

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



TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO:

**ANTEPROYECTO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO,
EMPRESA MICALUM**

Autor: Niclovánio Correia Pedro.

Tutores:

Dr.C. José P. Monteagudo Yanes. (CEEMA) UCf.

Dr. C. Julio R. Gómez Sarduy. (CEEMA) UCf.

MSc. Reinier Jiménez Borges. (CEEMA) UCf.

Ing. Andrés Lorenzo Álvarez González. (CEEMA) UCf.

Cienfuegos, Junio de 2020.

(Año 61 de la Revolución)

Pensamiento

“No todos los que soñaron lo lograron, pero para lograrlo hace falta soñar”.

Gabriel O Pensador

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mi abuela Joana José Camilo y a mi familia en general, por su amor y por los valores que me enseñaron.

Agradecimiento

Considero que, nunca se es lo suficientemente gratos con todos los que nos ayudaron a tornar posible nuestros logros. Sin embargo, aprovecho la oportunidad para darle gracias a quienes intervinieron en el proceso de mí formación:

Agradezco primeramente a Dios, por el don de la vida y por hacer que posible a las metas sean posibles, a mi abuela Joana José Camilo, a mis padres Osvaldo Camilo Pedro y Esperança da Cruz Correia, a mis tíos por estar siempre pendientes para lo que necesite y a mí familia en general, a mis tutores Dr.C. José P. Monteagudo Yanes por los consejos que me ha dado, por la paciencia que ha tenido conmigo por ser un modelo de profesional y sobretodo, por ser como un padre para mi, Dr. C. Julio R. Gómez Sarduy por los conocimiento en electricidad que me ha enseñado sin los cuales no sería capaz de entender muchos conceptos que me fueron útiles en la realización deste trabajo de investigación y por estar siempre dispuesto a esclarecerme algunas dudas, Msc. Reinier Jiménez por la disponibilidad que siempre en ayudarme, por los consejos que me ha dado y sobre todo por ser un amigo, y Ing. Andrés Lorenzo Álvarez González por la paciencia que ha tenido conmigo y por haber podido explicarme siempre que se le presentara alguna duda relacionada a algún trabajo de investigación u no solo, a mí Lázara Pérez por ser mí guía durante todo este largo proceso, muchas gracias por sus pertinentes consejos, primo Emanuel Bartolomeu Aníbal Manuel por el apoyo incondicional que me ha dado siempre, a mis amigos y colegas especialmente, Gaspar Sapalo Cesa, Leonardo Sapalo Lucas y Rosildo Correia de Oliveira por el apoyo que me dan brindado siempre que los necesito.

Problema científico:

La empresa MICALUM Cienfuegos satisface sus necesidades de energía eléctrica del suministro procedente del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) generado a partir de combustibles fósiles de alto costo e impacto ambiental.

Hipótesis:

El anteproyecto de un sistema solar fotovoltaico para la generación y suministro de energía eléctrica a la empresa MICALUM Cienfuegos debe producir una reducción en el costo e impacto ambiental, dado por la energía eléctrica, proveniente de combustible fósil

Objetivo general:

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

Objetivos específicos:

1. Definir el estado actual y tendencias del uso de sistemas fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a edificaciones.
2. Realizar el inventario de cargas eléctricas.
3. Desarrollar el cálculo técnico de selección de las instalaciones fotovoltaicas a montar sobre la estructura de las naves.
4. Evaluar técnica y económicamente las soluciones propuestas.

Resumen

Esta tesis es el anteproyecto de un sistema fotovoltaico que se desea instalar en la empresa MICALUM, donde se analizan las condiciones geográficas y climáticas, el promedio de radiación anual que recibe, área disponible para la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), con el objetivo de disminuir la dependencia de la electricidad producida a partir de combustibles fósiles, causando un menor impacto ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero, en las empresas de producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Además, se analizan los portadores energéticos que se consumen en la empresa, en especial la electricidad, donde se consumen, las medidas de ahorro para que se optimice el consumo de electricidad.

Se usan métodos de cálculo tradicional y simulación de los resultados a través del software PVsyst para el análisis de los resultados obtenidos. Al final se hace un análisis del impacto económico y ambiental que conllevaría la instalación de un sistema fotovoltaico en MICALUM.

Palabras Claves: Energía fotovoltaica, impacto medioambiental, método tradicional. PVsyst.

Summary

This thesis is the preliminary project of a photovoltaic system to be installed at the MICALUM company, where the geographical and climatic conditions are analyzed, the average annual radiation it receives, the area available for the installation of a photovoltaic solar system connected to the National Electric System (SEN), with the aim of reducing the dependence on electricity produced from fossil fuels, causing less environmental impact from the emission of greenhouse gases, in companies that produce electricity from fossil fuels. In addition, the energy carriers that are consumed in the company are analyzed, especially electricity, where they are consumed, and the saving measures to optimize electricity consumption.

Traditional calculation methods and simulation of the results are used through the PVSyst software for the analysis of the results obtained. At the end, an analysis is made of the economic and environmental impact that the installation of a photovoltaic system in MICALUM would entail.

Key Words: Photovoltaic energy, environmental impact, traditional method. PVSyst.

Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO 1 - Estado Actual y Tendencias en el Estudio de los Sistemas Solares Fotovoltaicos Colocados en las Cubiertas de Edificaciones	3
1.1 - Sistemas solares fotovoltaicos utilizados en cubiertas de edificaciones	3
1.2 - La Radiación Solar.....	5
1.3 - Tipos de Radiación Solar	6
1.4 - Energía Fotovoltaicas.....	8
1.5 - Buenas Prácticas en el Campo de la Solar Fotovoltaica a Nivel Internacional.....	9
1.5.1 - Bhadla Solar Park. 2.245 MW. India	9
1.5.2 - Sanyo Solar Ark (Japón)	10
1.6 - Buenas Prácticas en el Campo de la Solar Fotovoltaica a Nivel Nacional.....	10
Desarrollo de Mariel (ZEDM)	11
1.6.2 - Ronera Central de Santo Domingo (Villa Clara).....	12
1.6.3 - Pinar del Río.....	13
1.7 - Centrales Fotovoltaicas	14
1.7.1 - Tipos Centrales Fotovoltaicas.....	14
1.7.2 - Centrales Fotovoltaicas en Edificios	14
1.7.3 - Sistemas fotovoltaicos conectado a la red	14
1.7.4 - Central Fotovoltaica para Autoconsumo.....	17
1.7.5 - Componentes y Características de las Plantas Fotovoltaicas	17
1.8 - Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica.....	18
1.9 - Elementos Comunes de una Instalación Solar Fotovoltaica	18

1.9.1 - Panel Fotovoltaico	18
1.9.3 - Seguidores Solares	21
1.9.4 - Cableado eléctrico	22
1.10 - Ventajas	22
1.11 - Desventajas	23
1.12 - Pocos fallos en instalaciones fotovoltaicas antiguas	23
1.12.1 - La calidad de los equipos ha mejorado rápidamente	23
1.12.2 - Fallos comunes y prácticas inadecuadas	25
1.13 - Imágenes de daños posibles en una instalación fotovoltaica	26
1.14 - Seguridad de la instalación	28
1.14.1 - Este objetivo de protección se puede lograr a través de lo siguiente:	29
1.14.2 - Medidas de seguridad para el instalador	29
1.15 - Medidas para minimizar los riesgos eléctricos	30
1.16 - Plan de mantenimiento	31
1.16.1 - Limpieza y mantenimiento	32
1.17 - Conclusiones parciales	33
CAPÍTULO 2 - Caracterización Energética del Sistema de Suministro Eléctrico de la Empresa MICALUM Cienfuegos	34
2.1 - Balance de energía	34
2.2 - Revisión energética	36
2.3 - Censo de cargas	39
Principales equipos del proceso productivo que influyen en el consumo energético eléctrico de la entidad productiva	40
2.4 - Medidas de ahorro	42
2.4.1 - Iluminación	43

2.4.1.1 - Periodo Simple de Recuperación de la Inversión (PSRI)	45
2.5 - Conclusiones parciales	45
CAPÍTULO 3. Desarrollo del Anteproyecto Técnico del Sistema Fotovoltaico Para la Generación y Suministro de Energía Eléctrica a la Empresa MICALUM Cienfuegos.	
	46
3.1 - Ubicación y características	47
3.2 - Características constructivas de las edificaciones de la empresa MICALUM	48
3.3 - Área disponible para los sistemas fotovoltaicos	49
3.4 - Metodología de cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)	50
3.4.1 - Selección de los módulos	51
3.5 - Cálculo del sistema solar fotovoltaico mediante el PVSYST 6.86	51
3.6 - Verificación de los resultados de una de las naves con el método tradicional	57
3.7 - Conclusiones parciales	62
CAPÍTULO 4 - Efecto Económico del Sistema Solar Fotovoltaico en la Entidad Productiva	
	63
4.1 - Análisis económico	63
4.2 - Conclusiones parciales	65
Conclusiones generales	66
Recomendaciones	67
Bibliografía	68
Anexos	73
Anexos I - Listado de Fallos Comunes y Prácticas Inadecuadas Parámetros, Fallos / Prácticas Inadecuadas	73
Anexos II – Características energéticas	79

Anexos III – Diseño de la Instalación	81
Anexos IV – Resultados económicos.....	87

Introducción

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una disposición de metales sobre un sustrato llamado célula solar de película fina. (Heredia, 2013)

Entre los años 2001 y 2012 se ha producido un crecimiento exponencial de la producción de energía fotovoltaica, doblándose aproximadamente cada dos años. Si esta tendencia continua, la energía fotovoltaica cubriría el 10% del consumo energético mundial en 2018, alcanzando una producción aproximada de 2.200 TWh, y podría llegar a proporcionar el 100% de las necesidades energéticas actuales en torno al año de 2027. (Heredia, 2013)

El uso de las energías renovables se ha incrementado considerablemente en los últimos años con un crecimiento a nivel mundial alrededor del 20% anual, debido a la toma de conciencia sobre los efectos nocivos al medio ambiente que provoca el uso indiscriminado de los combustibles fósiles. (Fernández L., 2017)

En el desarrollo energético cubano se ha tenido en cuenta la utilización de la energía solar fotovoltaica, acumulando experiencia en más de 20 años durante los cuales se han instalado más de 8000 sistemas fotovoltaicos en escuelas, salas de video, consultorio médicos, etc.

A partir de los últimos años en nuestro país se han instalado sistemas fotovoltaicos conectados a la red en techos con sistemas hasta de 100 kWp y de campos solares hasta 5 MWp, lograr un 100% de autoabastecimiento energético con FRE es un reto para esta generación. La política de desarrollo de estas fuentes concibe la construcción de una nueva fábrica de paneles solares que comenzará a producir a partir de 2020 anualmente unos 20.000 módulos solares de 250 Wp.

La proyección del país es instalar 700 MWp en sistemas fotovoltaica interconectados a la red para 2030. Para lograr esta meta es necesario una cultura

ampliada de la instalación de estos sistemas en instalaciones estatales; casas, escuelas y otras edificaciones en puntos de energía positiva, o sea lugares donde se produzca más energías eléctrica que la que se consume.

A solicitud de la dirección de la empresa MICALUM de Cienfuegos se realiza este trabajo, producto de la necesidad de conocer si la empresa MICALUM Cienfuegos dispone de un sistema solar fotovoltaica puede satisfacer, en el horario diurno, parte del consumo de energía eléctrica en su proceso productivo y entregar al Sistema Eléctrico Nacional energía eléctrica sin el uso de combustible fósil y menor impacto ambiental.

CAPÍTULO 1 - Estado Actual y Tendencias en el Estudio de los Sistemas Solares Fotovoltaicos Colocados en las Cubiertas de Edificaciones

1.1 - Sistemas solares fotovoltaicos utilizados en cubiertas de edificaciones

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas y otros materiales de construcción. (Montoro, 2013)

Los sistemas fotovoltaicos sobre tejados y cubiertas son de pequeño a mediano tamaño, esto es de 5 kW a 200 kW. Aunque a veces se supera este valor y se alcanzan dos o tres MW. Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas. Las fachadas solares son elementos enormemente fiables que aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad (Montoro, 2013)

Dentro del sector de la energía solar fotovoltaica quedan definidas dos ramas principales en lo referente a la integración en la edificación:

Construcciones Fotovoltaicas Adjuntas (Building Attached Photovoltaics – BAPV): Consiste en añadir productos tradicionales fotovoltaicos, en la mayoría de los casos se trata de soluciones tipo paneles sobre estructura fija anclada en cubierta de edificio o en fachada (marquesinas). Por lo general se trata de soluciones que afectan de manera negativa a la estética del edificio, sin embargo, tienen la ventaja de que se pueden instalar en edificios existentes sin que los costes aumenten en demasía. (Rubio, 2016).

La figura 1.1 presenta un ejemplo de paneles sobre estructuras añadidos a las cubiertas de una edificación.



Figura 1.1: Ejemplo producto BAPV. (Rubio, 2016)

Integración Fotovoltaica en Edificios (Building Integrated Photovoltaics – BIPV): Proporcionan una solución técnica (generación de energía) en armonía con el edificio existente; puede ser mediante la sustitución de materiales de la envolvente por superposición.

La Integración Fotovoltaica en Edificios supone la sustitución de materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos fotovoltaicos que son generadores de energía. (Madrid Solar)



Figura 1.2: Ejemplos más comunes de aplicaciones de integración fotovoltaica. (Rubio, 2016)

A continuación, se enumeran las aplicaciones más comunes de la integración fotovoltaica en edificios:

- Cubiertas (acristaladas, sobre tejado).
- Lucernarios.
- Pérgolas.

- Muros cortinas.
- Fachadas de doble piel.
- Revestimientos de fachadas.
- Protección con lamas o voladizos.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios tienen unas características particulares:

- No producen ruido.
- No incluyen partes móviles.
- Son modulares y fácilmente manejables como elementos de construcción.

Los módulos fotovoltaicos se convierten en las instalaciones de integración en edificios en un material más de construcción. Y este factor es clave para entender el desarrollo que en los últimos años está teniendo la industria fotovoltaica a la hora de buscar nuevos materiales, cada vez más atractivos, para aplicar en los edificios. (Madrid Solar)

La energía solar fotovoltaica es una forma de energía renovable, cuyos generadores fotovoltaicos pueden ser usados por los arquitectos para desempeñar una función constructiva. Además, otra característica a destacar es el respeto y la colaboración con el medio ambiente, ya que estas soluciones no contaminan, constituyen la forma más limpia de generar electricidad. En estos tiempos en los que el calentamiento global ocupa buena parte de las agendas de los gobiernos, tanto a nivel local como global, la utilización de sistemas alternativos para generar energía verde, limpia, constituyen en sí mismos un atractivo añadido cada vez más común. (Madrid Solar)

1.2 - La Radiación Solar

La radiación solar, es la energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas, que van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La unidad práctica que describe la radiación solar es la irradiación o irradiancia, y se mide en

(W/m^2) varia dependiendo del lugar, así se tiene que en las regiones más despejadas (desiertos), la radiación llega hasta un máximo de $275 W/m^2$, mientras que en el ártico la radiación es mínima $75 W/m^2$, entonces la radiación media global es aproximadamente de $175 W/m^2$. (Zhumi, 2012)

En la figura 1.3, se observa la pérdida de eficiencia de la radiación solar, porque no toda la radiación emitida por el Sol hacia la Tierra, inside directamente a la superficie de esta, pues parte de la energía radiada desde el Sol se va perdiendo a lo largo de su trayecto a la superficie.

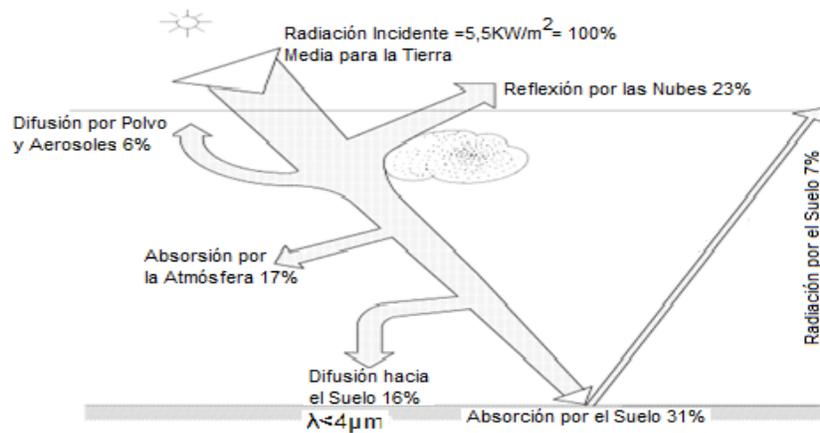


Figura 1.3: Eficiencia de la radiación solar. (Rodríguez, 2014)

1.3 - Tipos de Radiación Solar

En función de cómo inciden los rayos en la superficie terrestre, se distinguen tres componentes de la radiación solar directa, difusa y total. (Zhumi, 2012)

- **Radiación solar directa:** es aquella que procede del sol e incide sobre la superficie terrestre sin cambiar de dirección, excepto debida a la refracción atmosférica, esta radiación proviene de una dirección claramente definida.
- **Radiación solar difusa:** es la parte de la radiación solar, que por choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire se han difundido al atravesar la atmosfera. Proviene de toda la bóveda de cielo visible desde la superficie terrestre, no es direccional y puede considerarse uniforme para todo el hemisferio celeste.

- **Radiación global o total:** es la suma de la radiación directa y difusa.

La radiación solar, al pasar por la atmósfera, sufre algunos procesos de extinción: se refleja en las nubes y vuelve al espacio, se propaga y cambia de dirección, es absorbida por el vapor de agua y los aerosoles, llega directamente a la tierra, se difunde, particularmente los fotones de alta energía y por eso el cielo se ve azul, o se refleja en la superficie terrestre, como se aprecia en la figura 1.4.

El espesor de la atmósfera, determina cuanta energía se pierde hasta llegar a la superficie terrestre.

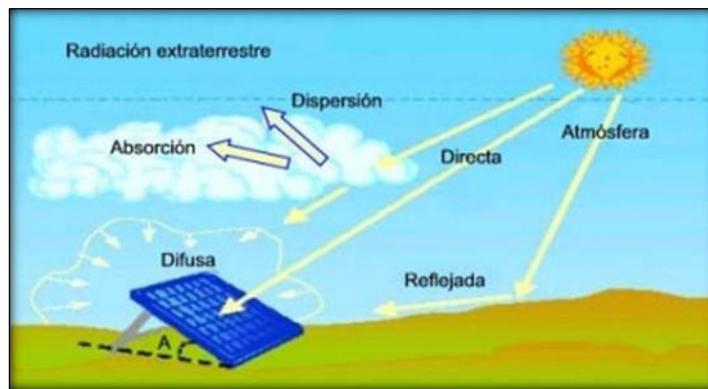


Figura 1.4: Componentes de la radiación solar. (Rubio, 2016)

La obtención de electricidad a través de las celdas fotovoltaicas se logra con la conformación de los llamados módulos o paneles solares fotovoltaicos, compuestos por dispositivos semiconductores tipo diodo (celdas fotovoltaicas) que al absorber la radiación solar se estimulan y generan saltos de electrones, creando diferencias de potencial en sus extremos. Con el acoplamiento en serie de estas celdas se obtiene una tensión a corriente directa, adecuados para alimentar dispositivos electrónicos sencillos mientras que, a mayor nivel, esta corriente eléctrica generada por los paneles puede transformarse en corriente alterna e inyectarse en la red eléctrica. (Fernández, 2017)

1.4 - Energía Fotovoltaicas

La energía fotovoltaica se encuentra en su momento de mayor crecimiento a nivel mundial, potenciado principalmente por el desarrollo de esta tecnología en los últimos años, en algunos países de Asia, como China, India o Japón. En el año 2018, la energía fotovoltaica superó la barrera de los 400 GW acumulados, superando los 393 GW nucleares en el mundo; mientras que el año anterior ya fue un hito memorable el que se alcanzaran los 300 GW. En ese año lo que respecta a la potencia total instalada, cabe destacar que, entre China, Estados Unidos, Japón y Alemania, esto es, los cuatro países con mayor potencia instalada en el año 2018, cubrían casi el 70% de la potencia instalada total. (Junta de Castilla y León, 2018)

En los últimos años la incorporación de este tipo de tecnología en los mercados energéticos está siendo imparable: durante el año 2016 la potencia mundial instalada aumentó un 50%, y en 2017 un 38,7%. En este sentido, en el año 2016 la potencia mundial instalada fue de 75 GW, alcanzándose los 303 GW de capacidad acumulada en todo el mundo, mientras que el pasado año estas cifras se superaron con creces, rondándose los 100 GW instalados. (Junta de Castilla y León, 2018)

El establecimiento de un marco regulatorio estable y favorable hacia las energías renovables es de vital importancia para el desarrollo de la fotovoltaica. En los últimos años, las políticas económicas de apoyo a la energía fotovoltaica de los distintos países han ido pasando de retribuciones en forma de tarifas, a otros mecanismos retributivos como son las subastas. Al respecto de estas, dado el grado de aprendizaje alcanzado en la fotovoltaica y su continua reducción de costos, la tecnología se ha convertido en plenamente competitiva frente al resto de tecnologías de generación.

