

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electroenergética

TRABAJO DE DIPLOMA

Estudio de oportunidad técnico económico para la instalación de un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red (SFCR) en la Empresa de Antenas

Autor: José Antonio Madarro Vega

Tutores: M.Sc. Luis Alberto Hernández Lugones

M.Sc. José Ricardo Arañó Rodríguez

Santa Clara, 20 de junio del 2020
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Electroenergetic Department

TRABAJO DE DIPLOMA

Economic and technical opportunity study for the installation of a Photovoltaic System connected to the network in the Antenna Company

Author: José Antonio Madarro Vega

Thesis Directors: M.Sc. Luis Alberto Hernández Lugones

M.Sc. José Ricardo Arañó Rodríguez

Santa Clara, 20 June, 2020
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“Para lograr tus metas, debes esforzarte y nunca rendirte, y pensar que solo estás a un pasito de alcanzarlas”

José Antonio Madarro Vega

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a todos aquellos que me ayudaron a conseguir mis metas: a mi novia, a mis amigos, a mis tías y a mis abuelas, pero en especial, a mis padres, que sin ellos hoy no pudiera ser lo que soy ni estar donde estoy. Gracias por estar allí siempre.

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mis tutores, tanto Lugones como Ricardito, que me ayudaron en todo momento.

A Soledad, esposa de Ricardito, quien fue una maestra para mí.

Al M.Sc. Arias y al M.Sc. Negrín, por su ayuda.

A mis amigos por estar siempre allí.

A todos aquellos que me apoyaron siempre.

RESUMEN

A través de la historia, el consumo de energía ha marcado el progreso de la sociedad, en los últimos años ha sido necesario la búsqueda de nuevas fuentes de energía. Teniendo en cuenta dicho problema, en este trabajo se hace énfasis en la energía solar fotovoltaica, por su gran flexibilidad en su empleo e instalación. Se plantea como objetivo general hacer un estudio de oportunidad para la instalación de un parque solar fotovoltaico conectado a la red en techos de la Empresa de Antenas de Villa Clara. Se hace una fundamentación teórica de los temas principales acerca de la energía fotovoltaica y teniendo en cuenta las características del lugar de emplazamiento y del impacto de la radiación en este, se calculan y seleccionan los diferentes elementos del sistema que se propone instalar, así como de las protecciones contra procesos transitorios, se realizan simulaciones de la instalación y se hace un análisis económico que permite concluir que el proyecto es rentable, que permite la recuperación de la inversión en un tiempo aceptable y produciría significativos ahorros en combustible dejado de quemar y en desemisiones de CO₂ a la atmosfera.

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo 1: Energía solar fotovoltaica.....	5
1.1 Descubrimiento e historia de la energía solar fotovoltaica.....	5
1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	6
1.3 Desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el mundo.	7
1.3.1 Crecimiento de energía solar fotovoltaica por países.....	7
1.3.2 Energía solar fotovoltaica en Cuba.	10
1.4 Nuevas tecnologías de paneles solares	11
1.5 Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas	13
1.5.1 Aplicaciones autónomas.....	13
1.5.2 Aplicaciones conectadas a la red	14
1.6 Elementos de una instalación solar fotovoltaica	16
1.6.1 Inversor	17
1.6.2 Regulador de carga.....	17
1.6.3 Baterías	17
1.6.4 Panel solar	18
1.6.4.1 Potencia de la célula solar	19
Capítulo 2: Instalación solar fotovoltaica	21
2.1 Norma que aplica Cuba en instalaciones con paneles fotovoltaicos	21
2.2 Descripción de la fábrica de Antenas y de su sistema de suministro de energía y pizarra general.....	21

