos*. Ciencia y Técnica.
- Canadian, S. (2021). *Datos eléctricos*. [https:// albasola.es/wp-content/uploads/2021/11/cs-datasheet-Hiku7-cs7N-MS-635-665w](https://albasola.es/wp-content/uploads/2021/11/cs-datasheet-Hiku7-cs7N-MS-635-665w)
- Centro Meteorológico Nacional. (2012). *Energía Solar en Cuba*.
- Cuba. Banco Central de Cuba. (2012). *Ley 113 artículo 97 de la Gaceta Oficial* (053).
- Cuba. Banco Central de Cuba. (2018). *Circular 1/2017 del director general de tesorería*.
- Cuba, B. C. (2018). *Circular 1/ 2017 del director general de tesorería*.
- Cuba, Gaceta Oficial. (2012). *Ley 113, artículo 97 de la Gaceta Oficial, no. 053*.
- D. S. (2020). *Energy*. [https://es.ensolar.com/ pv/ panel-datasheet/ crystalline/ 35317](https://es.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/35317).
- (2021). *Datos Mécanicos*. [https:// albasola.es/wp-content/uploads/2021/11/cs-datasheet-Hiku7-cs7N-MS-635-665w](https://albasola.es/wp-content/uploads/2021/11/cs-datasheet-Hiku7-cs7N-MS-635-665w)
- Deshmukh, D. (2019). *Solar Energy. Enfsolar*. <https://es.ensolar.com/pv/papel-datassheet/crystalline/35317>
- Meteorológica Automática Mariel. (2022). *Paneles fotovoltaicos sobre las naves de la zona de desarrollo del Mariel*. [http://www.zedmariel.com/ noticias/ la-zona-especial-desarrollo-mariel-potencia-el-uso-defuentesautomaticamariel/ 2022](http://www.zedmariel.com/noticias/la-zona-especial-desarrollo-mariel-potencia-el-uso-defuentesautomaticamariel/2022)
- Gómez, D. M. (2013). *Evaluación y criterio para la instalación de 1 MWp del Sistema Fotovoltaicos conectados a la RED en Cartarrnana*.

- Marrero, J. B. (2018). *Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red*.
- 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.
- Martínez, I. C. (2005a). *Los sistemas fotovoltaicos conectados en la red*.
- Martínez, I. C. (2005b). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Energía y Tú*, 1-3.
- Meneses, A. A. (2016). *Diseño de un porqué fotovoltaico conectado a la red en techos del Despacho Provincial Villa Clara*. [(Tesis de Grado)]. Universidad de Las Villas.
- Mengual, M. (2022). *Paneles solares con mayor eficiencia en el mercado*.
<https://blog.solarmb.com/wp-content/uploads/>
- Minister of Natural Resources. (2013). *Datos meteorológicos de la NASA Retscreen Plus*. Ontario, Canada. Retscreen.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, (UNESCO). (2003). *Curso de Entrenamiento en Energía Solar*. Puerto Ayora, Galápagos.
- Radiación Solar. (2014). Ecosol.
- Rec, Alpha. (2020). *Datos generales*. <https://www.oratermia.com/rec/704-plaocristalino-rec-alpha-serie-440wp.html>ca-solar-mon
- Retscreen Plus. (2013). Minister of Natural Resources.
- Rimada, J. C. (2018). *Blog de energía fotos conectados en la red* [Comunicación personal].
- Rimada, J. C. (2018, febrero 27). *Blog de energía fotovoltaica*. <http://www.imre.uh.cu/vtfotovoltaica/?p=458>