La evolución del precio del módulo fotovoltaico de panel plano, refleja un claro y continuado descenso de costos, el precio del panel fotovoltaico ha caído un 89% desde el año 2007, a causa del desarrollo y la evolución de esta tecnológica.

El abaratamiento de los equipos inversores con el paso del tiempo también se ha producido, pero en mucha menor medida que la espectacular curva descendente de precios de los paneles solares, concretamente la evolución del precio de los inversores solares fotovoltaicos, por unidad de potencia, refleja un claro y continuado descenso de costes, pero mucho más blando. (Junta de Castilla y León, 2018)

1.5 - Buenas Prácticas en el Campo de la Solar Fotovoltaica a Nivel Internacional

1.5.1 - Bhadla Solar Park. 2.245 MW. India



Figura 1.5: Parque fotovoltaico en India, Bhadla Solar Park. 2.245 MW

Fuente: (Roca, 2020)

Hero Future Energies, una de las principales compañías privadas de energía renovable de la India, ultimó a finales de marzo de 2020, un proyecto de energía solar de 300 MW en el parque de energía solar de Bhadla en Rajasthan. Con este proyecto, el parque solar ahora está completo con una capacidad instalada de 2.245 MW y se convierte en el más grande del mundo. (Roca, 2020)

El parque solar de Bhadla es significativo en muchos aspectos. El parque solar registró varios precios récord durante algunas subastas altamente competitivas. Los proyectos en el parque solar fueron desarrollados por múltiples compañías a través de una asociación público-privada.

1.5.2 - Sanyo Solar Ark (Japón)

Es un edificio con una arquitectura fotovoltaica en Japón de 315 m de largo, 37 m de alto, con formas curvas, elegantes y rotundas a la vez, muy al estilo japonés, un edificio puente, un cuadrado curvo y gigante forrado de 5000 paneles fotovoltaicos. Se construyó en 2005 para la exposición universal de Aichi, como un icono de lo que puede conseguir la arquitectura integrada con las tecnologías productoras de energías renovables. (Marrero, 2018)



Figura1.6: Arquitectura fotovoltaica en Japón, Sanyo Solar Ark. (Marrero, 2018)

1.6 - Buenas Prácticas en el Campo de la Solar Fotovoltaica a Nivel Nacional El Hospital General Doctor Juan Bruno Zayas (Santiago de Cuba)

El Hospital General Doctor Juan Bruno Zayas, de la ciudad santiaguera, tiene instalado el mayor Parque solar fotovoltaico sobre cubierta en el país, así como contribuye al ahorro de combustible.

Está formada por 384 paneles con una potencia de 96 kWp, que ocupa una extensión de 600 metros cuadrados sobre los techos de la cisterna y la lavandería del centro asistencial. Al captar la energía solar durante aproximadamente cinco horas al día, el parque fotovoltaico garantiza el consumo total de 14 salas y la lavandería, que favorece a cerca de 700 pacientes.

El Clínico Quirúrgico Juan Bruno Zayas, como también se le conoce, es un alto consumidor de energía, al igual que todos los hospitales de Cuba, y esta energía alternativa es utilizada en función de brindar un buen servicio al paciente en la

cocción de los alimentos, el agua caliente para el baño de los enfermos, así como la iluminación de las salas. (Redacción Digital, 2019)

Desarrollo de Mariel (ZEDM)

En las zonas de actividades logísticas de la Zona Especial de Desarrollo de Mariel (ZEDM), por ejemplos, las empresas cubanas Servicios Logísticos Mariel, TRD y CIMEX operan extensas plataformas de almacenamiento, con cubiertas que suman más de 22 000 m². (Prensa Latina, 2019)

En ellas se han instalado 9 480 paneles fotovoltaicos, que tienen un potencial total de 2.4 MWh, lo cual permite satisfacer la demanda de sus operaciones y vender el excedente a la Unión Eléctrica Cubana.

La base logística de TRD ha aportado al sistema eléctrico 1.1 GWh, mientras que CIMEX reporta una entrega de 900 MWh y Servicios Logísticos Mariel, genera como promedio mensual 138 MWh y su suministro a la red nacional supera los 2.5 GWh. (Prensa Latina, 2019)

En la terminal intermodal de Angosta, los techos tienen instalados paneles solares con una potencia total de 125 kWh. Esta energía generada contribuye a cubrir una parte del consumo de electricidad en la edificación. El centro de Elaboración de Alimentos, cubre el 75% de su consumo diario de electricidad mediante la generación de energía solar. Los 2520 paneles instalados sobre su cubierta de 280 W, tienen una capacidad máxima instalada de 705 kW y generan como promedio diario 4 MWh. (Prensa Latina, 2019)

En la figura 1.7, se observa paneles solares instalados sobre cubiertas de la Zona de Desarrollo de Mariel.



Figura 1.7: Paneles fotovoltaicos sobre las naves de la Zona de Desarrollo de Mariel. **Fuente:** (Prensa Latina, 2019)

1.6.2 - Ronera Central de Santo Domingo (Villa Clara)

Aprovechando las características de los techos de la fábrica, fue instalado un parque solar fotovoltaico, compuesto por un total de 2 752 paneles, capaces de generar más de 900 MW al año. (Cabrera, 2018)

Pionera en el uso de la energía solar en Cuba, la estrategia se vincula a las acciones encaminadas a prevenir, mitigar y eliminar impactos negativos de quehacer industrial al entorno en la elaboración de rones. (Cabrera, 2018)

Del total de la energía producida por los paneles a partir del empleo de la luz solar, la fábrica consume 38% y entrega el resto es decir el 62%, al Sistema Eléctrico Nacional (SEN) lo cual significa un importante ahorro y eficiencia en la producción Ronera. (Cabrera, 2018)

Con esa práctica se han dejado de emitir a la atmósfera 1 9142 toneladas de dióxido de carbono y no ha sido necesario el empleo de 473 toneladas de crudo, lo cual ahorro a la economía de la Empresa. (Cabrera, 2018)

En la figura 1.8, se observa paneles solares dispuestos sobre la cubierta de empresa Ronera Central de Santo Domingo, Villa Clara. Estos paneles se disponen de forma horizontal, uno al lado del otro y siguiendo la inclinación de la cubierta.



Figura 1.8: Paneles fotovoltaico sobre el techo de la Empresa Ronera Central de Santo Domingo. **Fuente:** (Cabrera, 2018)

1.6.3 - Pinar del Río

Con la entrada en funcionamiento de cuatro nuevos parques fotovoltaicos, con una potencia conjunta de más de 10MW_p, la capacidad de generación de esta provincia mediante el uso de la energía solar creció a más del doble durante el último año.

En total, los ocho parques con que cuenta actualmente el territorio entregaron en 2018 al sistema 22 327MWh, una cifra que supera lo que se había generado anteriormente, desde la puesta en marcha de la primera de esas instalaciones en 2015.

El empleo, de la energía solar ha hecho posible, además, que más de mil viviendas de zonas muy apartadas hayan recibido el servicio eléctrico, mediante la instalación de un módulo compuesto por paneles y baterías. (Rivas, 2019)

En la figura 1.9, se ve un operario realizando una operación de mantenimiento en la UEB Fuentes Renovable de Energía de Pinar del Río.



Figura 1.9: UEB Fuentes Renovables de Energía, Pinar del Rio. **Fuente:** (Rivas, 2019)

1.7 - Centrales Fotovoltaicas

La corriente eléctrica generada por una instalación fotovoltaica puede ser vertida a la red eléctrica como si fuera una central de producción de electricidad convencional, constituyendo lo que se conoce como central fotovoltaica.

1.7.1 - Tipos Centrales Fotovoltaicas

Las centrales para generación de energía eléctrica se pueden encontrar en una ubicación en la que no existe una instalación consumidora de energía, por ejemplo, en una finca situada en un entorno rústico, o en un edificio, donde exista actividad y consumo de energía eléctrica. (Naturgy, 2018)

1.7.2 - Centrales Fotovoltaicas en Edificios

Según el objetivo de la central fotovoltaica esta puede estar destinada a la generación de energía para vertido total a la red, o para el autoconsumo parcial o total de la energía eléctrica generada.

1.7.3 - Sistemas fotovoltaicos conectado a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aquellos que están directamente conectados a la red eléctrica y tienen como objetivo principal maximizar anualmente la producción de energía eléctrica que es inyectada a la red. Una instalación conectada a la red eléctrica convencional está formada por el conjunto de módulos fotovoltaicos y un inversor capaz de convertir la corriente continua del grupo solar en corriente alterna, inyectándola en la misma frecuencia

y fase que la existente en cada momento en la red de distribución. (Roqueta, 2014)

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica sin baterías han despegado en el mercado global de forma notable a partir del año 2000 y especialmente en países desarrollados. Más aún, en tiempos recientes se ve una marcada tendencia de crecimiento del resto del mundo en estos sistemas fotovoltaicos. Este incremento se ha debido a diversos factores como son las presiones ambientales, elevación de los costos de los combustibles fósiles tradicionales, y la incertidumbre de oferta de estos combustibles. Por otra parte, el progreso de los componentes de potencia electrónica ha logrado avances en los equipos de acondicionamiento de energía resultando en menores costos de sistemas fotovoltaicos, mayor eficiencia, mayor confiabilidad y durabilidad de los equipos y algo muy importante, mayor simplicidad en instalación de los sistemas fotovoltaicos. (Roqueta, 2014)

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es un tipo de instalación eléctrica en la que intervienen cinco elementos:

- La energía solar.
- Un grupo de módulos solares fotovoltaicos convenientemente conectados, y situados de tal manera que reciban la mayor cantidad de luz solar a lo largo del año.
- El inversor fotovoltaico de conexión a red eléctrica.
- Las protecciones eléctricas.
- La red eléctrica.

En la figura 1.10, se puede observar el proceso de conducción de la corriente eléctrica desde generada en los módulos fotovoltaicos, dispuestos vertical y horizontalmente sobre una estructura metálica, la corriente continua generada en los módulos pasa por los inversores de red, para transformarla en corriente alterna, de los inversores pasa por una subestación a donde se verifican la potencia que se vierte a la red y donde se garante que los parámetros de la corriente, voltaje y frecuencia para que sean similares al de la red, para que no

haya perturbaciones en la misma. De la subestación corriente se vierte al SEN y de este para los centros de consumo.

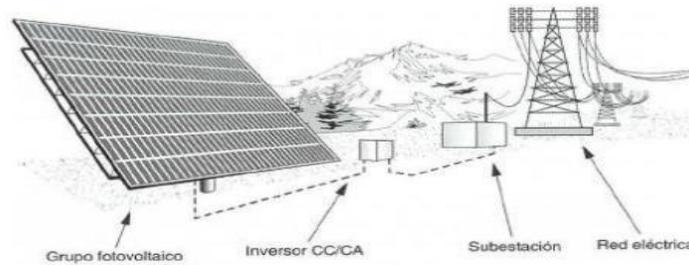


Figura 1.10: Elementos de un sistema fotovoltaico de conexión a red. **Fuente:** (Roqueta, 2014)

El funcionamiento del sistema solar se realiza de forma completamente automática, tanto para su puesta en marcha como para su parada:

- Al amanecer, los dispositivos de control del sistema miden la potencia disponible en el generador fotovoltaico. Una vez alcanzado el nivel mínimo de funcionamiento, el inversor arranca y comienza la generación de corriente.
- Al anochecer, cuando se detecta un nivel de potencia del generador inferior al mínimo con el que puede funcionar, el equipo se desconecta hasta un nuevo amanecer.

Con sistemas conectados a la red toda la energía producida se vierte a la misma, independientemente del consumo que se tenga, ya que este consumo se realiza a través de la conexión convencional que se tenía antes de la instalación de los paneles. En estos casos el usuario no percibe ningún cambio en el servicio eléctrico que recibe, manteniendo las mismas ventajas (seguridad de suministro) e inconvenientes (riesgo de eventuales cortes de luz), pero sabiendo que cada kW que produzca con módulos fotovoltaicos es uno menos que se genera en las centrales convencionales (térmicas o nucleares). Dentro de las instalaciones solares fotovoltaicas a red se distinguen varios tipos:

1.7.4 - Central Fotovoltaica para Autoconsumo

En este caso parte o la totalidad de la energía eléctrica generada es consumida en las propias instalaciones, generando un ahorro económico por la reducción de compra de energía eléctrica de la red, además de una mejora ambiental al generarse la energía de forma totalmente limpia.

1.7.5 - Componentes y Características de las Plantas Fotovoltaicas

Los rangos de potencia pueden ser muy variables, siendo las potencias más usuales entre 2,5 kW y 5 kW o múltiplos de 5 kW hasta 100 kW. Existen instalaciones mayores, destinadas en este caso a la generación a gran escala, generalmente propiedad de generadores eléctricos. (Naturgy, 2018)

Algunas de las aplicaciones más comunes de estos sistemas son:

- **Instalaciones en viviendas:** se trata de instalaciones en tejados, terrazas, etc. de viviendas que dispongan de conexión a la red de distribución eléctrica y se aprovecha la superficie del tejado para colocar sistemas modulares de fácil instalación, usando generalmente estructuras prefabricadas.
- **Plantas de producción:** son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rústicas o rurales no aprovechadas para otros usos (recibiendo el nombre genérico de “huertas solares”) o sobrepuestas en grandes cubiertas de zonas urbanas, dotando a la estructura de un valor añadido adicional (aparcamientos, zonas comerciales, etc.)
- **Integración en edificios:** consiste en la sustitución de elementos arquitectónicos convencionales por nuevos elementos arquitectónicos que incluyen sistemas fotovoltaicos, y que por tanto son generadores de energía, por ejemplo, usando recubrimientos de fachadas, muros cortina, parasoles, pérgolas, etc.

1.8 - Elementos de una Instalación Solar Fotovoltaica

Una instalación solar fotovoltaica es una instalación cuyo objetivo es la generación de electricidad mediante la radiación solar. Por lo tanto, se trata de una fuente de energía renovable.

Los componentes de este tipo de instalaciones variarán dependiendo de si se trata de una planta solar conectada a la red eléctrica o es una instalación solar aislada. De todos modos, la diferencia entre ambos sistemas se basa en la gestión de la energía generada. En las instalaciones aisladas, la energía eléctrica generada se puede utilizar directamente o almacenarla en baterías solares. En el caso de las instalaciones conectadas a la red, la electricidad generada se suministra a la red eléctrica general para su distribución.

1.9 - Elementos Comunes de una Instalación Solar Fotovoltaica

A pesar de las diferencias entre las instalaciones conectadas a la red y las instalaciones autónomas existen algunos elementos comunes:

- Los Paneles Fotovoltaicos.
- Los Inversores de Corriente.
- Los Seguidores Solares.
- Cableado Eléctrico.

1.9.1 - Panel Fotovoltaico



Figura 1.11: Partes componentes de un Panel Fotovoltaico. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)

El panel solar fotovoltaico es el elemento captador de la radiación solar y el encargado de transformar la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas.

La célula fotovoltaica es la parte del panel fotovoltaico encargada de transformar la radiación solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico. El resultado es una corriente eléctrica en corriente continua.

Generalmente, un módulo o panel solar fotovoltaico consiste en una asociación de células fotovoltaicas. Esta asociación se encuentra encapsulada en dos capas entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico u otra lámina de cristal. La lámina de cristal se utiliza cuando se desea obtener módulos con algún grado de transparencia. Habitualmente este conjunto de elementos se enmarca en una estructura de aluminio anodizado. El objetivo de esta estructura de aluminio es el de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo fotovoltaico a las estructuras de soporte.

Las células fotovoltaicas más comúnmente empleadas en los paneles fotovoltaicos son de silicio, y se puede dividir en tres subcategorías:

- Las células fotovoltaicas de silicio monocristalino están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.
- Las células fotovoltaicas de silicio policristalino o multicristalino están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de las células monocristalinas.
- Las células de silicio amorfo. Son menos eficientes que las células de silicio cristalino, pero también menos costosas. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones como calculadoras o pequeños aparatos que no requieren de una gran cantidad de energía.

1.9.2 - Inversores de corriente

El inversor es un aparato electrónico encargado de convertir la corriente continua generada en corriente alterna.

El panel solar fotovoltaico proporciona electricidad en forma de corriente continua. Esta corriente se puede transformar en corriente alterna mediante el inversor de corriente e inyectar en la red eléctrica o bien en la red interior.

El proceso, simplificado, sería el siguiente: Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor de corriente en corriente alterna. En plantas de potencia eléctrica inferior a 100 kW se inyecta la energía directamente a la red de distribución en baja tensión (400 voltios en trifásico o 230 voltios en monofásico). Y para potencias superiores a los 100 kW se utiliza un transformador para elevar la energía a media tensión (hasta 36 kV) y se inyecta en las redes de transporte para su posterior suministro. (Planas, 2016)



Figura 1.12: Ilustración Inversor de Corriente. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)

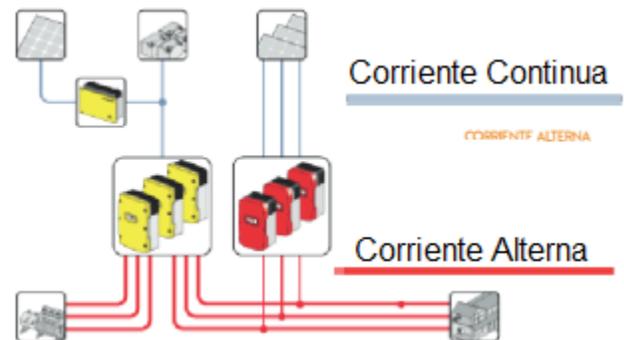


Figura 1.13: Ilustración inversión de Corriente Continua a Alterna. **Fuente:** (Elaboración Propia)

1.9.3 - Seguidores Solares

Los seguidores solares son unos mecanismos que van orientando la posición de los paneles fotovoltaicos dependiendo de la posición del Sol para aumentar su rendimiento. Su utilización es bastante habitual en la producción de energía solar.

Los seguidores solares permiten aumentar considerablemente la producción solar, en torno al 30 % para los primeros y un 6 % adicional para los segundos, en lugares de elevada radiación directa.

Existen seguidores solares de varios tipos:

- Seguidores solares en dos ejes: la superficie del panel fotovoltaico se mantiene siempre perpendicular al Sol.
- Seguidores solares en un eje polar: la superficie del panel solar gira sobre un eje orientado al sur e inclinado un ángulo igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.
- Seguidores solares en un eje azimutal: la superficie gira sobre un eje vertical, el ángulo de la superficie es constante e igual a la latitud. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano local que contiene al Sol.
- Seguidores solares en un eje horizontal: la superficie gira en un eje horizontal y orientado en dirección norte-sur. El giro se ajusta para que la normal a la superficie coincida en todo momento con el meridiano terrestre que contiene al Sol.