2.2.1 Análisis de cuál es la energía renovable más factible en la empresa de Antenas.

24

2.2.2 Datos con respecto a la tarifa eléctrica de la empresa de Antenas 25

2.3 Selección y características del tipo de panel27

2.4 Cálculo de parámetros para obtener el número de paneles29

2.5 Selección y características del inversor32

2.6 Selección del interruptor35

2.7 Selección de los conductores eléctricos35

2.7.1 Cálculo de la longitud de los cables a utilizar y número de conectores..... 36

2.8 Caja de conexiones37

2.9 Cuadros eléctricos38

2.10 Protección contra procesos transitorios39

2.11 Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.....39

CAPÍTULO 3: Análisis y Resultados 41

3.1 Simulación del sistema fotovoltaico41

3.1.1 Resultados de la simulación 41

3.2 Estimación del costo del proyecto48

3.3 Factibilidad económica54

3.4 Análisis de los resultados55

Conclusiones 56

Recomendaciones..... 57

Bibliografía..... 58

Anexos 59

Introducción

Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kWh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable, una cifra que representa varios cientos de veces la energía que se consume actualmente en forma mundial; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable. El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas del lugar. Se define energía solar a aquella que mediante conversión a calor o electricidad se aprovecha de la radiación proveniente del sol; otra forma de aprovechamiento asociado considera la posibilidad de hacer uso de la iluminación natural y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento en la construcción de edificios mediante lo que se denomina arquitectura bioclimática.

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía. [1]

Las fuentes de energía pueden clasificarse, atendiendo a su disponibilidad, en renovables y no renovables.

Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas. [1]

Durante las últimas décadas la utilización de las energías renovables, también llamadas “energías verdes”, ha demostrado que se puede contribuir sustancialmente a favor de la solución de este problema, no solo basándose en criterios ecológicos, sino también por motivo de la estructura descentralizada de las energías renovables. [2]

Dentro de las fuentes de energía renovable se encuentra la energía solar.

La energía solar tiene dos formas fundamentales de utilización, la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica.

Antecedentes

La electricidad es la forma más sofisticada de energía que existe en la actualidad. Esta nos permite una mayor calidad de vida y una vida más confortable, donde muchas tareas son ejecutadas por aparatos eléctricos.

A través de la historia, el consumo de energía ha marcado el progreso de la humanidad, en los últimos años, el consumo desmedido de energía, obtenida fundamentalmente de la quema de combustibles fósiles ha hecho que las reservas de estos disminuyan, que se haya aumentado el efecto invernadero ante la emisión de CO_2 y la contaminación en general, provocando un cambio climático. Ante esta situación, nuestro país se ha trazado una política energética orientada al uso racional y eficiente de la energía, potenciando el uso de las energías renovables en la matriz energética. Todas las entidades económicas, así como la población en general, están llamadas a trabajar en función del cumplimiento de dicha política. Debido a esto, en la Empresa de Antenas de Villa Clara se plantean la interrogante: ¿Cómo reducir el consumo de energía eléctrica en la empresa?

Para dar respuesta a este problema se propone como objetivo general: realizar un estudio de oportunidad técnico económico para instalar un Sistema Fotovoltaico conectado a la Red (SFCR), que produzca energía eléctrica limpia en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional, que garantice la eficiencia energética, la rentabilidad económica, y que contribuya a la sustentación ambiental y la disminución de los costos de la energía, así como a la modificación de la matriz energética de generación y consumo.

Como objetivos específicos se declaran:

1. Fundamentar los conceptos y elementos necesarios para elaborar el marco teórico del problema en cuestión.
2. Realizar los cálculos necesarios para la selección de los elementos de la instalación fotovoltaica.
3. Simular el comportamiento de la instalación fotovoltaica mediante la herramienta Matlab-Simulink.

4. Conformar el presupuesto de la inversión para el estudio de oportunidad técnico económico.
5. Valorar los indicadores de rentabilidad económica del proyecto.

Tareas de investigación:

- Análisis de los referentes teóricos acerca de la energía solar fotovoltaica.
- Medición del local o terreno donde se realizará la instalación solar fotovoltaica.
- Aplicación de los procedimientos y cálculos necesarios para el diseño y selección de dicha instalación.
- Simulación del sistema fotovoltaico.
- Conformación del presupuesto de la instalación a llevar a cabo.
- Valoración de la rentabilidad económica del proyecto.

Alcance

Estudio de oportunidad técnico económico a partir del diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la Empresa de Antenas, que se pueda combinar fácilmente con otras fuentes de energías, además de que se pueda ampliar añadiendo más generadores y permitiendo gestionar una demanda creciente de energía. La presencia de un sistema de registro de datos disponibles para el usuario, de las mediciones, cálculos y evaluaciones.

Aportes

El estudio de oportunidad técnico económico tiene gran utilidad, ya que estará encaminado a lograr un ahorro económico sustancial en la mencionada instalación, así como al país, mejorando el índice de apagones y la calidad de la energía servida al cliente, además de reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera y el consumo de combustibles fósiles en el país.

Posee un apreciable impacto social, pues contribuye al desarrollo sostenible del medio ambiente.