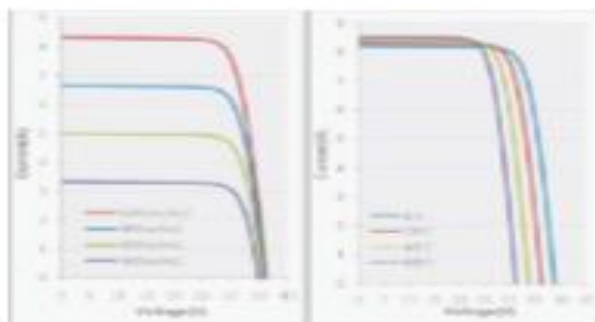
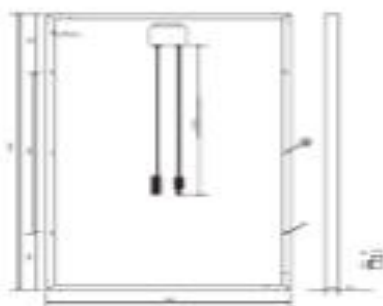
- Roca, R. (2022). *Principales desarrolladores solar a gran escala mundial por capacidad en construcción*. <http://elperiodicodelaenergia.como/10-desarrolles-solar-fotovoltaica-gran-escala-mundo/>
- Rodríguez Gámez, L. A. (2013). *Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos*. (Tesis de Grado). Instituto Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Electrónica.
- Rec, Alpha. (2020). *Parámetros Eléctricos*. <http://www.ornatemia.com/rec/704-placa-solar-monocristalino-rec-alpha-serie-440wp.html>
- CUBADEBATE, (2021). *Potencia fotovoltaica conectada al sistema eléctricos*. <http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/03/16union-eléctrica-ejecutiva-ambicioso-proceso-inversionista-y-apuesta-por-lasfuentes-renovables-de-energia-video/>
- Stolik, D. D. (2018). Los pronósticos FV. Renovable.
- Stolik, D. C. (2019a). *Los costos fotovoltaicos*.
- Stolik, D. C. (2019b). *Los costos fotovoltaicos. (FV)*. <http://renovable.cu>
- Trading, E. (2020). Cuba. *Tasa de inflación*. <http://es.tradingeconomics.com/cuba/inflation-cpi>

Anexos:

Anexo # 1.



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]	39.33
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

II INDUSTRIAL

PRESENTAMOS EL

INVERSOR INDUSTRIAL

1 kW - 32 kW / 220 V sin Transformador

El Inversor Industrial es la solución ideal para su sistema solar de pequeña y media escala **ON-GRID**.

De 1 a 3 MPPT para mejorar hasta **30% su eficiencia**.

Por sus características de **alta eficiencia, confiabilidad, diseño compacto y fácil instalación, es la solución óptima** para la Generación y Distribución de Energía.



CARACTERÍSTICAS

- Ingeniería sin Transformador, más compacto
- Mas de 25 Años de Vida Útil
- 5 años de garantía Industrial
- Hasta 3 MPPT para mejorar hasta 30% de su eficiencia contra sombras
- Eficiencia MPPT mayor al 99.9%
- Eficiencia del inversor hasta 98.3%



DISPLAY LCD

El display LCD muestra un menú de control fácil de operar con alertas para el manejo, configuración, control y diagnóstico del inversor. El estado operativo como Stand-by, Normal, Falla, etc. se muestra en pantalla.



SOFTWARE DE MONITOREO

Con nuestro Software de Monitoreo integrado Wifi, podrá verificar todas las operaciones y datos al instante del inversor en la web o aplicación móvil.



USO

El inversor Industrial, de tipo On Grid convierte la corriente directa desde sus paneles solares a corriente alterna para uso residencial y comercial.

Ideal para ahorro, seguridad de continuidad operativa, reducción de emisión de carbono e independencia de servicios energéticos públicos



OPERACIÓN EN PARALELO

El Inversor Industrial puede operar en hasta 50 sistemas en paralelo con una simple conexión vía puerto tipo RS485.



PROTECCIÓN NEMA 4 / 4X / IP65

Con la mayor protección al polvo y al agua, los inversores Industrial son para uso en interiores y exteriores.