Figura 1.14: Ilustración de un seguidor solar en un eje azimutal. **Fuente:** (Mur, 2016)

1.9.4 - Cableado eléctrico

El cableado eléctrico es el elemento que transporta la energía eléctrica desde su generación, para su posterior distribución y transporte. Su dimensionamiento viene determinado por el criterio más restrictivo entre la máxima diferencia de potencial y la intensidad máxima admisible.

Obviamente, el dimensionado del cableado eléctrico es mucho mayor en el caso de las instalaciones solares conectadas a la red, que las instalaciones solares aisladas. En el caso de las instalaciones aisladas sólo se requiere trasladar la energía eléctrica de forma local, generalmente a las baterías eléctricas. (Planas, Energía Solar, 2016)



Figura 1.15: Ilustración de cables para la distribución de la electricidad. **Fuente:** (Auna Distribución, 2019)

1.10 - Ventajas

Las aplicaciones donde los sistemas fotovoltaicos resultan ser los más competitivos, son los servicios en lugares aislados donde no llegan las líneas del Sistema Eléctrico Nacional. La mayor ventaja de estos sistemas es su autonomía e independencia, además de la confiabilidad en su funcionamiento. (Véronique Vallée, 2008)

Distribución amplia: el sol llega a todos los lugares.

- Sistema simple requiriendo poco mantenimiento.
- Duradero (15 a 20 años).

- Central eléctrica o sistemas independientes, se puede conectar a la red nacional.
- Es posible agregar paneles fácilmente si se necesita más potencia.
- Silencioso.

1.11 - Desventajas

- Paneles costosos
- Se pierde mucho entre la potencia del sol y la potencia eléctrica obtenida con la tecnología actual.
- Dispersión: para obtener densidades energéticas elevadas se necesitan grandes superficies de captación de los rayos solares.
- Intermitencia: por ejemplo, es poco eficiente durante los días lluviosos.

1.12 - Pocos fallos en instalaciones fotovoltaicas antiguas

La Sociedad Alemana de Energía (en alemán DGS) ha resumido un análisis realizado por Fraunhofer ISE y KfW sobre los fallos en sistemas instalados en Alemania en el programa de 1000 y 100.000 tejados. Descubrieron en primer lugar que un fallo total de los sistemas fotovoltaicos es extremadamente raro. Por otra parte, al parecer, en la mayoría de los casos en que hubo un fallo estaba relacionado claramente con los equipos.

1.12.1 - La calidad de los equipos ha mejorado rápidamente

Hoy en día, la mayoría de los equipos han mejorado sustancialmente en términos de calidad y seguridad. También los requisitos de validación se definen mejor que antes y los procesos de testeo están más estandarizados. En la tabla 1.1, se presentan algunos ejemplos de áreas donde se han producido problemas. También se explica cómo ha mejorado la fiabilidad en estas áreas - ya sea a través de la estandarización, las garantías o mejoras en los productos:

Tabla 1.1: Problemas de Calidad en los Sistemas Fotovoltaicos (Tsoutso, 2011)		
Módulos fotovoltaicos	Cables CC y conectores	Inversores fotovoltaicos
Estandarización IEC (IEC 61215, IEC 61646, IEC 62108 & IEC 61730)	Estandarización mejorada	Estandarización IEC (IEC 62109)
Vida útil garantizada por los fabricantes de módulos fotovoltaicos (90% después de 10 años y el 80% después de 25 años)	Aumento en la variedad de conectores	
	Vida útil de los cables mejorada, actualmente 45 años	
	Disponibilidad en el mercado de protecciones para cables.	
	Monitorización de aislamiento por los inversores	
	Interruptores (CA o CC)	
Problemas Relacionados con la Planificación, Diseño e Instalación		
No hay juntas de dilatación: disponibilidad de nuevas estructuras de montaje y juntas flexibles		
Metales incompatibles		
Dimensionamiento incorrecto del inversor FV / cables: disponibilidad de nuevas herramientas de simulación y diseño		

1.12.2 - Fallos comunes y prácticas inadecuadas

Dada la enorme variedad y modularidad de los sistemas fotovoltaicos, es obvio que un número significativo de errores puede darse debido a una formación insuficiente de los instaladores sobre la disponibilidad y parámetros técnicos de los diferentes componentes fotovoltaicos, así como sobre los requisitos nacionales en lo referente a los procesos administrativos, los requisitos de conexión a red y los reglamentos de construcción. Hay una serie de etapas en el desarrollo de un sistema fotovoltaico en las que pueden ocurrir errores:

- Selección de la ubicación;
- Diseño y planificación del sistema:
 - ✓ Selección de los componentes;
 - ✓ Fallos mecánicos;
 - ✓ Fallos eléctricos
- La instalación física de los componentes:
 - ✓ Fallos mecánicos;
 - ✓ Fallos eléctricos
- La seguridad (seguridad personal, así como la seguridad de la instalación, por ejemplo, a las exposiciones externas).
- Servicio, incluyendo la inspección y mantenimiento (insuficiente). Por ejemplo, muchos fallos de instalación de diferente gravedad fueron encontrados en 200 sistemas de los 1000 que fueron inspeccionados en el "Programa de los 1000 Tejados". La Tabla 4 ofrece una visión general sobre el tipo de defecto y la frecuencia de aparición.

Tabla 1.2: Tipo y frecuencia de los defectos de instalación (Tsoutso, 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	-

1.13 - Imágenes de daños posibles en una instalación fotovoltaica

Las figuras 1.16, 1.17, 1.18, 1.19 y 1.20, ilustran daños causados por incendio en una instalación fotovoltaica. Aún que, como se dijo anteriormente, difícilmente ocurre incendio en instalaciones fotovoltaicas, sin embargo, cuando ocurre es generalmente causado por factores externos, o sea, no directamente ligado con los componentes de la instalación.



Figura 1.16: Instalación Fotovoltaica sobre cubierta durante y después del incendio. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)

Se recomienda a los propietarios mantenerse alejado de la instalación e informar a los bomberos sobre los peligros particulares de la instalación.

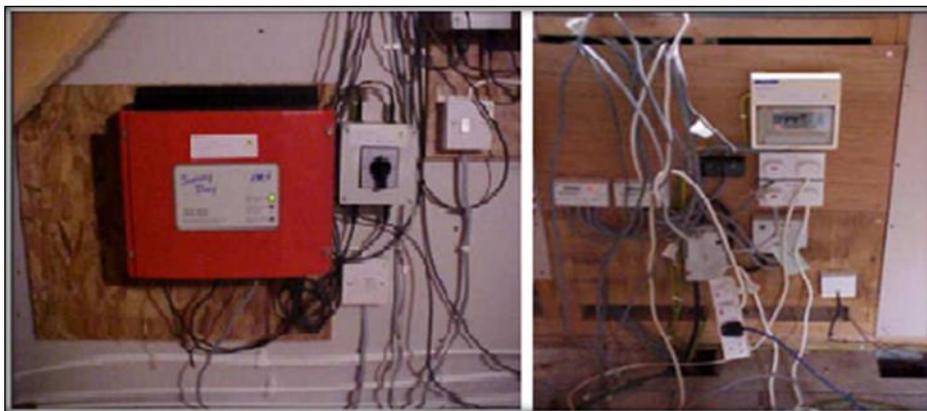


Figura 1.17: Cableado Inadecuado. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)



Figura 1.18: Cortocircuito y sobretensión en el Inversor. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)



Figura 1.19: Daño por rotura en la fijación del sistema. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)



Figura 1.20: Módulos dañados por una tormenta. **Fuente:** (Tsoutso, 2011)

1.14 - Seguridad de la instalación

Un elemento importante que está siendo también discutido ampliamente en algunos países de la UE es **la protección contra incendios**. En primer lugar, es fundamental entender que en incendios donde existía una instalación fotovoltaica, la causa del fuego fue debida principalmente a fuentes externas y en muy pocas ocasiones se ha registrado que el sistema fotovoltaico fuera la fuente del fuego (la polaridad incorrecta puede causar graves daños al campo fotovoltaico y a la electrónica del sistema, así como causar incendios en algunos sistemas). La preocupación no está tan relacionada con la calidad de los sistemas fotovoltaicos en sí, como con la seguridad de los bomberos al extinguir un incendio en un edificio con un sistema fotovoltaico. Por lo tanto, cuatro elementos son de vital importancia: el diseño de la instalación fotovoltaica, la calidad de los componentes fotovoltaicos, la calidad de la instalación y la comunicación con otras partes interesadas (tales como los departamentos de bomberos). También hay que señalar que se pueden tomar múltiples soluciones en las etapas de diseño e instalación, como la selección y diseño de la ubicación de los componentes con el fin de no bloquear el acceso a los cuerpos de bomberos, prever suficiente etiquetado y aplicarlo de manera correcta, el diseño del esquema eléctrico (de cables y otros equipos eléctricos) en conformidad con los requisitos de seguridad, etc.

El reciente **proyecto** "Prevención de Incendios PV y Medidas contra el Fuego" dirigido por BSW (Asociación Alemana de la Industria Solar) ha dado lugar a la publicación de un conjunto de directrices técnicas para los instaladores. Establece que "los sistemas fotovoltaicos intactos no representan un riesgo. En caso de incendio, la seguridad personal se puede mantener siguiendo los principios básicos para las instalaciones eléctricas."

1.14.1 - Este objetivo de protección se puede lograr a través de lo siguiente:

- Medidas organizativas, tales como:
 - ✓ Etiquetado de la instalación fotovoltaica en la caja de conexiones del edificio y en el distribuidor principal con un distintivo;
 - ✓ Planes generales de emergencia para los trabajadores;
 - ✓ Anexos a los planes de respuesta al fuego.
- Medidas estructurales, tales como:
 - ✓ Conducción resistente al fuego para el cable de CC;
 - ✓ Enrutamiento de los cables de alimentación de CC fuera del edificio;
 - ✓ Instalar el inversor fuera del edificio o en el punto de entrada del edificio, de manera que sólo el cableado de CA se ruta dentro del edificio.
- Medidas técnicas, como:
 - ✓ Interruptor de desconexión de CC, con control remoto por el departamento de bomberos en el área de la caja de fusibles del edificio principal, para cerrar la línea principal de CC o los ramales del módulo.

1.14.2 - Medidas de seguridad para el instalador

La electricidad siempre fluye a través del camino que ofrezca la menor resistencia. El cuerpo humano presenta poca resistencia a las corrientes eléctricas debido a su alto contenido de agua y electrólitos. Las siguientes condiciones se aprovechan de las buenas propiedades de conducción del cuerpo humano y pueden causar electrocución:

- El contacto con cables o alambres que no estén debidamente aislados;
- El contacto directo con conductores eléctricos tales como cables eléctricos;
- Tocar un artefacto cargado con electricidad con las manos mojadas o mientras está parado en agua;

- El flujo de la corriente eléctrica corriendo a través del cuerpo puede causar quemaduras graves internas y externas;
- Los circuitos o equipos sobrecargados pueden causar incendios o explosiones, especialmente si ocurren en áreas donde se almacenan sustancias explosivas o inflamables

1.15 - Medidas para minimizar los riesgos eléctricos

- Se debe tener la conexión de todas las partes metálicas a tierra;
- Señalizar mediante tarjetas de operación (No operar, Fuera de servicio, etc.), la condición de bloqueo, ver las normas vigentes y usar señaléticas adecuadas.
- Verificar si los componentes están desenergizados, a través de instrumentos de medición adecuados;
- Partes energizadas que no pueden ser desenergizadas deben ser tapadas (para evitar contacto accidental);
- Los módulos no se pueden desenergizar durante todo el día, por tanto, no se debe tocar las partes que puedan conducir energía, como las partes metálicas;
- Las herramientas eléctricas deben ser apropiadas para el trabajo (ejemplo: nivel de voltaje) y aisladas;
- En caso de cables de alta tensión, si no es posible desenergizarlos se debe cumplir con la distancia de protección.

1.16 - Plan de mantenimiento

Los sistemas fotovoltaicos tienen una necesidad menor de mantenimiento comparado a otros sistemas generadores de electricidad. Aun así, el mantenimiento es un componente relevante para garantizar el rendimiento pronosticado. En general el mantenimiento es de bajo costo y las fallas corregidas generalmente valen los gastos y así se garantiza el retorno de la inversión. Sin embargo, siempre hay que tener presente que un sistema que no funciona correctamente no genera ahorros, por lo mismo se debe contraponer las pérdidas posibles por no funcionamiento y los costos para el mantenimiento. (Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), 2015)

➤ Preventivo

- ✓ Busca evitar o mitigar las consecuencias de fallas de los equipos y del sistema;
- ✓ Reducir costos asociados al tiempo de inactividad no planificada;
- ✓ Aumentar la vida útil de un sistema fotovoltaico;
- ✓ El mantenimiento preventivo se debe balancear de manera tal que sus costos no sobrepasen los beneficios.

➤ Correctivo

- ✓ Operaciones de reparación y/o sustitución de partes necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

➤ Predictivo

- ✓ Disminuye la frecuencia de medidas preventivas;
- ✓ Reduce el impacto en los costos de mantenimiento correctivo;
- ✓ No evita el mantenimiento preventivo, pero reduce el tiempo fuera de operación y aumenta el rendimiento, gracias a su sistema de monitoreo, que utiliza información en tiempo real para llevar a cabo medidas preventivas como limpieza o mantenimientos correctivos anticipándose a fallas o encontrándolas anticipadamente.

1.16.1 - Limpieza y mantenimiento

El rendimiento de los paneles fotovoltaicos también depende, en gran medida, de su limpieza y buen estado de mantenimiento. La suciedad se deposita en la superficie del panel dificultando la captación de la radiación electromagnética con la consiguiente reducción de la producción de electricidad. Las pérdidas producidas por la suciedad depositada en los colectores varían entre 10% a 15%. (Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), 2015)

Por esta razón, dentro de los distintos programas de mantenimiento preventivo del sistema fotovoltaico, es necesario planificar las tareas de limpieza necesarias para mantener las superficies de los paneles en perfecto estado, maximizando la producción de electricidad y reduciendo el periodo de amortización de la inversión. Se puede realizar una clasificación de los distintos métodos de limpieza que pueden utilizarse en los paneles fotovoltaicos en la figura: 1.12.

- a) Limpieza con vapor de agua;
- b) Limpieza por rodillo autopulsado;
- c) Limpieza mecanizada automática;
- d) Limpieza mediante robots.

Los procedimientos de limpieza son múltiples y variados. Lo importante será encontrar el más adecuado para la instalación concreta. En última instancia agua, gamuza y jabón.



Figura 1.21: Clasificación de los distintos métodos de limpieza.

1.17 - Conclusiones parciales

1. Con la culminación del primer capítulo, se concluye que el desarrollo acelerado del sector de solar fotovoltaico y el crecimiento en término de potencia instalada a nivel internacional y nacional, en las últimas dos décadas, supone un punto de inflexión y un cambio de rumbo de este sector, visto que en décadas anteriores la energía solar fotovoltaica era usada casi y exclusivamente para fines espaciales y con costos abultados.
2. Hoy día, la tecnología fotovoltaica presenta mayor competitividad en términos de costos, el carácter renovable de la energía fotovoltaica, por su inagotable fuente de origen, el Sol, la energía fotovoltaica es una gran componente en el mix energético global, superando la energía nuclear.

CAPÍTULO 2 - Caracterización Energética del Sistema de Suministro Eléctrico de la Empresa MICALUM Cienfuegos.

El sistema eléctrico de la Empresa MICALUM suministra a 19 edificios, entre áreas administrativas, talleres y otros. Se abastece la institución a 150 kV desde el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Cuenta con tres transformadores de conexión tipo estrella y alimenta a todas las naves.

2.1 - Balance de energía

La empresa satisface sus necesidades energéticas con el uso de cuatro portadores energéticos: electricidad, diésel, gasolina y lubricante.

A partir de los datos acumulativos del consumo de energía de la Empresa MICALUM, correspondiente a los años de 2017-2019, las figura 2.1, 2.2. y 2.3, presentan la estratificación del consumo de los portadores energéticos, con el objetivo de identificar cuáles de los antes mencionados representan alrededor de 80% del consumo energético de la empresa. Para la comparación fueron utilizados los factores de diferentes portadores energéticos a toneladas equivalentes de petróleo, presentados en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Factores de conversión de portadores energéticos (Empresa GydeMa, 2017)		
Portadores	UM	Factores (Tcc)
Electricidad	MWh	0.310
Diesel Oil	Lts	1.0534
Gasolina Regular	Lts	1.0971
Lubricante	Lts	1.0

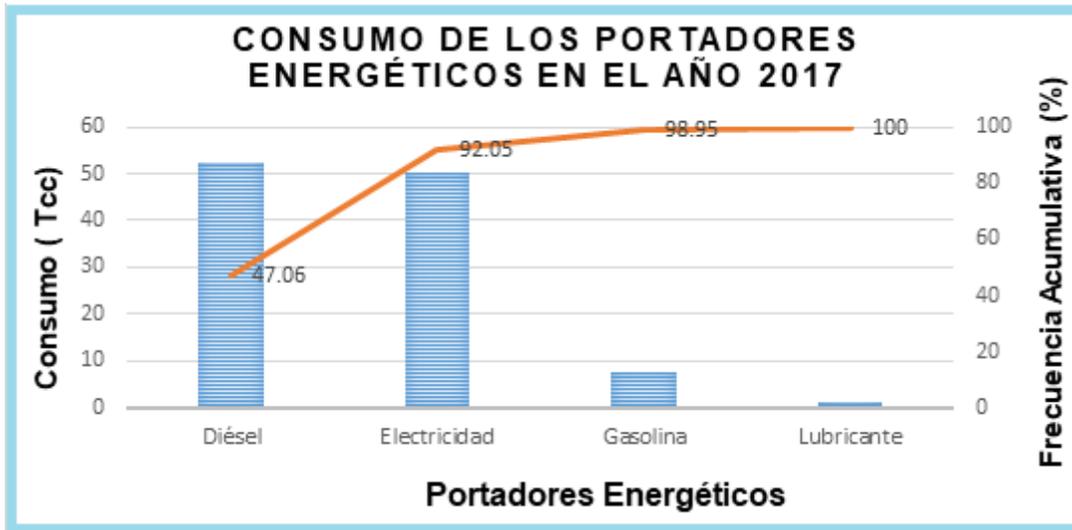


Figura 2.1: Consumo de los portadores energéticos en el año 2017.

En la figura 2.1, se puede observar que portador de mayor impacto fue el combustible diésel con un consumo de 52,42 Tcc, representando el 47,06%, que conjuntamente con la electricidad representan el 92,05% del uso total de portadores para esta empresa.

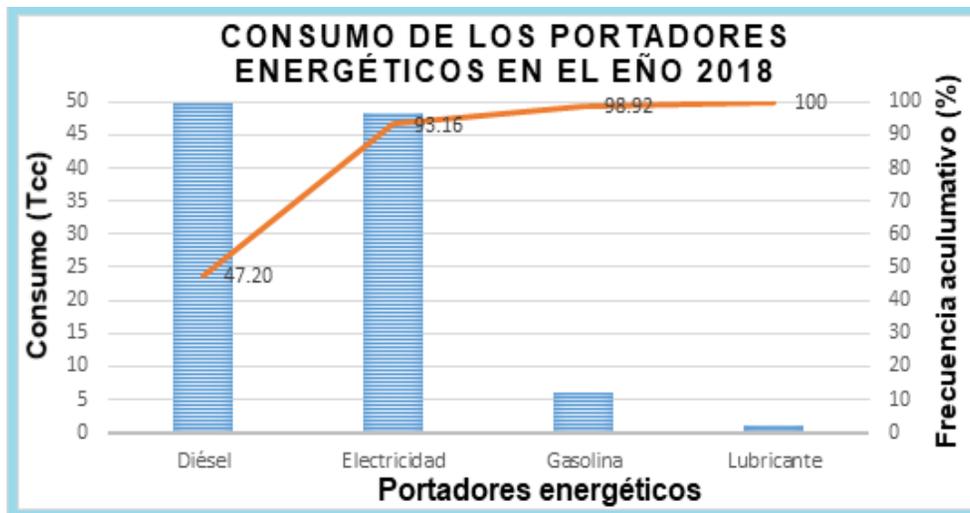


Figura 2.2: Consumo de los portadores energéticos en el año 2018.