Además, actualmente en nuestro país existe una política encaminada a la utilización de la energía renovable fundamentalmente en el sector estatal, por lo que el proyecto tiene un marcado valor teórico-práctico, sirviendo como modelo para futuros estudios.

Organización del documento

El documento escrito consta de introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el primer capítulo se trata el concepto de energía solar fotovoltaica, descubrimiento e historia, principio de funcionamiento, desarrollo de esta en el mundo y en Cuba, aplicaciones, y desarrollo de las nuevas tecnologías e innovaciones tecnológicas. Además, se hace referencia a la instalación solar fotovoltaica, su clasificación, se exponen los elementos que componen dicha instalación, se mencionan los paneles solares, inversores, reguladores y baterías existentes.

En el segundo capítulo se exponen las normas que aplica Cuba en instalaciones con paneles fotovoltaicos, además de una descripción de la fábrica de Antenas y de algunos de sus componentes. Se expone el porqué de utilizar paneles solares y no otra fuente de energía renovable, se realiza un análisis del consumo de energía de la empresa, y se seleccionan los elementos a utilizar en dicho parque fotovoltaico a instalar.

En el tercer capítulo se realiza una simulación del sistema fotovoltaico, se estima el costo del proyecto y se lleva a cabo un análisis acerca de la factibilidad económica y de sus resultados.

Capítulo 1: Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado “célula solar”. La conversión de la energía de la luz solar en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico.

Presenta características peculiares entre las que se destacan:

Elevada calidad energética.

Pequeño o nulo impacto ecológico.

Inagotable a escala humana. [3]

1.1 Descubrimiento e historia de la energía solar fotovoltaica

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez unos diez años antes, en 1839, por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, el cual estaba experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino cuando comprobó que la corriente subía en uno de los electrodos cuando este se exponía al sol, pero la primera célula solar no se fabricó hasta 1883. Su creador fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con pan de oro para formar la unión. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia menor del 1 %, pero demostró de forma práctica que, efectivamente, producir electricidad con luz era posible

Pocos años más tarde, en 1877, el inglés William Grylls Adams, profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres, junto con su alumno Richard Evans Day, crearon la primera célula fotovoltaica de selenio. [4]

Los estudios realizados en el siglo XIX por Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Nikola Tesla y Heinrich Hertz sobre inducción electromagnética, fuerzas eléctricas y ondas electromagnéticas, y sobre todo los de Albert Einstein en 1905, proporcionaron la base teórica al efecto fotoeléctrico, que es el fundamento de la conversión de energía solar a electricidad. [5]

El ingeniero estadounidense Russell Ohl patentó la célula solar moderna en el año 1946, aunque otros investigadores habían avanzado en su desarrollo con anterioridad: el físico sueco Sven Ason Berglund había patentado en 1914 un método que trataba de incrementar la capacidad de

las células fotosensibles, mientras que en 1931, el ingeniero alemán Bruno Lange había desarrollado una fotocélula usando seleniuro de plata en lugar de óxido de cobre. [6]

La era moderna de la tecnología solar no llegó hasta el año 1954, cuando los investigadores estadounidenses Gerald Pearson, Calvin S. Fuller y Daryl Chapin, de los Laboratorios Bell, descubrieron de manera accidental que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas eran muy sensibles a la luz. Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial. Emplearon una unión difusa de silicio p-n, con una conversión de la energía solar de aproximadamente 6 %, un logro comparado con las células de selenio que difícilmente alcanzaban el 0,5 %. [7]

Al principio, las células fotovoltaicas se emplearon de forma minoritaria para alimentar eléctricamente juguetes y en otros usos menores, dado que el coste de producción de electricidad mediante estas células primitivas era demasiado elevado: en términos relativos, una célula que produjera un vatio de energía mediante luz solar podía costar 250 dólares, en comparación con los dos o tres dólares que costaba un vatio procedente de una central termoeléctrica de carbón.

Las células fotovoltaicas fueron rescatadas del olvido gracias a la carrera espacial y a la sugerencia de utilizarlas en uno de los primeros satélites puestos en órbita alrededor de la Tierra. La Unión Soviética lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y Estados Unidos le seguiría un año después. La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958 (hoy en día el satélite más antiguo aún en órbita). En el diseño de éste se usaron células solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics. El sistema fotovoltaico le permitió seguir transmitiendo durante siete años mientras que las baterías químicas se agotaron en sólo 20 días. [8]

1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Ventajas:

- Es renovable, disponible en todo el planeta, instantánea –de radiación solar a electricidad– sin partes móviles, modular
- Genera desde fracciones de W y hasta cientos de MW
- Se traslada fácilmente.
- Se instala rápidamente.