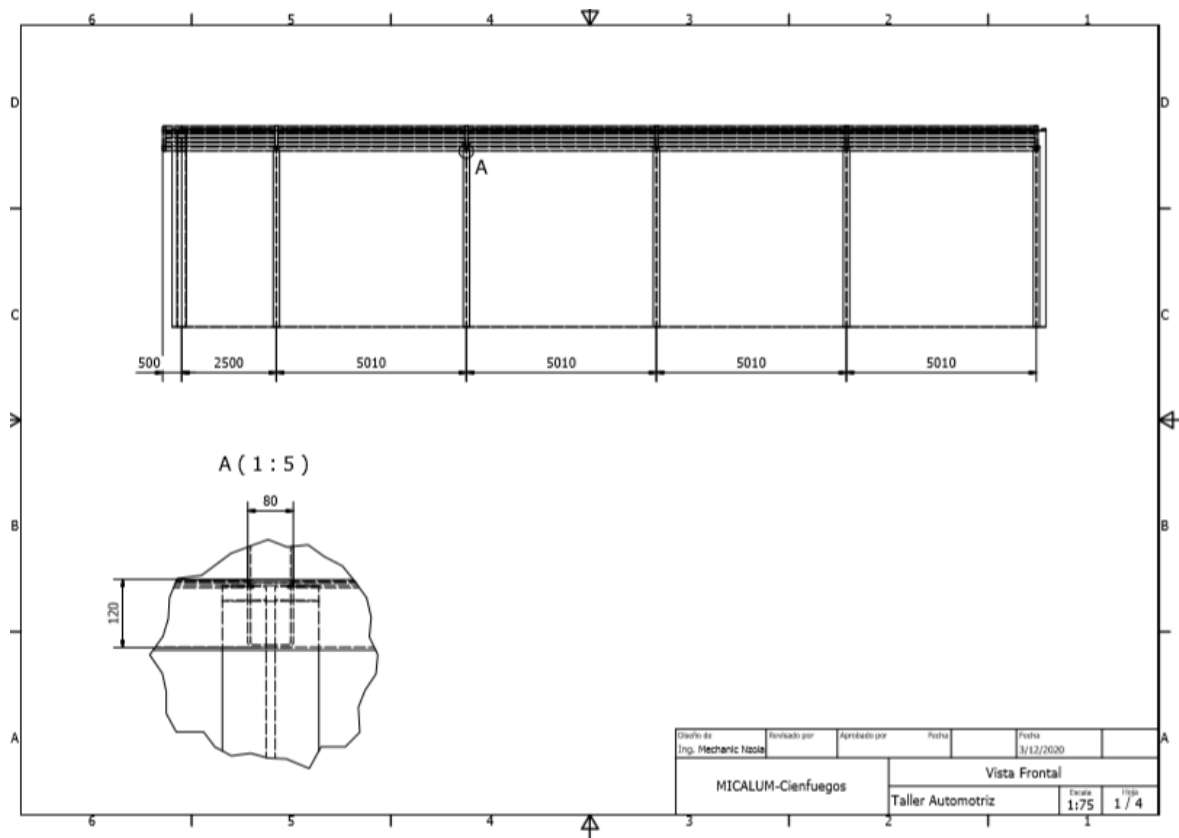
Inversor Industrial

Anexo # 3.

MODELO	IND-1.5SS	IND-2.0SS	IND-3.0SS	IND-4.2DS	IND-5.0DS	IND-12DS	IND-32TS	
ENTRADA DC								
Potencia de Entrada Nominal (W)	1,500	2,000	3,000	4,200	5,000	12,000	32,000	
Potencia máxima de Entrada (±10~20%) (W)	1,800	2,400	3,300	4,600	5,500	13,000	35,000	
Voltaje Máxima DC	500Vcd		600Vcd		1,000Vcd			
Rango de Voltaje Máximo MPPT	150-450Vcd		150-500Vcd		250-950Vcd			
# MPPTTracker	1		2		2		3	
#de Series	1	2	2		1	2		
#de Conexiones de Entrada/Corriente Máxima para cada Conexión	1/9A	1/11A	1/17A	2/13A	2/15A	1/13A	3/26A	
SALIDA AC								
Potencia Nominal de Corriente Alterna (AC)	1,500W	2,000W	3,000W	4,200W	5,000W	12,000W	32,000W	
Potencia de Salida Nominal Máxima (AC)	1,650W	2,200W	3,100W	4,300W	5,100W	12,500W	33,000W	
Voltaje de Salida Normal (AC)	220Vac							
Ventana de Voltaje AC	184V~264V					184V~264V		
Fases/Hilos	2 Fases + Tierra					3 Fases + Tierra		
Rango de Frecuencia de Salida	50 ó 60Hz ± 5Hz							
Corriente de Salida Máxima (A)	9A	11A	15A	21A	24A	32A	90A	
Corriente de Salida (A)	6.5A	8.7A	13A	18.3A	21.7A	30A	82A	
EFICIENCIA								
Eficiencia Máxima	>96.0%		>97.5%		>98.0%		>98.3%	
Eficiencia Euro	>95.0%		>96.8%		>97.7%		>98.0%	
Eficiencia MPPT					>99.9%			
Consumo (Stand-by/Nocturno)	<0.2W							
AMBIENTE								
Protección Ambiental	IP65 / NEMA 4 / 4X							
Temperatura de Operación	-20°C~+60°C							
Humedad Relativa	<95% RH Maximo, Libre de Condensación							
Altitud	<2400m al 99.9%							
Nivel de Ruido	<25dB		<40dB			<60dB		
Interfase de Comunicación	RS485 Estándar, Externa con WiFi							
Enfriamiento	Natural					Natural	Abanico	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS								
Montaje	Pared (Kit de instalación incluido)							
Dimensión (AnchoxAlturaxProfundidad) mm	340x540x160		340x580x161	315x637x180		550x700x250	636x958x260	
Peso (Kg)	14.3		17	25.8		40	70	
CONFORMIDAD DE SEGURIDAD								
Aseguramiento de Calidad	Certificación ISO9001							
Estándar EMC	EN61000-6-1, EN61000-6-2, EN6100-6-3, EN6100-6-4, EN55022, EN61000-3-2, EN61000-3-12, EN61000-3-3, EN61000-3-11							
Seguridad	VDE0126-1-1, EN50178, EC62109, ENEL Guideline 2011 ,AS3100/4777...etc							