La figura 2.3, muestra el consumo de portadores energéticos para el 2018, en el mismo se observa un comportamiento bastante similar al 2017, quedando el nivel de utilización de la misma manera que para este año. Para este caso el consumo de diésel fue de 49,73 Tcc.

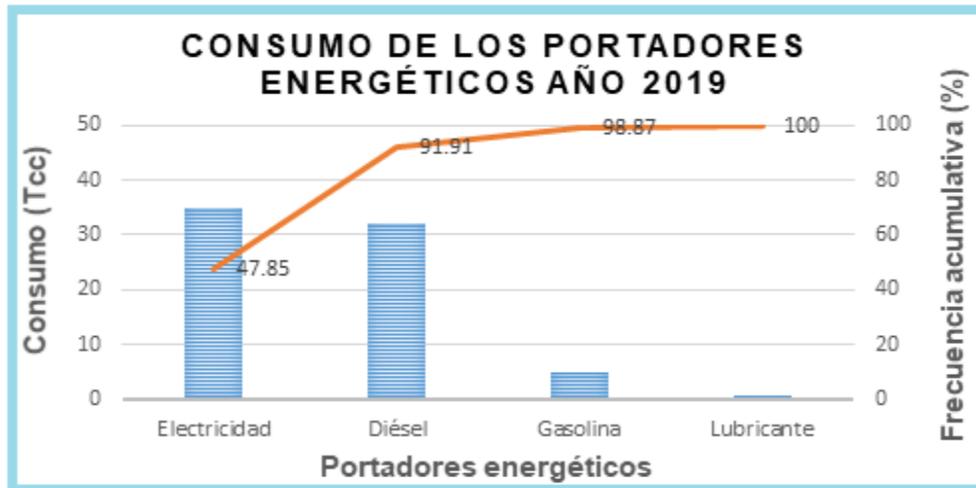


Figura 2.3: Consumo de los portadores energéticos en el año 2019.

Por otro lado, la figura 2.3, muestra un comportamiento distinto, el portador de mayor influencia para este año fue la electricidad con un 47,85%, esto se debe a que los niveles de venta de la empresa se disminuyeron y debido a que esta se realiza por transportación propia de la empresa, el consumo de combustible no fue el esperado.

2.2 - Revisión energética

En este requisito se identifican, analizan y comparan los usos significativos de la energía, el personal asociado a estos usos, los requisitos legales y otros que se suscriban relacionados con los usos y consumos de energía. Se realiza la revisión energética y se establece la línea de base energética, el indicador de desempeño energético, los objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía. En la figura 2.4, 2.5, y 2.6 se presentan los gráficos de control para el consumo de la energía eléctrica en los años de análisis.

La figura 2.7, presenta el gráfico de control de energía eléctrica para el año 2017. En el mismo se obtuvo un consumo medio mensual igual a 6 058 kWh. El límite superior fue estimado en 7 151,15 kWh, el límite inferior en 4 964,85 kWh y la desviación estándar es de 546,57 kWh. De manera general se observa un punto fuera de los límites de control, esto corresponde al mes de septiembre debido a que se duplicó la producción en unidad física.

Para el caso del 2017, el consumo medio mensual fue de 8 968,50 kWh, el límite superior es de 11 645,85 kWh, el límite inferior 6 291,14 kWh y la desviación estándar es de 1 338,68 kWh. En este caso el consumo de energía estuvo dentro de los límites de control igualmente que para el 2018. Es válido aclarar que esta herramienta se usa como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto para detectar en cuáles fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

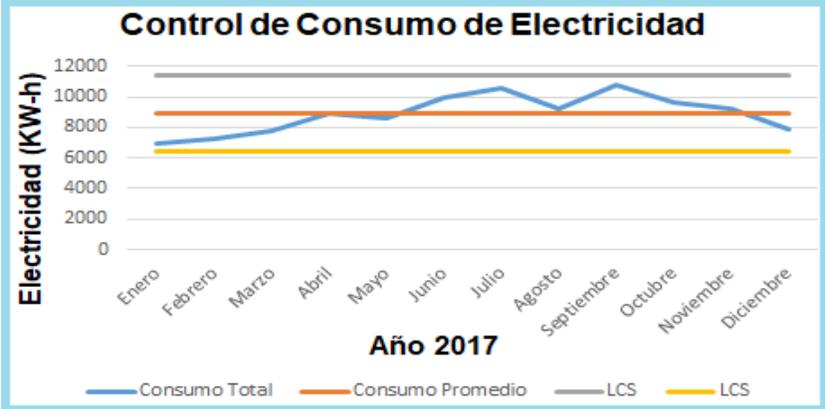


Figura 2.4. Gráfico de control para la energía eléctrica en el 2017.

Para el caso del 2018, el consumo medio mensual fue de 35 698,17 kWh, el límite superior fue de 44 999,84 kWh, el límite inferior fue de 26 396,50 kWh y la desviación estándar es de 4 650,84. Para este año el consumo de energía eléctrica estuvo dentro de los límites de control.

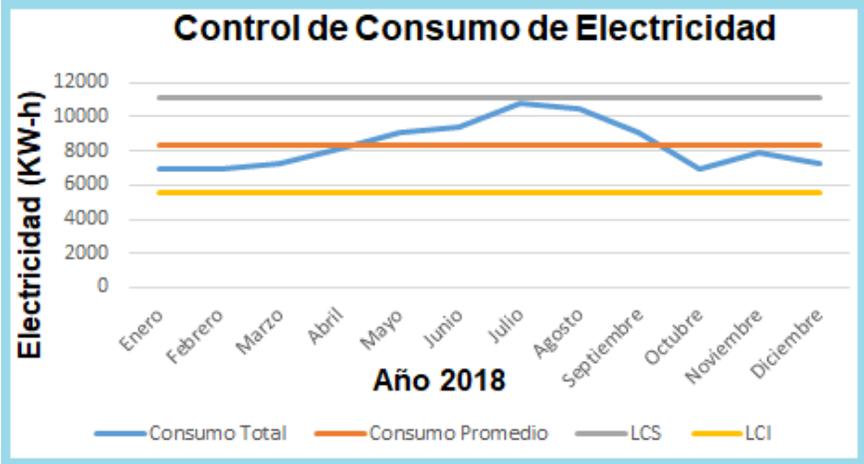


Figura 2.5. Gráfico de control para la energía eléctrica en el 2018.

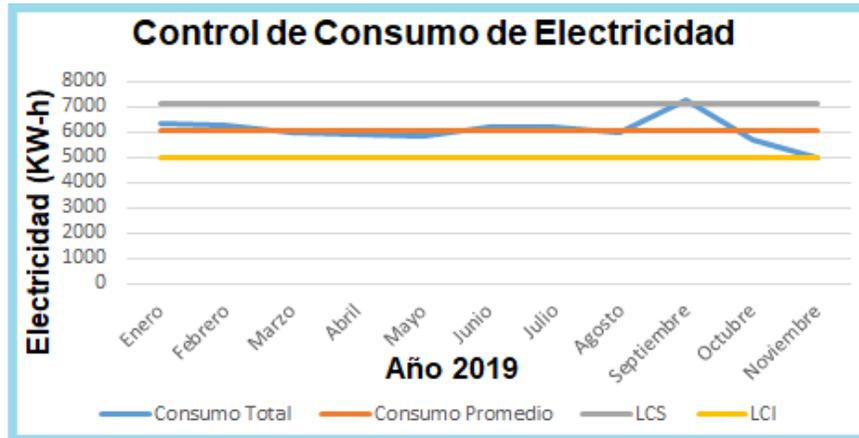


Figura 2.6. Gráfico del Consumo Promedio de Electricidad en los Años 2017-2019.

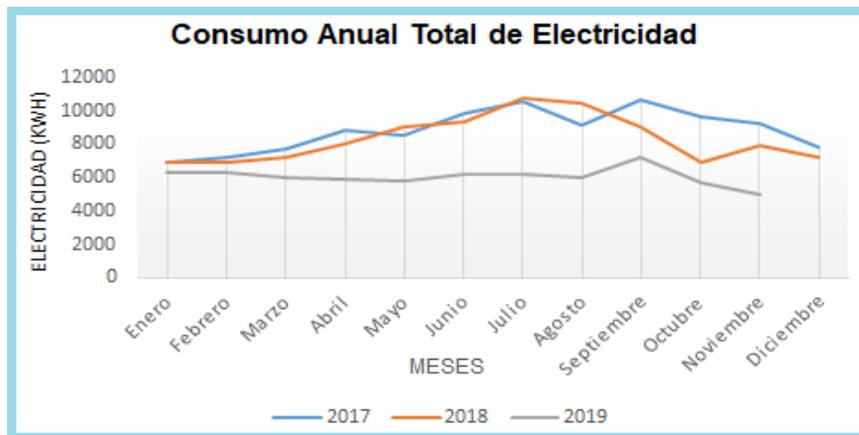


Figura 2.7. Gráfico de control para la energía eléctrica en el 2019.

2.3 - Censo de cargas

Para la realización del censo de carga en la empresa, se hizo el levantamiento general de los equipos instalados en las diferentes áreas. Se determinó las cantidades de equipos en uso, las horas estimadas de servicio y con ellos el consumo de energía. El propósito principal de este censo de cargas es conocer la demanda eléctrica total de todos los equipos pertenecientes a la institución y lo que representan en porcentos de energía eléctrica por áreas del total para un previo análisis de facturación eléctrica de la empresa.

Sumando el consumo diario y mensual de cada taller (Aluminio, Estructura y Automotor) se obtiene la carga total del centro. Que se presenta en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 - Resumen del consumo diario y mensual de electricidad en los talleres de MICALUM.			
Talleres	Consumo Promedio en el Día (kWh/mes)	Día de Trabajo	Consumo en el Mes (kWh/mes)
Aluminio	97.94	20	1958.8
Estructura	243.01	20	4860.2
Automotor	76.35	20	1527
Total	417.3		8346

La tabla 2.3, representa el consumo mensual de los talleres en la empresa MICALUM, cuyos valores se estratifica el diagrama de Pareto para saber el área de mayor consumo en los talleres.

Tabla 2.3: Tabla de estratificación para construir el Diagrama de Pareto			
Taller	Consumo Mensual en (kWh)	Frecuencia en (%)	(%) Acumulativo
Estructura	4860.2	58.23	58.23
Aluminio	1958.8	23.47	81.70
Auto motor	1527	18.30	100.00
Total	8346		

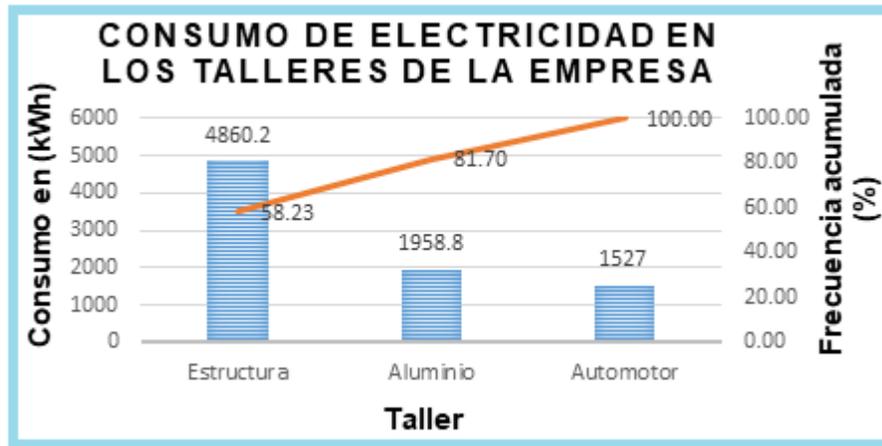


Figura 2.8: Consumo mensual del taller en la Empresa MICALUM.

El taller de estructura tiene un consumo mensual de 4 860,2 kWh/mes y dentro los talleres representa el 58%, junto con el taller de aluminio, representan el 81,70% del consumo de electricidad de la empresa.

Principales equipos del proceso productivo que influyen en el consumo energético eléctrico de la entidad productiva

Los principales equipos que influyen en el consumo energético eléctrico de la entidad productiva se ve a continuación en la tabla 2.4 y en la figura 2.8 se estratifica los equipos de mayor consumo por taller.

Taller	Potencia instalada total (kW)	Consumo en 8 horas de trabajo en (kWh)	De los Equipos del taller, altos consumidores.	Potencia (kW)	Cantidad
Aluminio	26.72	204.30	Máquina de corte de Cristal	5.20	1
			Compresor	4.00	1
			Sierra trozadora	1.50	2
			Sierra de hilar	1.50	1
			Taladros verticales	1.50	2

Estructuras	116.43	949.00	Máquina de soldar Galagar (potencia aparente S. Max=33 Kva)	29.15	1
			Máquina de soldar Galagar (potencia aparente S. Max=21 Kva)	17.15	1
			Máquina de soldar Galagar (potencia aparente S. Max=16Kva)	14.75	1
			Máquina de soldar Galagar (potencia aparente S. Max=16 Kva)	14.75	1
			Máquina de soldar Galagar (potencia aparente S. Max=16 Kva)	14.75	1
			Hiladora	3	1
			Pendolo de disco	2	1
			Pulidora	2	1
Automotor	17.41	386.05	Máquina de soldar	5.00	1
			Pulidora	2.00	1
			Sierra Tronzadora	1.50	1
			Prensa Troqueladora	1.49	3
Total Gral.	160.56	1539.35		121.24	

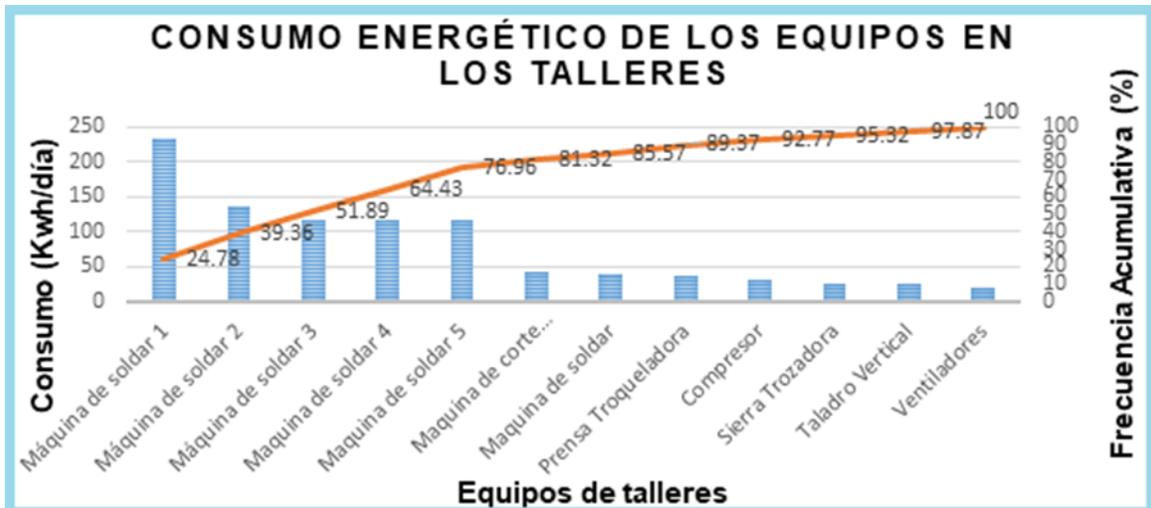


Figura 2.9. Consumo de energía para los equipos dentro del taller de estructuras.

Como indica la gráfica de la figura 2.10, los principales equipos consumidores de energía en la empresa están divididos en los talleres. El mayor consumo de energía se centra en el taller de estructura, donde cuenta con 5 máquinas de soldar representan el 80 % del consumo total a pesar de que hay otros elementos de bajo consumo de energía que eso equivale a 724,24 kWh /día.

Otros equipos consumidores de energía: en el taller de Aluminio es la máquina de corte con 14,99 % de consumo, es decir, 141 kWh/día. El Taller Automotor cuenta con una Máquina de soldar, prensa troqueladora que representan el 8,06 % de consumo que eso equivale a 75,81 kWh mensual.

2.4 - Medidas de ahorro.

Tal como se ha señalado anteriormente, los diferentes procesos productivos en la empresa, deben mejorarse desde el punto de vista de la reducción del consumo energético y por tanto de una disminución de los costos. Teniendo en cuenta el sistema de explotación empleado, es posible tomar las medidas necesarias para reducir el consumo y el costo de energía en la empresa, aplicando las mejoras técnicas disponibles en conjunto con una serie de medidas de ahorro y buenas prácticas energéticas.

2.4.1 - Iluminación

1. Comprobación de niveles de iluminación existentes respecto a las normas.
2. Reducir niveles de iluminación excesiva a los niveles estándares.
3. Controlar el uso de la iluminación mediante temporizadores, sensores de presencia y fotoceldas.
4. Iluminar puntos específicos en lugar de iluminar fondos.
5. Pintar paredes, techos, y columnas de colores claros.
6. Disminución de altura de las lámparas.
7. Utilización de reflectores ópticos para aumentar el nivel de iluminación.
8. Aprovechamiento máximo de la luz solar. Instalación de láminas o tejas traslúcidas.
9. Reducción de niveles de iluminación en áreas comunes.
10. Cambiar señales de salida de incandescentes a Diodos Emisores de Luz v (LED).

El resumen de todas lámparas dentro de la empresa se presenta en la tabla 2.5. Se calculó el consumo teniendo en cuenta esta capacidad de consumo instalado.

Tabla 2.5: Análisis del consumo de energía				
	Total de Lámparas	Día 8 horas kWh	Nocturno 11 horas kW	Total kWh
Lámp. 1 tubo 18 W	13	1.87		1.87
Lámp. 2 tubo 18 W	39	11.23		11.23
Lámp. 4 tubo 18 W	48	27.65		27.65
Lámp. 1 tubo 36 W	33	9.50		9.50
Lámp. 2 tubo 36 W	195	112.32	22.18	134.50
Lámp. 4 tubo 36 W	25	28.80		28.80
Ref. 250 Watts V. de Na	6		16.5	16.50
Ref. 500 Watts V. de Na	3		16.5	16.50
Ref 150 Watts Me.	9		14.9	14.85
Ref 500 Watts Me	6		33.0	33.00

Total kWh		191.4	103.03	294.40
Total Año MW		48.23	37.60	85.83

Para obtener el ahorro de potencia considerando un total de 252 días laborales y 365 para la iluminación nocturna. Realizando el cambio tanto a lámparas y luminarias Led se obtuvo el siguiente resultado presentado en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Ahorro estimado por sustitución de lámparas LED					
Luminaria	Total de Lámparas	Ahorro Día 8 horas kW	Ahorro Nocturno 11 horas kW	Necesidad de Luminaria o Lámpara Led	Valor Estimado
Lámp. 1 tubo 18 W	13	0.37		13	260.00
Lámp. 2 tubo 18 W	39	2.25		78	1560.00
Lámp. 4 tubo 18 W	48	5.53		192	3840.00
Lámp. 1 tubo 36 W	33	1.90		33	660.00
Lámp. 2 tubo 36 W	195	22.46	4.44	390	7800.00
Lámp. 4 tubo 36 W	25	5.76		100	2000.00
Ref. 250 W V. de Na	6		6.6	6	4140.00
Ref. 500 W V. de Na	3		3.3	3	2070.00
Ref 150 W Me.	9		9.9	9	6210.00
Ref 500 W Me	6		6.6	6	4140.00
Total		38.3	30.84		32680.00
Total Año MW		9.65	11.25		

2.7 - Luminarias	
Total de kWh que se ahorra	Cantidad de combustible dejado de consumir Tn
35140	9.73

El consumo diario y anual en kWh de electricidad en iluminación, se reduciría en un 20% si se sustituyen las lámparas de 18 y 36 W por luminarias led. Para el caso de las lámparas de iluminación nocturna, como se observa en la tabla 2.6, todas las instaladas están por encima de los 100 kWh de consumo y las Lámparas Led que se proponen son de 100 W cada una por lo que comparando el consumo con respecto a las lámparas de 250 W y 500 W la reducción de consumo es significativa siendo del 60% y 80 % respectivamente.