- Utiliza poca agua, continúa abaratándose.
- Es almacenable.
- Posee los costos menores de operación y mantenimiento.
- Es versátil, silenciosa.
- Tiene menos riesgos tecnológicos.
- Provoca menos desastres naturales.

Desventajas:

- Presenta una baja eficiencia, la que ha ido y seguirá aumentando; hoy no es el problema principal.
- Tiene un alto costo que ha ido y continuará descendiendo. [9]

1.3 Desarrollo de la energía solar fotovoltaica en el mundo.

1.3.1 Crecimiento de energía solar fotovoltaica por países.

El crecimiento mundial de la energía solar fotovoltaica ha seguido una curva exponencial durante más de dos décadas (ver figura 1.1). Durante este periodo de tiempo, ha evolucionado desde un nicho de mercado basado en aplicaciones de pequeña escala hasta convertirse en una fuente convencional de electricidad.

Cuando los sistemas fotovoltaicos se reconocieron por primera vez como una tecnología de energía renovable prometedora, se comenzaron a implementar programas de subvenciones en diferentes países para proporcionar incentivos económicos a las inversiones. Durante varios años, el crecimiento fue principalmente conducido por Japón y varios países europeos pioneros como Alemania.

Como consecuencia, el costo de la energía solar fotovoltaica ha declinado significativamente debido a las mejoras en tecnología y economías de escala, sobre todo cuando la producción de módulos y células solares empezó a dispararse en China. Desde entonces, el despliegue de la fotovoltaica se está produciendo a cada vez mayor escala, particularmente en Asia pero también en América del Norte y otras regiones, donde la energía solar está compitiendo cada vez más

con fuentes de energía convencional, al alcanzarse la paridad de red en aproximadamente 30 países.