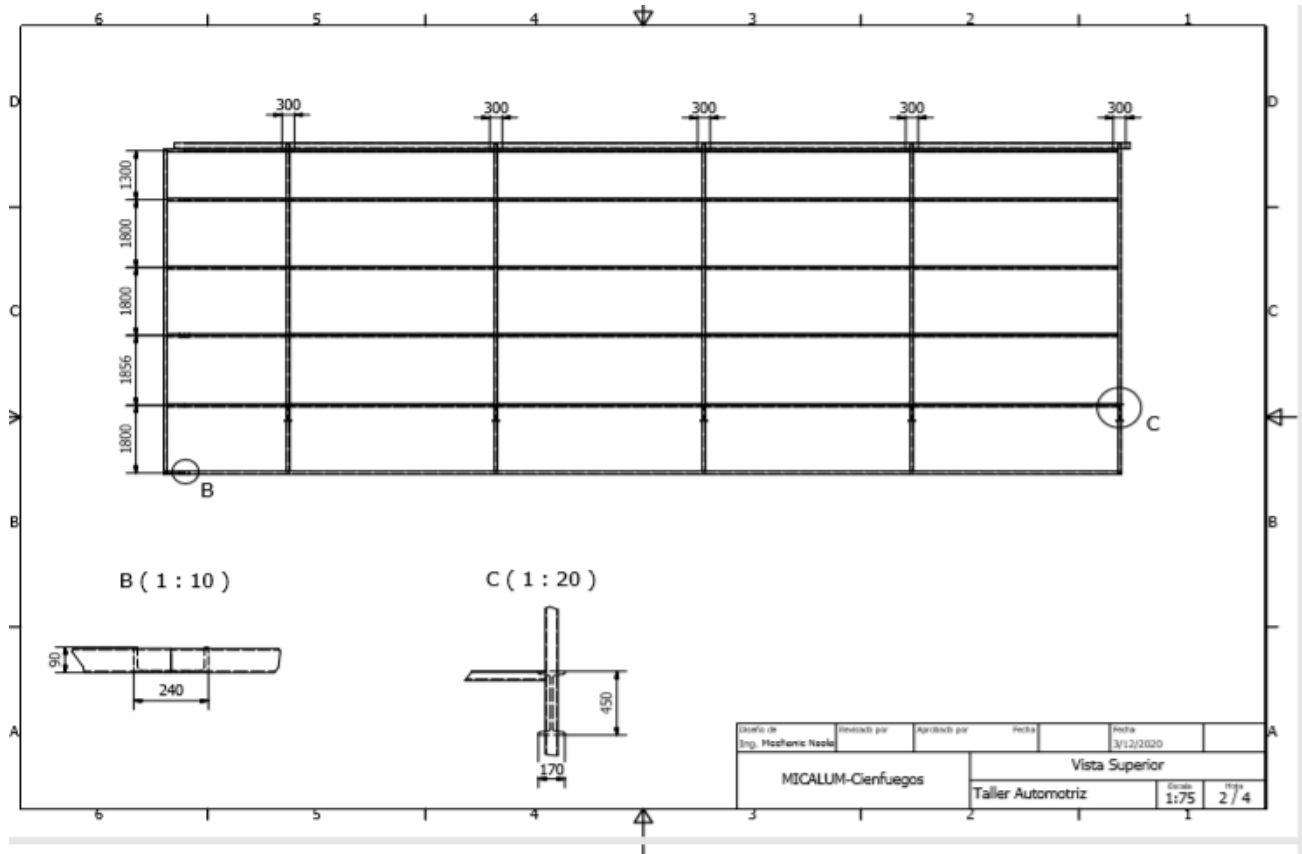
Características del Inversor Industronic

Anexo # 4.