Para el cálculo del valor estimado se tuvo en cuenta el precio promedio del mercado mundial que es aproximadamente 20.00 USD de las luminarias.

2.4.1.1 - Periodo Simple de Recuperación de la Inversión (PSRI)

PSRI = Inversión/Ingreso

I = Ahorro/año * pago/kWh

PSRI = 32680 \$/ 5973.8 \$ /año

I = 35140 kWh/año * 0.17 \$/kWh

PSRI = 5.47 año.

I = 5973.8 \$/año.

2.5 - Conclusiones parciales

1. Durante los años analizados, se observó una caída progresiva del consumo de los portadores energéticos de la empresa. El diésel y la electricidad son de lejos los mayores portadores energéticos de MICALUM respecto a los

demás portadores, pues, juntos superan el 90% de los portadores energéticos de la empresa. El diésel y la gasolina, representaron respectivamente: el 47,06% y 45% en 2017, el 47,19 y 45,96 en 2018. Pero en 2019 la electricidad superó el diésel como mayor portador energético 47,85 y 44,05 respectivamente.

2. Según el censo de carga realizado en la empresa, el área de producción representa el 58% del consumo diario de electricidad en MICALUM, lo que se traduce en 156,58 kWh.
3. Los equipos que más consumen electricidad en el área de producción son las máquinas de soldar, que juntas representan el 76% del consumo, eso equivale a 156,78 kWh/día).
4. La sustitución de los focos de 18 y 36 W por de focos led, permitirían a la empresa ahorrar 5973.8 \$/año y el PRSI de los focos led, sería de aproximadamente 5 años y 6 meses.

**CAPÍTULO 3. Desarrollo del Anteproyecto Técnico del Sistema Fotovoltaico
Para la Generación y Suministro de Energía Eléctrica a la Empresa MICALUM
Cienfuegos.**

3.1 - Ubicación y características

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.



Figura 3.1 - Radiación solar en Cuba. Mapa elaborado por el Instituto de Meteorología de Cuba. (Rodríguez, 2014)

En la figura 3.1, se puede observar que en términos generales Cuba posee un gran potencial fotovoltaico, siendo Cienfuegos una de las provincias con mayor potencial fotovoltaico del país. El promedio de radiación diaria de Cuba es de 5 kWh/m²día.



Figura 3.2 - Potencial solar diario promedio anual incidente en los municipios de la provincia de Cienfuegos. (María Rodríguez Gámez, 2013)

En la figura 3.2, se puede ver de forma detallada la radiación promedio anual incidente por municipio de la provincia de Cienfuegos, donde está ubicada la

empresa MICALUM. La radiación promedio diaria de la provincia de Cienfuegos es de 6.14 kWh/m²día.

3.2 - Características constructivas de las edificaciones de la empresa

MICALUM

La instalación de los paneles solares se realizará sobre las cubiertas de las naves de la empresa MICALUM, que está ubicada en la calle 85-A, entre Camino de la Conductor y Avenida 90, Zona Industrial No.1, Pueblo Grifo, provincia de Cienfuegos, cuya altura promedio sobre el nivel del mar es de 25 m. Las coordenadas de la zona donde se ubicarán los paneles es 22.1495° de latitud norte y -80.4466° de longitud oeste. Cuenta con 19 edificaciones que están distribuidos entre talleres y zonas administrativas. En la figura 3.3 se muestra una vista superior de la Empresa MICALUM.



Figura 3.3 - Vista satelital de la empresa MICALUM. Fuente: Google Maps

Esta empresa se caracteriza por ser una organización flexible y profesional, con un capital humano motivado y comprometido con sus clientes, la organización y la sociedad.

Para determinar el aprovechamiento de las áreas posibles donde se pueden montar un sistema fotovoltaico, nos auxiliamos de la figura 3.3, en la misma se representan las edificaciones señalizadas mediante números donde cada una de estas describe su función en la empresa MICALUM.

En la tabla 3.1 se presenta el levantamiento de cada una de las cubiertas y la denominación dentro de la entidad, correspondiente a la figura 3.3.

Tabla 3.1 - Descripción de las Edificaciones de la Empresa MICALUM			
Nave #	Denominación	Nave #	Denominación
1	Economía y Recursos Humanos	11	Taller de Carpintería de aluminio
2	UEB Industria y Estantería Metálica	12	Almacén de Clarita
3	Dirección	13	Almacén de Materias Primas e Insumos
4	Energético y producción (Dirección)		
5	Comedor	14	Taller Estructura (industria)
6	Archivos, compradores,etc.	15	Taller estructura (Laminador)
7	Almacén y Oficina de transporte	16	Parqueo
8	Taquillero	17	Taller de Madera
9	Taller Automotor	18	Taller de Madera y Almacén
10	Almacén de carpinteria de aluminio	19	Taller de Estructura (industria)

3.3 - Área disponible para los sistemas fotovoltaicos

En la tabla 3.2, se muestra las principales dimensiones de las naves de la empresa MICALUM, además se tiene en cuenta la inclinación de los techos y orientación cardinal. Algunas de las naves son de doble agua, en el caso de la nave 13, existe un compartimento anexo a ella con dimensiones e inclinación propia del techo.

La tabla 3.2, representa las naves seleccionadas para en una primera fase considerar la instalación de paneles fotovoltaicos en la empresa, pues algunas otras naves requerirían que se podaran algunos árboles del patio de esta, porque su sombra se proyecta sobre las cubiertas de las naves a sus alrededores durante las horas de sol, algo que disminuiría el rendimiento de los paneles. El otro motivo por lo que cortar los árboles no es una opción, sería porque se desea causar menor impacto ambiental con la instalación de estos sistemas y porque la sombra

de los árboles sirve de refugio para los trabajadores cuando el calor intenso no les permite estar dentro de las oficinas.

Tabla 3.2 - Dimensiones de las Naves						
Nave #	Nombre	Largo (m)	Ancho (m)	At (m²)	Ángulo Superficie (°)	Orientación Cardinal
13.1	A. de Insumos	10.96	6.6	72.34	8	Este
13.2	AMP1	20.4	6.12	120.00	5	Este
13.3	AMP2	20.4	6.12	120.00	5	Oeste
14.1	T. Estructuras 1	12.54	6.7	84.02	9	Sur
14.2	T. Estructuras 2	12.54	6.7	84.02	9	Norte
15.1	T. Laminador 1	30	6	180	9	Este
15.2	T. Laminador 2	30	6	180	9	Oeste
19	T. Industria	18	9	162	5	Este
16	Parqueo	24	5.7	136.8	2	Sur
9	T. Automotriz	22.54	8.55	192.72	4	Sur
11.1	T. Carp. Alum. 1	50	5.18	259	12	Este
11.2	T. Carp. Alum. 2	50	5.18	259	12	Oeste
	Total			1849.90		

3.4 - Metodología de cálculo del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)

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

1. Determinación de la carga instalada y energía consumida;
2. Selección del módulo fotovoltaico e inversor;
3. Definición del área adecuado para la instalación;
4. Cálculo de orientación, inclinación, sombras y distancias entre paneles;
5. Determinación de la cantidad de paneles y del número de inversores;

6. Selección de baterías (en el caso sistema autónomo);
7. Cableado;
8. Instalación de paneles fotovoltaicos (Anclaje).

3.4.1 - Selección de los módulos

El módulo fotovoltaico escogido para la instalación del sistema es el DSM-270, 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 60 celdas solares del formato 156.75 mm x 156.75 mm, con dimensiones incluyendo el marco de 1650 mm x 990 mm x 40 mm conectadas en serie; es capaz de entregar una potencia de 270 Wp con una tolerancia de $\pm 3\%$, bajo condiciones estándar de radiación (STC: 1000 W/m², temperatura de los módulos T=25 °C, masa de aire AM 1.5), este módulo, en su punto de máxima potencia al voltaje 32.1 V de corriente directa (CD). La figura 3.4, representa las dimensiones del módulo de forma detallada:

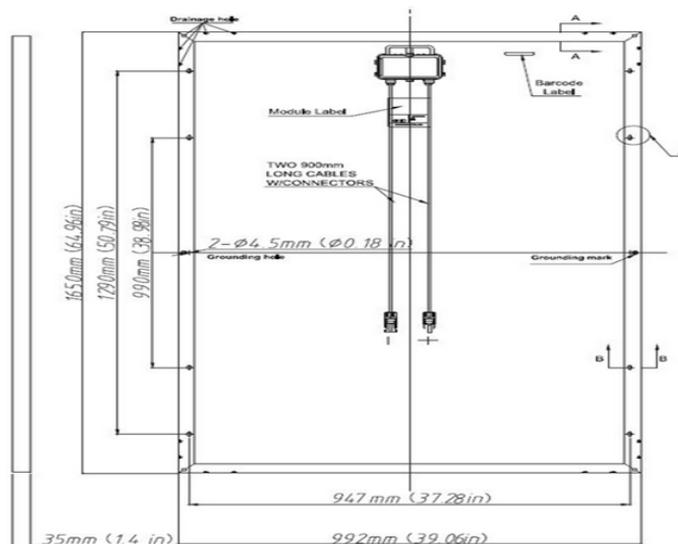


Figura 3.4 - Módulo fotovoltaico DSM-270.

3.5 - Cálculo del sistema solar fotovoltaico mediante el PVSYST 6.86

Pvsyst es una herramienta diseñada para el desarrollo de instalaciones fotovoltaicas, que permite el estudio, la simulación y análisis completo de datos de los sistemas fotovoltaicos. Este software permite dimensionar el tamaño de las instalaciones teniendo en cuenta la radiación solar que recibiría en función de su ubicación, gracias a su base de datos meteorológicos y que tiene en cuenta la

proyección de sombras gracias a la simulación del movimiento del sol durante el día. Estas instalaciones pueden ser aisladas, conectadas a red, así como algunas aplicaciones como son bombeo de agua entre otras.

En la figura 3.5, se puede apreciar la pantalla de inicio, en la cual se puede apreciar con claridad sus potencialidades.

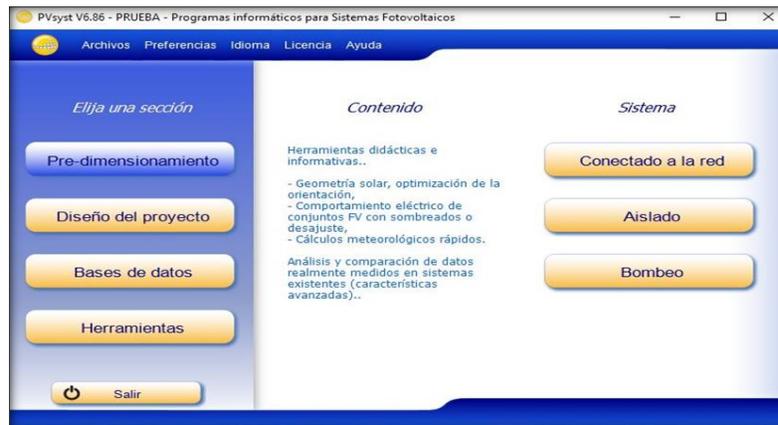


Figura 3.5 - Portada de inicio de Pvsyst v6.86.

En la portada de inicio representada en la figura 3.5, se pueden seleccionar las cuatro opciones que aparecen, las que serán descritas a continuación:

Pre-Dimensionado: permite realizar un análisis sencillo y evaluar las dimensiones del sistema y sus componentes, evaluaciones rápidas de la producción del sistema, calculadas utilizando valores mensuales.

Diseño del Proyecto: estudio completo y análisis de un proyecto.

- Cálculo preciso de la producción del sistema utilizando simulaciones horarias detalladas.
- Diversas variantes de la simulación pueden ser interpretadas y comparadas, sombreado del perfil de obstáculos y herramientas 3D para el estudio de los efectos de los sombrados cercanos.
- Análisis detallado de pérdidas del sistema y evaluación económica realizada con los precios de componentes reales.

Base de datos: administración de las bases de datos meteorológicos y componentes.

Herramientas: herramientas didácticas e informativas.

- Geometría solar, optimización de la orientación.

- Comportamiento eléctrico de conjuntos fotovoltaico con sombreados o desajuste, cálculos meteorológicos rápidos.
- Análisis y Comparación de Datos Realmente Medidos en Sistemas Existentes.

A continuación, se muestra una breve descripción sobre el cálculo de pre-dimensionamiento para la simulación del sistema fotovoltaico propuesto para la empresa MICALUM, siguiendo cada uno de los pasos, se usará las dimensiones de la nave 13.2 para el desarrollo del ejemplo de cálculo en el PVSYST 6.86.

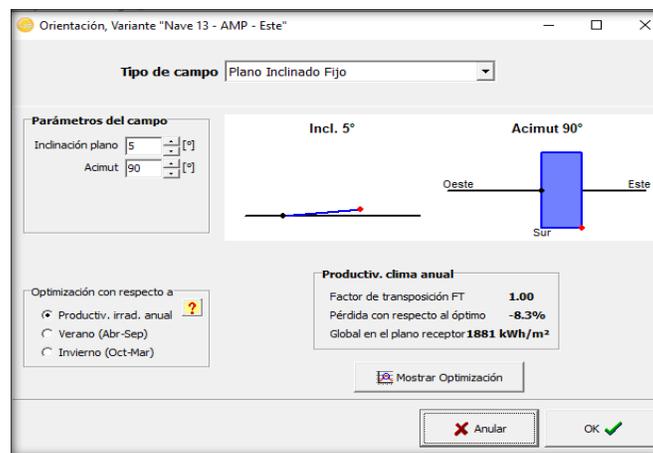


Figura 3.6 - Orientación de los paneles solares con respecto a la inclinación de las Naves.

En la figura 3.6, se observa la pantalla de introducción de los datos de orientación de los paneles, como la inclinación del plano, el acimut, el tipo de campo, o sea, si el plano es fijo o estará sujeto a seguidores solares y según la base de datos de la ubicación de la instalación, el software determina la productividad anual, datos como el factor de transposición, pérdidas con respecto al plano de inclinación óptimo y la radiación que recibe la superficie.



Figura 3.7 - Especificación de los elementos del sistema.

En la figura 3.7 representa las especificaciones de un elemento del sistema, en este caso, del módulo fotovoltaico, estas especificaciones son: el tipo de módulo, tecnología de construcción o tipo de composición, disposición del montaje y el tipo de ventilación al que estaría sujeto.

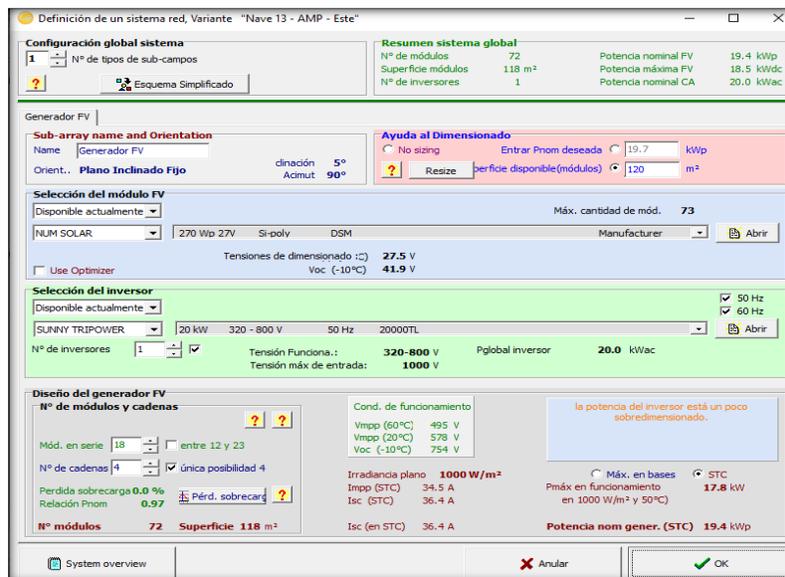


Figura 3.8 - Especificación de los elementos de los elementos del sistema conectado a la red.

La figura 3.8, es la pantalla se determina la configuración global del sistema, se dimensiona este introduciendo la superficie de los módulos o la potencia nominal deseada, se selecciona el módulo fotovoltaico y los inversores previamente

introducidos en la base de datos, la pantalla presenta los datos de diseño del generador fotovoltaico, tales como, numero de cadena, tipo de conexión de los módulos, número de módulos, la superficie efectiva y la potencia nominal generada.

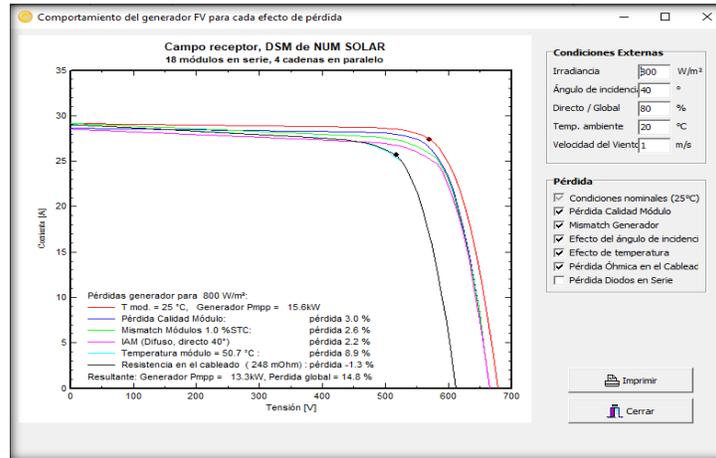


Figura 3.9 - Comportamiento del generador FV para cada efecto de pérdida.

En la figura 3.9, se puede observar el comportamiento de las pérdidas en el generador FV representadas en el gráfico de Corriente (A) – Tensión (V), dependiente de las condiciones externas. Estas pérdidas pueden ser por la calidad de los módulos, por el desequilibrio del generador, por el efecto del ángulo de incidencia, por el efecto de la temperatura y por la resistencia del cableado. El total de estas pérdidas es aproximadamente al 15% de la energía generada por el módulo.

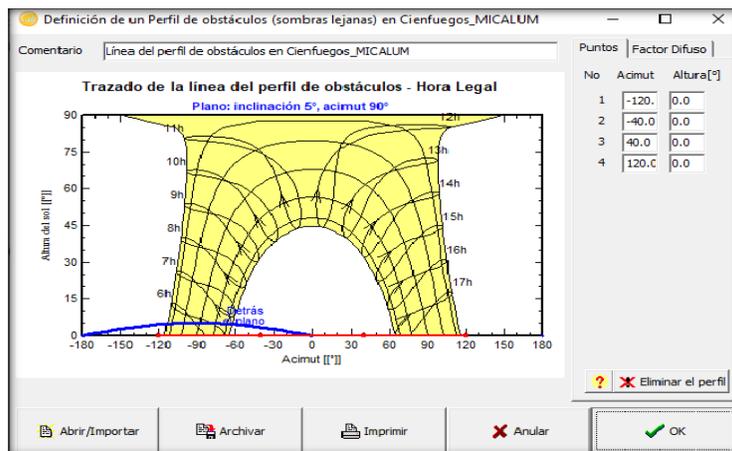


Figura 3.10 - Definición del perfil de obstáculo de la nave 13.2.

La figura 3.10, representa el perfil de obstáculo de la nave 13.2 de la empresa MICALUM, con una inclinación de 5°, está dentro del rango de inclinaciones requerido y por lo tanto cumple los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación. El perfil de obstáculo, representa la altura mínima y máxima del sol respecto al plano horizontal del lugar, a lo largo de las horas del día y durante el año.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
Enero	137.4	47.30	19.47	137.8	131.7	2253	2165	0.808
Febrero	151.8	44.00	22.50	152.0	146.6	2448	2357	0.798
Marzo	193.8	60.70	27.34	193.1	187.1	3033	2904	0.773
Abril	200.6	75.60	31.36	200.5	194.5	3099	2976	0.764
Mayo	213.3	87.60	34.67	214.4	207.9	3275	3138	0.753
Junio	163.6	94.00	30.96	163.1	157.4	2566	2443	0.771
Julio	133.4	99.60	27.89	133.1	127.7	2142	2023	0.782
Agosto	117.5	88.40	26.95	117.0	112.2	1887	1772	0.779
Septiembre	136.0	78.00	27.16	136.1	131.0	2178	2071	0.783
Octubre	157.7	69.60	26.13	157.9	151.8	2523	2412	0.786
Noviembre	139.7	42.70	22.21	139.0	133.3	2246	2140	0.792
Diciembre	135.2	37.80	19.63	135.2	129.5	2210	2115	0.805
Año	1880.0	825.30	26.37	1878.9	1810.8	29858	28517	0.781

Figura 3.11 - Simulación de los balances y los resultados principales.