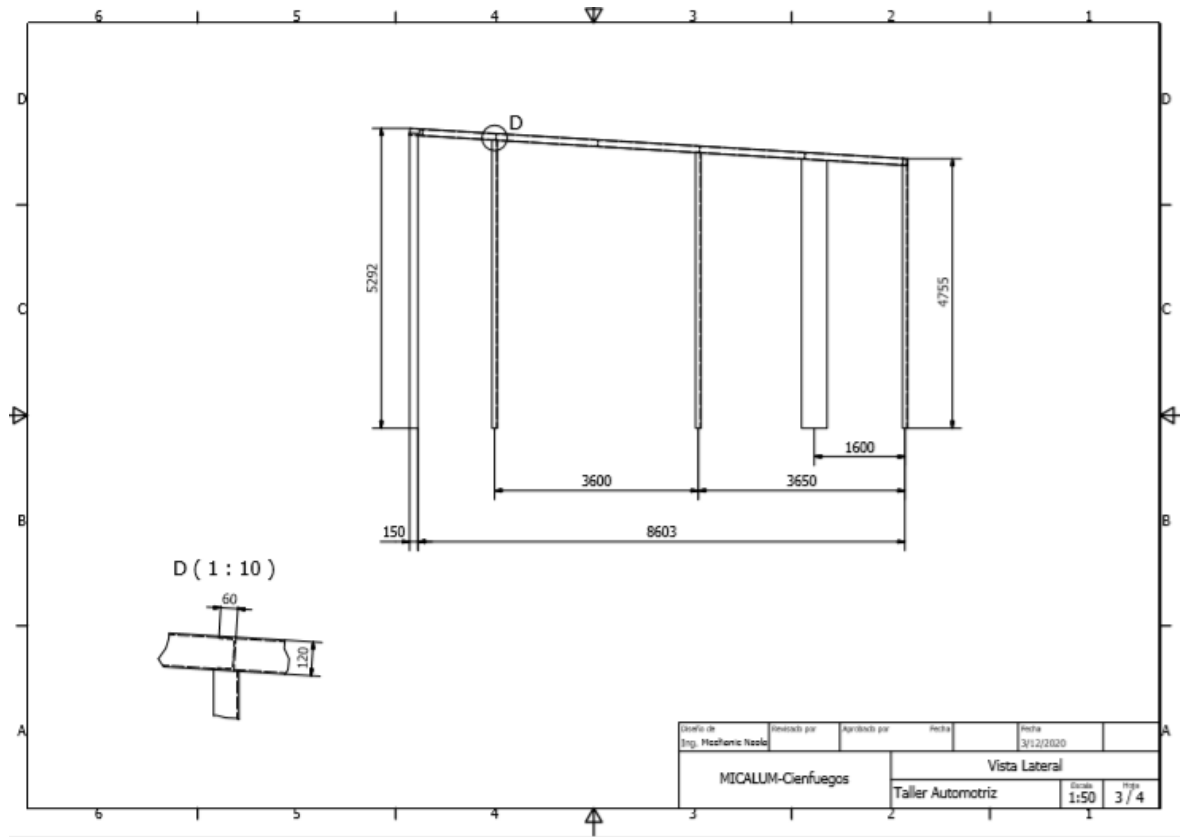
Vista frontal del Taller Automotriz

Anexo # 5.



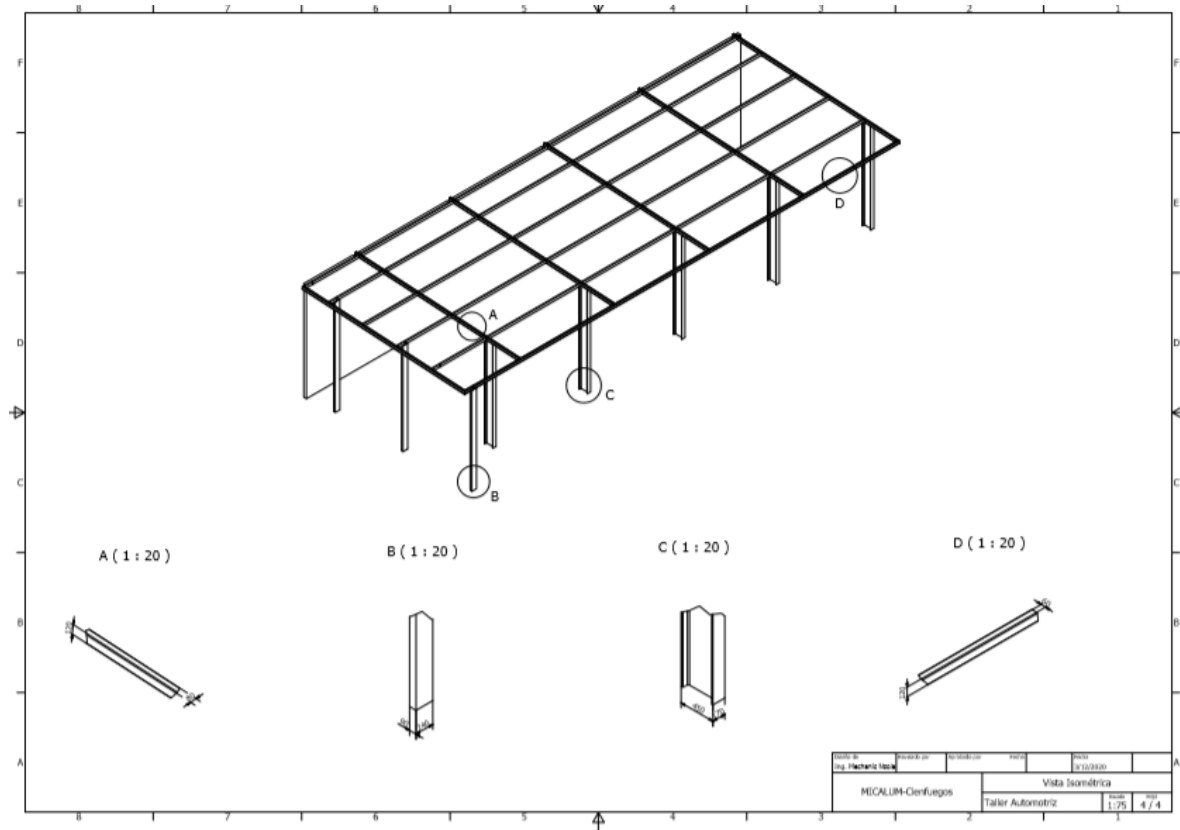
Vista superior del Taller Automotriz

Anexo # 6.



Vista lateral del Taller Automotriz

Anexo # 7.



Vista isométrica del Taller Automotriz

Anexo # 8.

MICALUM.

Taller Automotriz

N°	Datos iniciales	0	1	2	9	10	21	22	23	24	25
1	Ingresos (I), \$		166792	166792	166792	166792	166792	166792	166792	166792	166792
2	Gastos (G), \$		667,168	667,168	667,168	667,168	667,168	667,168	667,168	667,168	667,168
3	Costo inversión (Ko)	-762954									
4	Tasa de descuento (r), %	762954	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	Tasa de inflación (f), %		5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	Margen de riesgo, %		3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años		25	25	25	25	25	25	25	25	25
Resultados											
9	Año	0	1	2	9	10	21	22	23	24	25
10	Depreciación (Dep), \$		30518,16	30518,16	30518,16	30518,16	30518,16	30518,16	30518,16	30518,16	30518,16
11	Flujo de caja (Fc), \$		118662,497	118662,497	118662,497	118662,497	118662,497	118662,497	118662,497	118662,497	118662,497
12	Tasa de descuento real (R)		0,03	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	0,06
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0,94	0,89	0,80	0,71	0,63	0,56	0,50	0,44	0,39
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		112096,826	105894,437	71093,8397	67160,1724	35907,8957	33921,089	32044,2137	30271,187	28596,26303
16	Flujo descontado acumulado (Fda), VPN,	-762954	-650857,174	-544962,737	49193,8045	116353,977	649929,434	683850,523	715894,736	746165,923	774762,1864

TIR

5%

VPN (VAN) SSFV. Taller Automotriz. (Pinar del Río)