En la figura 3.11, se representan los balances y resultados principales de la nave 13.2, los datos mensuales y anual de irradiación global horizontal, irradiación difusa horizontal, temperatura ambiente, plano global incidente receptor, plano global efectivo, energía efectiva en la salida del regulador, energía reinyectada en la red y el factor de rendimiento.

Nave #	Número de Paneles	HSP (h/día)	PN (kW)	Eu (kWh/día)	Potencia Nominal Total (kW)	Energía Entregada a la Red (MW/Año)
13.1	36	5	0.270	34.85	9.72	14.33
13.2	72	5	0.270	69.70	19.44	28.52
13.3	72	5	0.270	69.70	19.44	28.56

14.1	42	5	0.270	40.65	11.34	34.76
14.2	42	5	0.270	40.65	11.34	20.79
15.1	92	5	0.270	104.54	24.84	43.27
15.2	92	5	0.270	104.54	24.84	43.43
19	84	5	0.270	87.12	22.68	32.99
16	69	5	0.270	67.76	18.63	27.23
9	88	5	0.270	100.67	23.76	35.19
11.1	115	5	0.270	145.19	31.05	45.62
11.2	115	5	0.270	145.19	31.05	45.25
Total	919			942.8	248.13	399.94

3.6 - Verificación de los resultados de una de las naves con el método tradicional

En este punto se calculará cuántos paneles solares pueden ser utilizados en la instalación de acuerdo el área total. El área a ocupar por los paneles solares en la azotea será rectangular.

Tabla 3.4 - Resumen de Números de Paneles a Instalar							
Nave #	Largo (m)	Ancho (m)	At (m2)	Área Útil	# de Módulos		
					Horizontales	Verticales	Total
13.1	10.96	6.6	72.34	58.81	6	6	36
13.2	20.4	6.12	120	117.61	12	6	72
13.3	20.4	6.12	120	117.61	12	6	72
14.1	12.54	6.7	84.02	68.61	7	6	42
14.2	12.54	6.7	84.02	68.61	7	6	42
15.1	30	6	180	176.42	18	6	108
15.2	30	6	180	176.42	18	6	108
19	18	9	162	147.02	10	9	90
16	24	5.7	136.8	114.35	14	5	70
9	22.54	8.55	192.72	169.88	13	8	104

11.1	50	5.18	259	245.03	30	5	150
11.2	50	5.18	259	245.03	30	5	150
Total			1849.9	1705.4			1044

3.6.1 - Capacidad de Generación

Capacidad de Generación = Cantidad de Paneles * Potencia Nominal * HSP ,Ec (2.1).

Fuente: (Fernández, 2017)

Donde:

HSP- hora solar de pico. (la HSP para Cuba se considera aproximadamente de 5 horas/día)

3.6.1.1 - Capacidad de Generación de la Nave 13.2

Capacidad de Generación Diaria = Cantidad de Paneles * Potencia Nominal * HSP

Capacidad de Generación Diaria = $36 * 270 \text{ W} * 5\text{h}/\text{dia}$

Capacidad de Generación Diaria = 48.60 KWh/dia

3.6.1.2 - Capacidad de Generación Mensual de la Nave 13.2

Capacidad de Generación Mensual = Capacidad de Generación Diaria * #dias/mes

Ec (2.2).

Capacidad de Generación Mensual = $48.60 \text{ KWh}/\text{dia} * 30\text{dias}/\text{mes}$

Capacidad de Generación Mensual = 1.46 MWh/mes

3.6.1.3 - Capacidad de Generación Anual de la Nave 13.2

Capacidad de Generación Anual = Capacidad de Generación Mensual * #meses/año

Ec (2.3).

Capacidad de Generación Anual = $1.46 \text{ MWh}/\text{mes} * 12\text{meses}/\text{año}$

Capacidad de Generación Anual = 17.52 MWh/año

La tabla 3.5, es un el resumen de la capacidad de generación de las restantes naves.

Tabla 3.5: Resumen de capacidad de generación de las naves					
Nave #	Capacidad de Generación Diaria (kWh/día)	Capacidad de Generación Mensual (MWh/mes)	Capacidad de Generación Anual (MWh/año)	Potencia Nominal Total	HSP (Wh/día)
13.1	48.60	1.46	17.50	9.72	5
13.2	97.20	2.92	34.99	19.44	5
13.3	97.20	2.92	34.99	19.44	5
14.1	56.70	1.70	20.41	11.34	5
14.2	56.70	1.70	20.41	11.34	5
15.1	145.80	4.37	52.49	29.16	5
15.2	145.80	4.37	52.49	29.16	5
19	121.50	3.65	43.74	24.3	5
16	94.50	2.84	34.02	18.9	5
9	140.40	4.21	50.54	28.08	5
11.1	202.50	6.08	72.90	40.5	5
11.2	202.50	6.08	72.90	40.5	5
Total	1409.40	42.30	507.38	281.88	

3.6.2 - Potencia de Instalación

Potencia de Instalación = # de Paneles * Wp de cada panel Ec (2.4)

3.6.2.1 - Potencia de Instalación para la Nave 13.2

Potencia de Instalación = 36 * 270 W

Potencia de Instalación = 9.72 kW

Potencia de Instalación = 9720 W = $\frac{9720 \text{ W}}{1000} = 9.72 \text{ kW}$

3.6.2.2 - Generación de Energía Anual (MWh/año)

Considerando un factor de seguridad de 1,05 que no considera la suciedad en los paneles, buen mantenimiento y una buena radiación. Se obtiene la ecuación.

$Eu * 1,05 = 0,753 * Isi * P_{NG}$ Ec. (2.5)

Organizando la ecuación 5 se obtiene:

$$Eu = \frac{0,753}{1,05} * Isi * P_{NG} = 0,717 * Isi * P_{NG}$$

3.6.2.3 - La energía generada se puede determinar por:

$Eu = 0,717 * HSP * P_N * N$ Ec (2.6)

Donde:

Eu - Energía útil entregada por el sistema (Wh/día)

HSP - Hora Solar Pico (h/día)

PN - Potencia Nominal de los Panel (Wp)

N - Número de Paneles.

La tabla 3.6, se resume los resultados obtenidos de los cálculos por el método tradicional:

Tabla 3.6 - Resumen de los cálculos por el método tradicional					
Nave #	HSP (h/día)	PN (kW)	Número de Paneles	Eu (kWh/día)	Potencia Nominal Total (kW)
13.1	5	0.270	36	34.85	9.72
13.2	5	0.270	72	69.70	19.44
13.3	5	0.270	72	69.70	19.44
14.1	5	0.270	42	40.65	11.34
14.2	5	0.270	42	40.65	11.34
15.1	5	0.270	108	104.54	29.16
15.2	5	0.270	108	104.54	29.16
19	5	0.270	90	87.12	24.3
16	5	0.270	70	67.76	18.9
9	5	0.270	104	100.67	28.08
11.1	5	0.270	150	145.19	40.5
11.2	5	0.270	150	145.19	40.5
Total			1044	942.8	281.88

$$942.8 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} * \frac{\text{MWh}}{10^3 \text{kWh}} = 339.41 \text{ MWh/año}$$

La energía generada por los paneles fotovoltaicos instalados en las cubiertas de las naves industriales de la Empresa MICALUM por ambos métodos son:

3.6.3 - Por el PVSYT:

La energía generada es: 399.94 MWh/año

La Potencia de Instalación es: 248.13 kW

3.6.4 - Por el método tradicional:

La energía generada es: 339.41 MWh/año

La potencia de instalación es: 281.88 kW

3.7 - Conclusiones parciales

1. Para la instalación del sistema solar fotovoltaico de la empresa MICALUM, el área total disponible, correspondiente a las doce naves referenciadas en este anteproyecto es de 18450 m², pero el área efectiva 1705,40 m².
2. El sistema ofrece a la red 399,94 MWh/año, durante el año de 2019, el año que na empresa presentó el mínimo de consumo energético, en especial de electricidad, en comparación con los dos años anteriores, en que el consumo total de electricidad fue de 66,64 MWh/año. Así siendo, el 83% de la energía útil generadas por el sistema fotovoltaico sería suministrada al SEN.
3. En días que no realicen actividades laborales en la empresa, como los domingos, prácticamente el 100% de la energía útil sería suministrada a la red. Este tipo de sistema sería aún más beneficioso en este momento de pandemia, visto que, los gastos en energía no asociado a la producción de incrementaron, por el hecho de que muchas empresas detuvieron su actividad productiva, para evitar la propagación del covid-19.
4. Durante los años analizados, se observó una caída progresiva del consumo de los portadores energéticos de la empresa. El diésel y la electricidad son de lejos los mayores portadores energéticos de MICALUM respecto a los demás portadores, pues, juntos superan el 90% de los portadores energéticos de la empresa. El diésel y la gasolina, representaron respectivamente: el 47,06% y 45% en 2017, el 47,19 y 45,96 en 2018. Pero en 2019 la electricidad superó el diésel como mayor portador energético 47,85 y 44,05 respectivamente.
5. Según el censo de carga realizado en la empresa, el área de producción representa el 58% del consumo diario de electricidad en MICALUM, lo que se traduce en 156,58 kWh.

CAPÍTULO 4 - Efecto Económico del Sistema Solar Fotovoltaico en la Entidad Productiva

4.1 - Análisis económico

Para llevar a cabo la inversión debe realizarse un análisis económico detallado, permitiendo esto definir si resulta favorable instalar la nueva tecnología. Dicho análisis comprende los gastos de adquisición, instalación y explotación. Además, se toman en consideración los ingresos por venta de energía y ahorro por reducción del consumo desde la red eléctrica

La energía eléctrica que puede entregar un SFV no solo depende del arreglo fotovoltaico, sino también de la eficiencia del sistema, de la calidad e intensidad de la radiación solar, de las horas de sol, entre otros.

Costo de un Panel: $102 \frac{\$}{\text{Panel}}$ (González, 2020)

Costo de Instalación: $800 \frac{\$}{\text{m}^2}$ (González, 2020)

Costo kWh = 0,17 \$ (Fernández, 2020)

Costo Total para la Instalación = Costo de Instalación * Área Total de las Naves Ec
(4.1)

Costo total para la instalación = $800 \frac{\$}{\text{m}^2} * 1705,4 \text{ m}^2$

Costo total para la instalación = 1364320 \$

Costo total = numero de paneles * costo de un panel + costo total para la instalación
Ec (4.2)

Costo total = 919 paneles * $102 \frac{\$}{\text{Paneles}}$ + 1 364 320 \$

Costo total = 1 458 058 \$

$$\text{Ingreso} = \text{Energía generada año} * \frac{\$}{\text{MWh}} \text{ Ec (4.3)}$$

$$\text{Ingreso} = 399,94 \frac{\text{MWh}}{\text{año}} * 170 \frac{\$}{\text{MWh}}$$

$$\text{Ingreso} = 67\,989,8 \frac{\$}{\text{año}}$$

El Periodo Simple de Recuperación de la Inversión (PSRI) es el tiempo que demora la inversión en ser recuperada a partir de los ingresos, sin tomar en consideración del valor en el tiempo.

$$\text{PSRI} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Ingreso}} \text{ Ec (4.4)}$$

$$\text{PSRI} = \frac{1\,458\,058 \$}{67\,989,8 \frac{\$}{\text{año}}}$$

$$\text{PSRI} = 21,45 \text{ año}$$

$$\text{PSRI} = 21 \text{ años y } 6 \text{ meses}$$

A partir de los valores de índice de consumo energético de los portadores y del factor de emisión de CO₂ presentados en las tablas IV.2 y IV.3, respectivamente de los anexos, se determinan la cantidad de combustible fósil, en este caso de diésel en t/año, que se ahorraría con la producción de 399,94 MWh/año de energía solar. Y la cantidad de CO₂ en t/MWh/año, también con la producción de 399,94 MWh/año de energía solar. Estos resultados se representan en las tablas IV.4 y IV.5, respectivamente de los anexos.

4.2 - Conclusiones parciales

1. El cálculo de los paneles fotovoltaico en la empresa MICALUM arroja que se puede instalar 919 paneles, con una energía útil generada de 399,94MWh/año.
2. El ingreso generado por el concepto de venta a la red eléctrica o ahorro es de 67989,8 \$/año, lo que da un periodo simple de recuperación de la inversión de 21 años y 6 meses.
3. Los equipos que más consumen electricidad en el área de producción son las máquinas de soldar, que juntas representan el 76% del consumo, eso equivale a 156,78 kWh/día).
4. Se ahorraría 31 855 toneladas de diésel produciendo 399,94 399,94 MWh/año en una central termoeléctrica. Y se dejaría de emitir a la atmósfera hasta 239,96 tonCO₂/año.

Conclusiones generales

Con la realización de este trabajo de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Que aún que ya se haya alcanzado varios logros en términos de un aumento de la eficiente de los módulos fotovoltaicos a lo largo de las últimas dos décadas, un aumento sustancial de la potencia instalada de 1250 MW en el 2000 año a 500000 MW en el 2018 año y una disminución de los costos 5 \$/Wp en el año 2000 a 0,22 \$/Wp en el año 2018, de esta tecnología sigue en constante desarrollo.
2. Se observó que durante los últimos tres años hubo un descenso progresivo del consumo de los portadores energéticos de la empresa, en especial de electricidad, dado por la caída de la producción de la empresa. El balance energético realizado a través del método de levantamiento general de los equipos instalados en las diferentes áreas, estimando las horas diarias de servicio o de operación.
3. Entre los métodos de cálculo técnicos de selección de las instalaciones fotovoltaicas el PVsyst es el más preciso, aún que, no haya mucha diferencia entre los resultados con el método tradicional. A través de la simulación del PVsyst, sumando los datos de cada nave, un total de 919 paneles solares producirán que en las condiciones dadas suministrarían al SEN 399,94 MWh/año.
4. El ingreso generado por el concepto de venta a la red eléctrica o ahorro es de 67989,8 \$/año, lo que da un periodo simple de recuperación de la inversión de 21 años y 6 meses.
5. Se ahorraría 31 855 toneladas de diésel produciendo 399,94 MWh/año en una central termoeléctrica. Y se dejaría de emitir a la atmósfera hasta 239,96 tonCO₂/año.

Recomendaciones

Se recomienda que:

1. Se siga con el estudio y que se haga proyecto de sistema solar fotovoltaico. empresa MICALUM Cienfuegos, donde se unan los cálculos de resistencia de las naves, las características eléctricas de la empresa y el diseño del sistema fotovoltaico.
2. Realice un inventario de cargas eléctricas a través de contadores eléctrico en cada taller, pues e método de levantamiento de carga por equipo de cada taller con la estimación de tiempo que estos operan no es el más preciso.
3. Que se realice un inventario de las estructuras de los monolineales eléctricos de las edificaciones.
4. Que se determine la cantidad, las especificaciones y los precios de cada componente necesario para la instalación del Sistema Fotovoltaico para la empresa MICALUM

Bibliografía

- Auna Distribución. (2019). *Energías Renovables*. Auna Distribución, Madrid.
Recuperado de: www.aunadistribución.com
- Auto Solar. (2018). *Aspectos Técnicos*. Recuperado de: Auto Solar:
<https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/las-dudas-mas-comunes-sobre-el-autoconsumo-energetico-fotovoltaico>
- Bello, (03 de Octubre de 2019). Fuente Renovable. *Progreso Semanal*.
Recuperado de I: <https://progresosemanal.us/20190919/fuentes-renovables-de-energia-y-el-plan/>
- Cabrera, (7 de Mayo de 2018). Producir con conciencia ambiental. *Granma*.
- Camilo Uzquiano, (2015). *Capacitación e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos en las Comunidades de Carmen, del Emero y Yolosani..* La Paz, Bolivia: Artes Gráficas Sagitario S.R.L.
- Castro, (2015). *Simulación de Instalaciones Fotovoltaicas con PVsyst*. Madrid, España: Universidad de Jaén.
- Cordoví, (23 de Septiembre de 2019). Mas alla de la coyuntura mirar al sol. *On Cuba News*. Recuperado de
<https://oncubanews.com/opinion/columnas/contrapesos/cuba-mas-alla-de-la-coyuntura-mirar-al-sol/>
- Cuba Llama. (23 de Mayo de 2019). *Cuba cuenta con 65 parques fotovoltaicos*. *Cuba Llama*. Recuperado de: <https://www.cuballama.com/blog/cuba-cuenta-con-65-parques-fotovoltaicos-lograra-igualar-a-pakistan/>
- Cuba Sí. (19 de Junio de 2019). Zona de desarrollo en Cuba estimula empleo de energías renovables. *Cuba Sí*. Recuperado de: <http://cubasi.cu/es/cubasi-noticias-cuba-mundo-ultima-hora/item/94471-zona-de-desarrollo-en-cuba-estimula-empleo-de-energias-renovables>
- Débora, (2016). *Caracterización de los Módulos Fotovoltaicos con Dispositivo Portátil*. (Tesis de pregrado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Delgado, I. A. (03 de Marzo de 2019). Nuevo sistema solar especialmente apropiado para instalaciones industriales y sociales. *Renovable.Cu*.
Recuperado de: doi:2219-6919
- Digital, R. (27 de Octubre de 2019). Hospital Santiaguero Posee mayor parque fotovoltaico sobre cubierta de Cuba. *Granma*.

- María Rodríguez Gámez, (2013). *Evaluación y criterios para la instalación de 1 MWp de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red en Cantarrana, municipio y provincia de Cienfuegos*. La Habana, Cuba. Instituto Superior José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Electrónica.
- Empresa GydeMa. (2017). *Factor de Conversión de Litros a Ton, Ton a TCC (TEP) y Litros a TCC*. Cienfuegos, Cuba: Grupo Empresarial de Producciones Biofarmacéuticas y Químicas, Empresa GydeMa.
- Energías Renovables. (16 de Julio de 2019). Intalación de paneles solares. *Energías Renovables*. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/la-instalacion-de-paneles-solares-es-20190716>
- Energías Renovables. (02 de Septiembre de 2019). Seis razones para llevar la energía del sol. *Energías Renovables*. Recuperado de: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/seis-razones-para-llevar-la-energia-del-20190820-sol-20190>
- Feníe Energía. (12 de Noviembre de 2018). Sector fotovoltaico. *Feníe Energía*. Recuperado de: <https://www.fenieenergia.es/situacion-sector-fotovoltaico-autoconsumo/>
- Fernández, (27 de Enero de 2020). Jefe de Mantenimiento. (G. Nzola, Entrevistador)
- Fernández, (2017). *Diseño preliminar de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para la Base de Aseguramiento del banco popular de Ahorro de la provincia de Cienfuegos*. Cienfuegos, Cuba.
- González, (10 de Febrero de 2020). Costos de Instalación Fotovoltaica. (G. M. Nzola, Entrevistador) Cienfuegos.
- Guevara, (2012). *Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica Aislada*. (Tesis de grado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Madrid.
- Heredia, (2013). *Instalación solar fotovoltaica conectada a red sobre cubierta de una nave industrial*. Valladolid, España.
- Junta de Castilla y León. (11 de Julio de 2018). Analisis de la situación fotovoltaico. *Efikos News*. Recuperado de: <http://efikosnews.com/anuario-fotovoltaico-2018-analisis-situacion-fotovoltaica/>
- Presnsa Latina, (19 de junio de 2019). Zona de desarrollo en Cuba estimula empleo de energías renovables. *Cubasi.cu*.
- Dirección General de Industria. (s.f.). *Guía de Integración Solar Fotovoltaica*. Madrid, España.

- Marrero, (2018). *Anteproyecto y simulación de un sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar la División Territorial COPEXTEL Cienfuegos*. Cienfuegos, Cuba.
- Meneses, (08 de Febrero de 2019). Díaz-Canel: todos los actores de la economía impulsan el desarrollo. *Renovable.Cu*. Recuperado de: doi: 2219-6919
- Montoro, (2013). *Instalación fotovoltaica en nave industrial para autoconsumo conectada a la red eléctrica*. (Tesis de grado). Universidad Politecnica De Cartagena, Cartagena.
- Mur, (21 de Enero de 2016). *Idesa - Ingeniería, Instalación y Desarrollo*. Recuperado de: <https://www.idesa.biz/noticias/item/406-fotovoltaica-montajes-energia-renovable-cubierta>.
- Naturgy. (05 de Noviembre de 2018). Tipos características y uso. *Naturgy*. Recuperado de: https://www.naturgy.es/empresas/blog/centrales_fotovoltaicas_tipos_caracteristicas_y_usuarios
- On Cuba. (28 de Noviembre de 2019). Cubanos podrán generar su propia electricidad y venderle al gobierno. *On Cuba*. Recuperado de: <https://oncubanews.com/cuba/decreto-ley-autoriza-a-los-cubanos-a-generar-su-propia-electricidad/>
- Oriana Noguera-Salas, (2018). *La Eficiencia de los Nuevos Materiales Fotosensibles Usados en la Fabricación de Paneles Solares*. Bogotá, Colombia: ETECKNE.
- Paz, (28 de Noviembre de 2019). Fuentes renovable de energía fotovoltaica. *Cubahora*. Recuperado de: <https://www.cubahora.cu/sociedad/fuentes-renovables-de-energia-mas-desarrollo-mas-eficiencia-mapa>
- Pedro, F. M. (2020). Proyecto de Investigación. *Estudio Energético Basado en la Norma Cubana NC ISO 50 001 en la Empresa Micalum Cienfuegos*. Cienfuegos, Cuba: Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- Pérez, L. L. (02 de Febrero de 2019). Fortalecer uso de fuentes renovables de energía: imperativo para Cuba. *Renovable.Cu*. Recuperado de: <https://www.acn.cu/especiales-acn/40602-fortalecer-uso-de-fuentesrenovables-de-energia-imperativo-para-cuba-fotos>
- Planas, O. (10 de Abril de 2015). Efnergía renovable. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energias-renovables>
- Planas, O. (13 de Mayo de 2015). Energía solar fotovoltaica. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/eficiencia-solar>

- Planas, O. (07 de Abril de 2016). Elementos de una instalación fotovoltaica. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos>
- Planas, O. (11 de Marzo de 2017). Instalaciones fotovoltaicas aislada. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/instalaciones-fotovoltaicas-aisladas>
- Planas, O. (2017 de Junio de 2017). Aplicaciones fotovoltaicas. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/aplicaciones>
- Planas, O. (05 de Noviembre de 2019). Instalaciones conectadas a la red. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/instalacion-conectada-red>
- Planas, O. (28 de Enero de 2020). Energía solar fotovoltaica. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/energia-solar-fotovoltaica-flotante>
- Planas, O. (23 de Mayo de 2020). Energía solar fotovoltaica. *Energía Solar*. Recuperado de: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>
- Plasencia, A. M. (03 de Marzo de 2018). Pinar del Río Prioriza Empleo de Energías Renovables. *Renovable.Cu*. Recuperado de: doi:2219-6919
- Prensa Latina. (25 de Junio de 2019). Cuba cuenta con un nuevo parque solar fotovoltaico. *Juventud Rebelde*. Recuperado de: <http://www.juventudrebelde.cu/ciencia-tecnica/2019-06-25/cuba-cuenta-con-un-nuevo-parque-solar-fotovoltaico>
- Rivas, R. S. (12 de Marzo de 2019). Aumenta la capacidad de generación mediante la energía solar. *Granma*. Recuperado de: <http://www.granma.cu/cuba/2019-03-12/crece-la-capacidad-de-generacion-mediante-la-energia-solar-12-03-2019-22-03-22>
- Roca, J. A. (18 de Mayo de 2020). *El Periódico de la Energía*. Recuperado de : Periódico de la Energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>
- Rodríguez, D. G. (2014). *Propuesta de aprovechamiento de la energía solar*. Holguín, Cuba: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), Facultad de Electromecánica,
- Roqueta, P. R. (2014). *Procedimiento de cálculo para la ubicación de paneles fotovoltaicos*. Santa Clara, Cuba.
- Rubio, A. M. (2016). *Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación: modelizado y análisis del efecto del sombreado en la captación*

de irradiación. España: Universidad De la Rioja, Departamento de Ingeniería Mecánica.

- Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC). (2015). *Manual Sobre Instalaciones de Pantas Fotovolataicas*. Ayllu Solar, Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC), Santiago de Chile. Recuperado de: goo.gl/bJ8hTz
- Stolik, D. C. (2016). *Los costos fotovoltaicos*. Dirección de Energía Renovable (MINEM), Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA). La Habana: Renovable.Cu. Recuperado de: www.cubaenergia.cu/
- Stolik, D. C. (06 de Junio de 2019). Los costos fotovoltaicos (FV). *Renovable.Cu*. Recuperado de: doi:2219-6919
- Stolik, D. D. (12 de Diciembre de 2018). Los pronósticos FV. *Renovable.Cu*. Recuperado de:doi:2219-6919
- Técnica Industrial. (27 de Mayo de 2020). *Técnica Industrial*. Recuperado de Técnica Industrial: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-4028-calculo-produccion-anual-instalacion-fotovoltaica-cubierta.aspx>
- Tsoutso, D. T. (2011). *Definición del Marco Profesional de Instaladores Fotovoltaicos y Desarrollo de la Metodología de Formación*. PV TRIN, Installer Certification. Creta: Technnical University or Creta (TUC). Recuperado de: doi:IEE/09/928/SI2.558379
- TV Avileña. (08 de Febrero de 2020). Parques solares en Ciego de Ávila aportan al Sistema Eléctrico Nacional. *TV Avileña*. Recuperado de: <http://www.tvavila.icrt.cu/parques-solares-en-ciego-de-avila-aportan-al-sistema-electrico-nacional/>
- Twenergy. (18 de Noviembre de 2018). Las Consecuencias del Uso de Combustibles Fósiles. *Twenergy*. Recuperado de: www.twenergy.com
- Véronique Vallée, T. M. (2008). *Las fuentes renovables de energía en Cuba*. La habana, Cuba: Cubasolar.
- ZED Mariel. (17 de Junio de 2019). Fuentes renovables. *ZED Mariel*. Recuperado de: <http://www.zedmariel.com/es/novedades/por-m%C3%A1s-energ%C3%ADas-renovables-en-la-zed-mariel>
- Zhumi, L. G. (2012). *Diagnóstico de la implementación de los Sistemas Fotovoltaico correspondientes a la primeira etapa del proyecto Yantsa y Etsari*. Cuenca, España: Universidad de Cuenca.

Anexos

Anexos I - Listado de Fallos Comunes y Prácticas Inadecuadas Parámetros, Fallos / Prácticas Inadecuadas

Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Orientación	Instalaciones orientadas norte / oeste.
Inclinación	Diferentes azimuts o inclinaciones en la misma rama o "string";

	Sistema no inclinado conforme al ángulo apropiado para su latitud (para el mejor rendimiento a lo largo todo el año).
Sombreado	Colocar el sistema en una zona rodeada de árboles y / o edificios; No se tiene en cuenta el sombreado estacional.
Corrosión	Los módulos están ubicados en las zonas expuestas al agua salada.
Biodiversidad (para grandes sistemas sobre suelo)	Se descuida el potencial impacto para la vida salvaje debido a un Estudio de Impacto Ambiental inadecuado.

Tabla I.2 - **Diseño y Planificación del Sistema**

Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Carga estructural	No se considera la antigüedad y las condiciones del tejado; So inadecuado de estructuras que eviten problemas de estabilidad; No respetar el código técnico de la edificación.
Resistencia al Viento	Montaje inadecuado; Sistema no montado sobre bases de hormigón.
Ubicación	No respetar el código técnico de edificación y las normas de seguridad (por ejemplo, sobrecarga de la cubierta, falta de acceso para los bomberos); El BOS no está situado en recintos protegidos de las inclemencias del tiempo.

Equipos	Cables de tamaño insuficiente e inversor, optimizador de potencia (MPPT), protecciones, caja de conexiones y transformadores inadecuados.
Rayos / Puesta a Tierra	Sin protección contra rayos, puesta a tierra y protección contra sobretensiones; Sistema fotovoltaico instalado en un lugar expuesto; Permitir que el cobre (puesta a tierra de los equipos) entre en contacto con el soporte de aluminio y marcos de los módulos.
Conexiones Téctricas	Polaridad incorrecta; Protección del circuito incorrecta; desadaptación: desadaptación del inversor o medida incorrecta de la generación a la salida del inversor; Los recorridos de los cables eléctricos no están optimizados; No se tienen en cuenta los códigos eléctricos o reglamentos técnicos para la conexión a red.

Tabla I.3 - **Instalación Física de los Componentes**

Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Sombreado	No se mantienen las distancias entre las filas de módulos.
Daño en el Tejado	Perforación sin métodos de sellado adecuados.
Corrosión	Materiales utilizados en el exterior no son resistentes a la luz del

	sol / rayos UVA.
Configuración del Campo Fotovoltaico	<p>Los módulos son sometidos a sobreesfuerzos debido a la expansión térmica de la estructura soporte;</p> <p>Poner muy pocos módulos en serie para el correcto funcionamiento del inversor durante las altas temperaturas de verano;</p> <p>Ventilación insuficiente del módulo;</p> <p>Se utilizan módulos de diferentes configuraciones y diferentes valores de potencia nominal en el mismo campo fotovoltaico.</p>
Inversor	<p>Colocado en un lugar directamente expuesto a la luz del sol;</p> <p>Ventilación insuficiente;</p> <p>Colocado a larga distancia de la caja de conexiones del campo fotovoltaico;</p> <p>Instalado sobre o cerca de una superficie inflamable.</p>
Cableado	<p>Cables tirantes o flojos;</p> <p>Soporte del cable inadecuado con exposición a daños físicos;</p> <p>Múltiples cables entrando en un collarín para un solo cable.</p>
Conductores	<p>Conductores no sujetos a menos de 30 cm de las cajas de conexión;</p> <p>Curvado del cable demasiado cerca de las cajas de conexión.</p>
Baterías	<p>No instaladas en un recinto aislado del control u otros componentes del sistema fotovoltaico;</p> <p>Instaladas cerca de materiales inflamables y radioactivos</p> <p>Expuestas a la luz directa del sol;</p>

	Expuestas a altas temperaturas.
Etiquetado y las Señales de Peligro	Ausencia o localización incorrecta.
Sensores	Mal colocados.
Cajas o Elementos de Paso	Cubrirlas haciéndolas casi inaccesibles para el servicio.

Tabla I.4 - Seguridad	
Parámetros	Fallos / Prácticas Inadecuadas
Seguridad de los Técnicos.	<p>No se utiliza el equipo de protección de caídas aun cuando es necesario;</p> <p>Incumplimiento de las regulaciones de prevención de accidentes;</p> <p>Trabajar en condiciones adversas: condiciones de humedad, vientos fuertes o superficies heladas en tejados;</p> <p>El instalador anda sobre los paneles;</p> <p>El inversor se instala después de cableado</p>
En caso de Incendio	
Medidas de Organización	<p>No etiquetar el sistema fotovoltaico en la caja de conexiones y distribuidor principal del edificio con un signo indicador;</p> <p>Falta de planes generales de emergencia para los trabajadores.</p>

Medidas Estructurales	<p>Cableado no resistente al fuego;</p> <p>Falta de trazado de los cables de CC fuera del edificio;</p> <p>El inversor se instala en el interior del edificio.</p>
Medidas Técnicas	Falta del interruptor de desconexión de CC en el área de la caja de fusibles principal del edificio.
Mantenimiento / Inspección	
Técnico	<p>No hacer anualmente el mantenimiento de conexiones mecánicas y eléctricas (corrientes y voltajes de circuito, electrolito de la batería, etc.);</p> <p>Superficie frontal de los módulos fotovoltaicos no cubierta durante el mantenimiento;</p> <p>No remplazar componentes de montaje doblados, corroídos o dañados;</p> <p>No re-asegurar o apretar componentes sueltos o cierres;</p> <p>Los extintores de incendios no se encuentran en las proximidades de la batería;</p> <p>El propietario no ha sido informado / instruido para controlar con frecuencia el rendimiento del sistema</p>
Propietario (El Instalador fotovoltaico deberá asesorar a los propietarios de las medidas de mantenimiento a seguir)	<p>No se registran los kWh producidos periódicamente (la desviación de los valores esperados puede ser motivo para la comprobación del sistema);</p> <p>Los paneles no son debidamente lavados, cuando es necesario;</p> <p>Los paneles se rayan durante el procedimiento de</p>

	<p>limpieza (al utilizar cepillos y detergentes fuertes);</p> <p>Los árboles cerca del sistema no son adecuadamente podados o recortados;</p> <p>Las superficies de las baterías no se mantienen limpias;</p> <p>No se comprueba el nivel del electrolito en las baterías.</p>
--	--

Anexos II – Características energéticas.

Tabla II.1 - Consumo total de electricidad (kWh)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	6959	7273	7746	8870	8569	9923	10592	9183	10728	9640	9218	7833
2018	6912	6950	7237	8072	9027	9345	10793	10458	9049	6945	7920	7259
2019	6332	6282	5970	5890	5821	6165	6218	5975	7276	5710	4999	

Tabla II.2 - Consumo energético en el año 2017												
Mes	Lect. Mad.	Lect. Día	Lect. Pico	Sumo Mad.	Sumo Día	Sumo Pico	Sumo Pérd.	Sumo Total	Promedio	Estandar	LCS	LCI
Enero	13311	70411	6287	1152	4732	611	464	6959	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Febrero	14498	75399	6918	1187	4988	631	467	7273	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Marzo	15530	81098	7506	1032	5699	588	427	7746	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Abril	16768	87530	8229	1238	6432	723	477	8870	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Mayo	18019	93655	8962	1251	6125	733	460	8569	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Junio	19424	100932	9718	1405	7277	756	485	9923	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Julio	20860	108866	10463	1436	7934	745	477	10592	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Agosto	22275	115451	11168	1415	6585	705	478	9183	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Septiembre	23871	123365	11894	1596	7914	726	492	10728	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Octubre	25159	130568	12574	1288	7203	680	469	9640	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Noviembre	26521	137252	13267	1362	6684	693	479	9218	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Diciembre	27637	142897	13883	1116	5645	616	456	7833	8877.83	1242.04	11361.90	6393.76
Media								8877.83				

Tabla II.3 - Consumo energético en el año 2018												
Mes	Lect. Mad.	Lect. Día	Lect. Pico	Sumo Mad.	Sumo Día	Sumo Pico	Sumo Pérd.	Sumo Total	Promedio	Estandar	LCS	LCI
Enero	28792	147570	14503	1155	4673	620	464	6912	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Febrero	29947	152300	15104	1155	4730	601	464	6950	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Marzo	31032	157476	15657	1085	5176	553	423	7237	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Abril	32260	163205	16301	1228	5729	644	471	8072	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Mayo	33567	169865	16898	1307	6660	597	463	9027	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Junio	34974	176742	17480	1407	6877	582	479	9345	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Julio	36428	184961	18124	1454	8219	644	476	10793	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Agosto	37934	192845	18705	1506	7884	581	487	10458	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Septiembre	39157	199644	19256	1223	6799	551	476	9049	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Octubre	40300	204436	19818	1143	4792	562	448	6945	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Noviembre	41461	210164	20381	1161	5728	563	468	7920	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Diciembre	42526	215318	20970	1065	5154	589	451	7259	8330.58	1382.93	11096.44	5564.72
Media								8330.58				

Tabla II.4 - Consumo energético en el año 2019

Mes	Lect. Mad.	Lect. Día	Lect. Pico	Sumo Mad.	Sumo Día	Sumo Pico	Sumo Pérd.	Sumo Total	Promedio	Estandar	LCS	LCI
Enero	43605	219478	21604	1079	4160	634	459	6332	6058	546.57	7151.1	4964.9
Febrero	44675	223604	22231	1070	4126	627	459	6282	6058	546.57	7151.1	4964.9
Marzo	45648	227651	22767	973	4047	536	414	5970	6058	546.57	7151.1	4964.9
Abril	46783	231425	23291	1135	3774	524	457	5890	6058	546.57	7151.1	4964.9
Mayo	47922	235198	23757	1139	3773	466	443	5821	6058	546.57	7151.1	4964.9
Junio	49057	239281	24246	1135	4083	489	458	6165	6058	546.57	7151.1	4964.9
Julio	50284	243319	24755	1227	4038	509	444	6218	6058	546.57	7151.1	4964.9
Agosto	51461	247174	25241	1177	3855	486	457	5975	6058	546.57	7151.1	4964.9
Septiembre	52648	252275	25764	1187	5101	523	465	7276	6058	546.57	7151.1	4964.9
Octubre	53678	256095	26182	1030	3820	418	442	5710	6058	546.57	7151.1	4964.9
Noviembre	54561	259403	26537	883	3308	355	453	4999	6058	546.57	7151.1	4964.9
Media								6058				

Tabla II.5 - Consumo de electricidad por equipo en los talleres

Taller	Equipos	Consumo 8 h (kWh)	Frecuencia em (%)	Frecuencia acumulativa (%)
	Maquina de soldar galagar Smax=	233.2	24.78	24.78
	Maquina de soldar galagar Smax=	137.17	14.58	39.36
Estructura	Maquina de soldar galagar Smax=	117.97	12.54	51.89
	Maquina de soldar galagar Smax=	117.97	12.54	64.43
	Maquina de soldar galagar Smax=	117.97	12.54	76.96
	Maquina de corte cristal	41	4.36	81.32
	Compresor	32	3.40	84.72
Aluminio	Sierra Trozadora	24	2.55	87.27
	Taladro Vertical	24	2.55	89.82
	Ventiladores	20	2.13	91.94
Automoto	Maquina de soldar	40	4.25	96.19
	Prensa Troqueladora	35.81	3.81	100
		941.09		

Tabla II.6 - Portadores energéticos de los talleres

Taller	Consumo Mensual en(Kwh)	Frecuencia en (%)	(%) Acumulativo
Estructura	4860.2	58.23	58.23
Aluminio	1958.8	23.47	81.70
Automotor	1527	18.30	100.00
Total	8346		

Tabla II.7 - Portador energetico del año 2017

Portador	UM	Consumo	Consumo en (toe)	Frecuencia en (%)	Frecuencia acumulativo en (%)
Diesel	kWh	142386	52.93	70.38376639	70.38376639
Electricidad	l	61671.42	12.243	16.28015212	86.66391851
Gasolina	l	11297	8.36	11.11672562	97.78064413
Lubricante	l	1669	1.669	2.219355868	100
			75.202		

Tabla II.8 - Portador energetico del año 2018

Portador	UM	Consumo	Consumo en (toe)	Frecuencia en (%)	Frecuencia acumulativo en (%)
Diesel	l	58510.76	50.22	71.45	71.45
Electricidad	kWh	137591	11.83	16.83	88.28
Gasolina	l	8926	6.61	9.40	97.68
Lubricante	l	1628	1.63	2.32	100.00
			70.29		

Tabla II.9 - Portador energético del año 2019					
Portador	UM	Consumo	Consumo en (toe)	Frecuencia en (%)	Frecuencia acumulativo en (%)
Diesel	l	37871.05	32.51	68.06	68.06
Electricidad	kWh	99323	8.54	17.88	85.94
Gasolina	l	7479	5.54	11.59	97.53
Lubricante	l	1178.5	1.2	2.47	100
			47.76		

Anexos III – Diseño de la Instalación

Tabla III.1 – Evaluación y criterios para la instalación de sistemas fotovoltaicos (Rodríguez, 2014)	
Denominación del sitio:	Cantarrana
Municipio:	Cienfuegos
Provincia:	Cienfuegos
Latitud:	22°11'.27" de latitud norte
Longitud:	80° 26'.21" de longitud oeste
Ubicado a 600 metros aproximadamente al sur del embalse el Saladito No 1 Y a 3 km en línea recta aproximadamente al norte de la Ciudad de Cienfuegos	
Temperatura máxima media:	31,1°C
Temperatura mínima media:	21,0°C
Temperatura máxima absoluta registrada:	35,0°C el día 3/8/07
Temperatura mínima absoluta registrada:	10,2°C el día 19/2/07
Temperatura media anual:	25°C
Dirección de los vientos predominantes:	Noreste
Rapidez de los vientos predominantes:	9 km/h
Humedad relativa:	76 %
Nubosidad media (en octavos):	3/8 (Los meses de mayor nubosidad corresponden a Junio, Julio y

	Octubre).
Lluvia total media anual:	1404,6 milímetros
Días promedio con lluvias en el año:	137
Meses más lluviosos:	De Mayo a Octubre
Radiación solar máxima media:	6,365 kWh/m ² día
Radiación solar mínima media:	5,697 kWh/m ² día
Radiación solar máxima absoluta registrada:	6,822 kWh/m ² día (en el mes de Abril)
Radiación solar mínima absoluta registrada:	5,493 kWh/m ² día (en el mes de Diciembre)
Radiación solar promedio anual:	6,142 kWh/m ² día
Extensión del área:	45000 m ² (4,5 ha)
Capacidad estimada del espacio:	Hasta 3 MWp

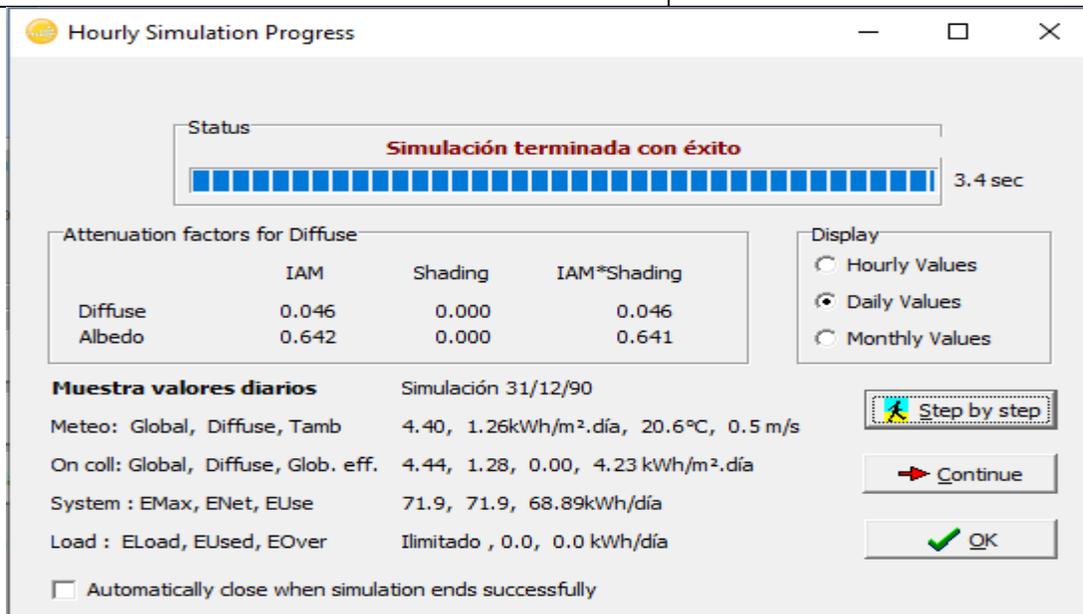


Figura III.1 – Pantalla de simulación de datos por hora.

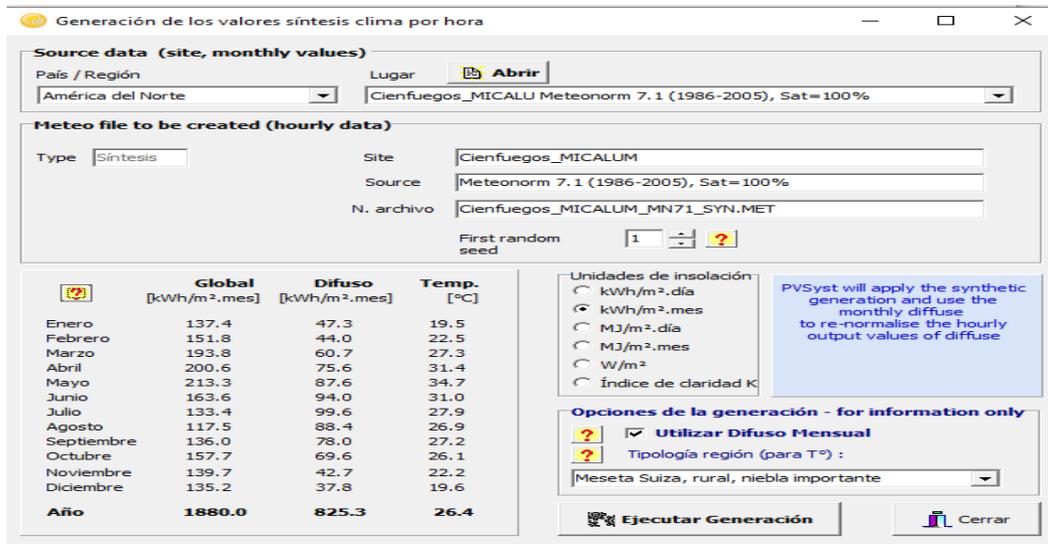


Figura III.2 – Pantalla de generación de los valores síntesis clima por hora.

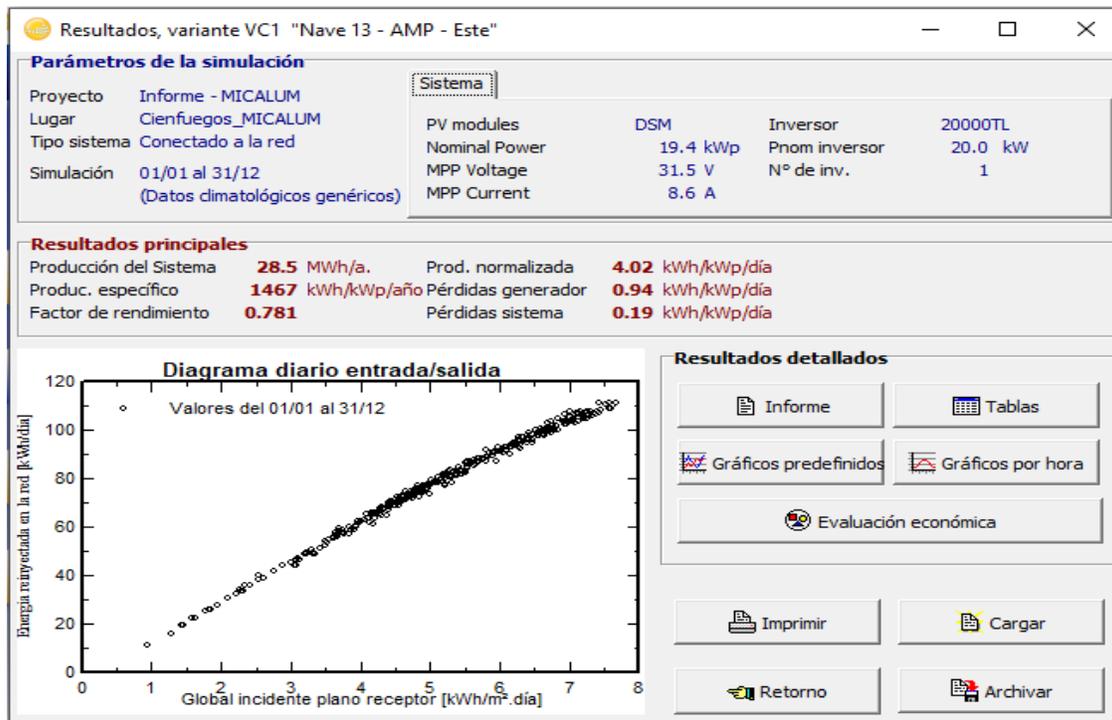


Figura III.3 – Parámetros de la simulación de la Nave 13.2.

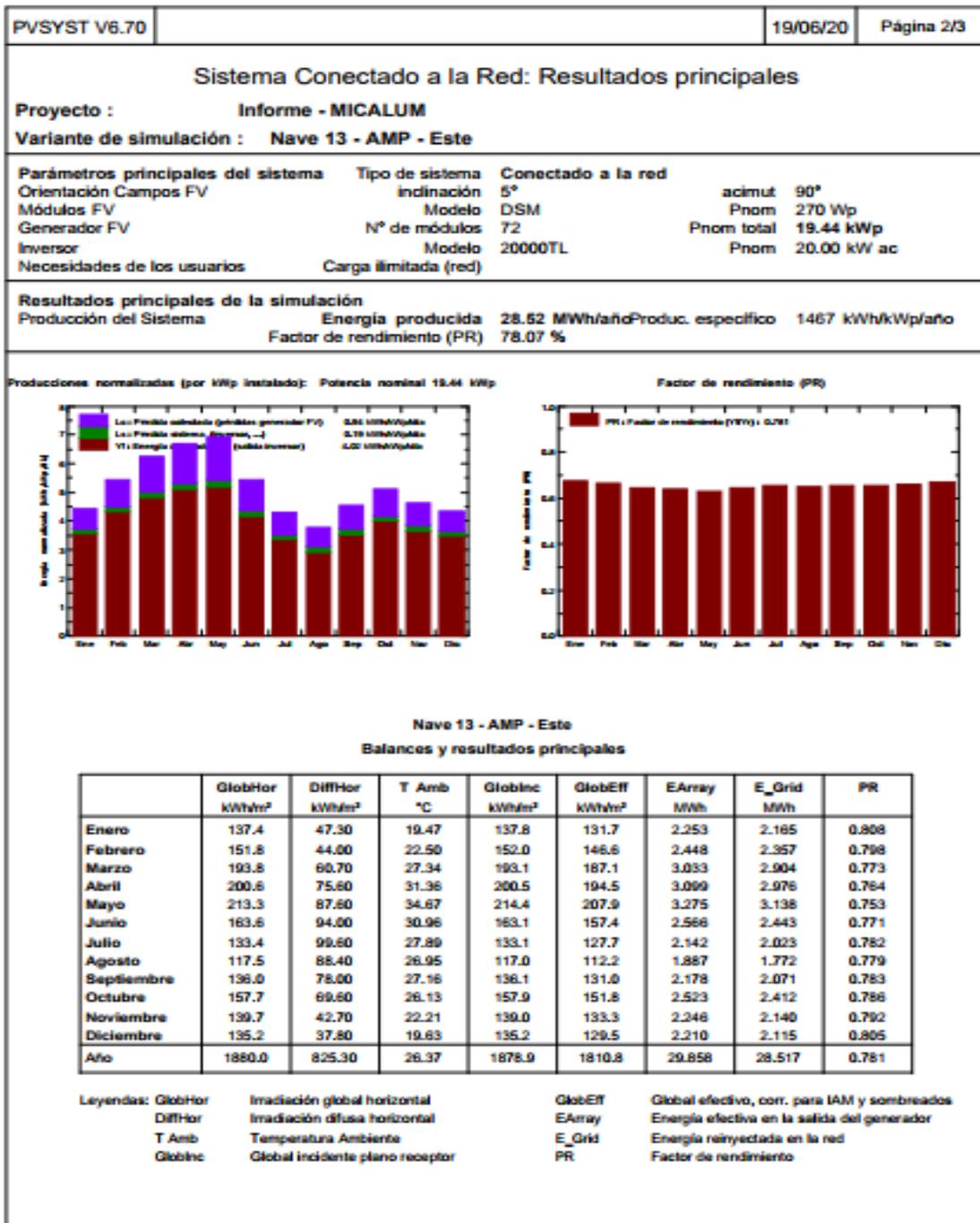


Figura III.3 – Balance de los resultados de la simulación de la Nave 13.2.

PVSYST V6.70		19/06/20	Página 1/3
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación			
Proyecto :	Informe - MICALUM		
Lugar geográfico	Cienfuegos_MICALUM	País	Cuba
Ubicación	Latitud	22.10° N	Longitud 80.27° E
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT+5	Altitud 25 m
Datos climatológicos:	Cienfuegos_MICALUM	Meteonorm 7.1 (1986-2005), Sat=100% - Sintesis	
Variante de simulación :	Nave 13 - AMP - Este		
	Fecha de simulación	19/06/20 16h23	
Parámetros de la simulación	Tipo de sistema	No 3D scene defined	
Orientación Plano Receptor	Inclinación	5°	Acimut 90°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso Perez, Meteonorm
Perfil obstáculos	Sin perfil de obstáculos		
Sombras cercanas	Sin sombreado		
Características generador FV			
Módulo FV	Si-poly	Modelo	DSM
Custom parameters definition		Fabricante	NUM SOLAR
Número de módulos FV		En serie	18 módulos
N° total de módulos FV		N° módulos	72
Potencia global generador		Nominal (STC)	19.44 kWp
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	516 V
Superficie total		Superficie módulos	118 m²
Inversor		Modelo	20000TL
Custom parameters definition		Fabricante	SUNNY TRIPOWER
Características		Tensión Funciona.	320-800 V
Banco de inversores		N° de inversores	1 unidades
		Pnom unitaria	20.0 kWac
		Potencia total	20 kWac
		Relación Pnom	0.97
Factores de pérdida Generador FV			
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const)	20.0 W/m²K
		Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida Óhmica en el Cableado	Res. global generador	248 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas 3.0 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP
Strings Mismatch loss			Fracción de Pérdidas 0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo 0.05
Necesidades de los usuarios :	Carga ilimitada (red)		

Traducción sin garantía. Solo el texto inglés está garantizado.

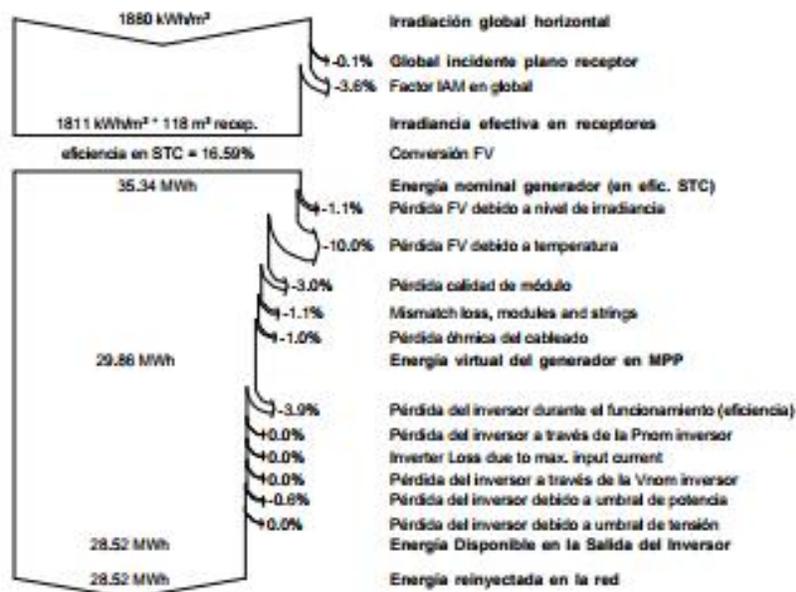
Figura III.4 – Informe: Parámetros de la simulación de la Nave 13.2.

Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Informe - MICALUM
 Variante de simulación : Nave 13 - AMP - Este

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Conectado a la red	
Orientación Campos FV	inclinación	5°	acimut 90°
Módulos FV	Modelo	DSM	Pnom 270 Wp
Generador FV	Nº de módulos	72	Pnom total 19.44 kWp
Inversor	Modelo	20000TL	Pnom 20.00 kW ac
Necesidades de los usuarios	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año



Traducción sin garantía, sólo el texto inglés está garantizado.

Figura III.4 – Informe: Diagrama de Pérdidas de la simulación de la Nave 13.2.

Anexos IV – Resultados económicos

Tabla IV.1 - Factor de conversión de Litros a Ton, Ton a TCC (TEP) y Litros a TCC (Empresa GydeMa, 2017)			
Portador Energético	L/t	t/TEP	L/TEP
Electricidad	-	0.3502	-
Gas Licuado Petróleo	1833.38	1.1631	2132.40
Turbo combustible Jet A1	1277.30	1.0797	1371.65
Nafta Especial B	1441.34	1.0971	1581.29
Nafta Industrial B	1484.78	1.0971	1628.95
Gasolina Regular	1367.24	1.3541	1851.38
Gasolina Especial	1360.91	1.3576	1847.56
Keroseno	1252.51	1.0709	1341.31
Diesel	1178.55	1.0534	1241.48
Petróleo Combustible (Fuel oil)	1019.82	0.9903	1009.93
Crudo Cubano 650	1023.02	0.9903	1013.10
Crudo Cubano 1400	1010.92	0.9903	1001.11
Alcohol Desnaturalizado	1221.15	0.6311	770.67
Aceites Lubricantes	1119.59	1.0000	1119.59
Asfalto	1078.28	0.9903	1067.82

Tabla IV.2 - Consumo de energía (CE) kWh/t o kWh/L de portador energético (Empresa GydeMa, 2017)		
Portador energético	kWh/t	kWh/L
Crudo	131083	9.6
Fuel oil	12555	9.3
Gasolina	12666	10.8
Diesel		
Aceite lubricante		
Grasas lubricantes		
Alcohol		
Turbo		
GLP		
Gas natural	20398	11.0
Carbones (promedio)	7717	-
Asfalto		
Coque (pekcoke)		
Antracita		
Carbón vegetal		
Polvo de Bofeo		
Leña doméstica		
Leña industrial	3305	-
Desechos de la agroindustria azucarera y agrícola		
Desechos derivados de materiales de rechazo	5194	-

Tabla IV.3 - Factor de emisión de KgCO₂/KWh del combustible usado (Empresa GydeMa, 2017)	
Combustible usado	(FE) KgCO₂/KWh
Crudo	0.60 – 0.65
Fuel oil	
Gasoil	
Carbón	0.75
Pekcoke	
GLP	0.4
Gas natural industrial convencional	0.37
Gas natural ciclo combinado	0.26
Leña industrial	0.25
Desechos de la agroindustria azucarera y agrícola	
Desechos derivados de materiales de rechazo	

En independencia del tipo de combustible que se utilice para la generación de electricidad, se determina el ahorro de combustible y la cantidad de CO₂ que se deja de emitir a la naturaleza. Se verifican los datos en las tablas IV.4 y IV.2.

Tabla IV.4 – Cantidad de Combustible que se ahorra por 399.94MWh/Año de energía suministrada a la red por SFV				
Portador energético	t/MWh	L/MWh	t/Año	L/Año
Crudo	0.008	104.167	3.051	41660.417
Fuel oil	0.080	107.527	31.855	43004.301
Diésel	0.079	92.593	31.576	37031.481

Tabla IV.5 – Cantidad de CO₂ que se deja de emitir por 399.94MWh/Año de energía suministrada a la red por SFV		
Combustible usado	(FE) ton de CO₂/Año	
	Rango (Mínimo y Máximo)	
Crudo	239.964	259.961
Fuel oil	239.964	259.961
Diésel	239.964	259.961

Tabla IV.6 - Crecimiento mundial de la acumulada en MW FV en los últimos 23 años (Stolik D. C., Los costos fotovoltaicos, 2016)						
Año	1995	2000	2005	2010	2015	2018
MW	192	1250	5112	40 336	233 000	500 000

Tabla IV.7 - Disminución de los costos promedio en USD/Wp de los módulos (Stolik D. C., Los costos fotovoltaicos, 2016)					
Año	1980	1990	2000	2010	2018
USD/Wp	30	9	5	2	0,22