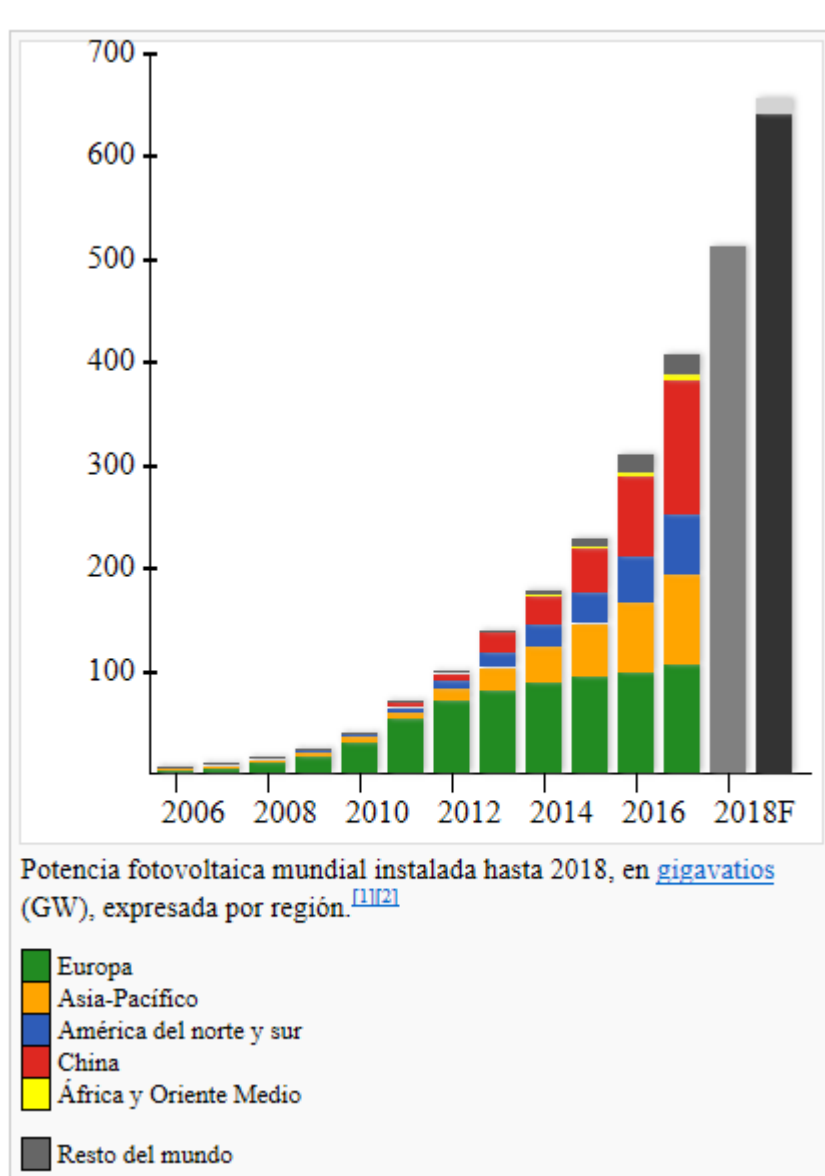


Figura 1.1 Crecimiento por países (Crecimiento de la energía solar fotovoltaica - Wikipedia, la enciclopedia libre)

China

La energía fotovoltaica se ha convertido en una de las mayores industrias de la República Popular China. El país asiático es líder mundial por capacidad fotovoltaica, con una potencia instalada a principios de 2019 superior a los 170 GW. Cuenta además con unas 400 empresas fotovoltaicas, entre las que destacan Trina Solar, Jinko Solar y JA Solar, gigantes mundiales en la fabricación

de paneles solares. En 2014 producía aproximadamente la mitad de los productos fotovoltaicos que se fabrican en el mundo (China y Taiwán juntos suman más del 60 % de cuota). La producción de paneles y células fotovoltaicas en China se ha incrementado notablemente durante la última década: en 2001 mantenía una cuota inferior al 1 % del mercado mundial, mientras que por las mismas fechas, Japón y Estados Unidos sumaban más del 70 % de la producción mundial. Sin embargo, la tendencia se ha invertido y en la actualidad China supera ampliamente al resto de productores.

La capacidad de producción de paneles solares chinos prácticamente se cuadruplicó entre los años 2009 y 2011, superando incluso la demanda mundial. Como resultado, la Unión Europea acusó a la industria china de estar realizando dumping, es decir, vendiendo sus paneles a precios por debajo de coste, imponiendo aranceles a la importación de este material.

Alemania

Alemania dispone a principios de 2016 de una potencia instalada cercana a los 40 GW. Solo en 2011, Alemania instaló cerca de 7,5 GW, y la fotovoltaica produjo 18 TW·h de electricidad, el 3% del total consumido en el país.

El mercado fotovoltaico en Alemania ha crecido considerablemente desde principios del siglo XXI gracias a la creación de una tarifa regulada para la producción de energía renovable, que fue introducida por la "Erneubare-Energien-Gesetz" (ley de energías renovables), ley publicada el año 2000. Desde entonces, el coste de las instalaciones fotovoltaicas ha descendido más del 50% en cinco años, desde 2006. Alemania se ha marcado el objetivo de producir el 35% de la electricidad mediante energías renovables en 2020 y alcanzar el 100% en 2050.

Japón

En 2014, la potencia fotovoltaica instalada alcanzó en Japón su record histórico con 10 GW, comparados con los 7 GW instalados en 2013. A finales de 2014, la potencia total fotovoltaica instalada en el país se situaba en torno a los 23 GW, que contribuían aproximadamente en un 2,5% a la demanda eléctrica del país. Durante el verano de 2015, se informó que la producción fotovoltaica en Japón había cubierto en determinados momentos el 10 % de la demanda total nacional.

Estados Unidos

Estados Unidos es desde 2010 uno de los países con mayor actividad en el mercado fotovoltaico, cuenta con grandes empresas del sector, como First Solar o Solar City, así como numerosas

plantas de conexión a red. A principios de 2015, Estados Unidos superó los 20 GW de potencia fotovoltaica instalada, suficiente para proporcionar electricidad a más de 4 millones de hogares, tras instalar 8 GW sólo en 2014.

India

India está densamente poblada y tiene también una gran irradiación solar, lo que hace del país uno de los mejores candidatos para el desarrollo de la fotovoltaica. En enero de 2015, el gobierno indio incrementó de forma significativa sus planes de desarrollo solar, estableciendo un objetivo de inversiones por valor de 100.000 millones de dólares y 100 GW de capacidad solar para 2022.

A comienzos de 2016, la potencia total instalada en India se situaba por encima de los 5 GW.

[10]

1.3.2 Energía solar fotovoltaica en Cuba.

Como parte del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030, Cuba aspira a aumentar la participación de las fuentes renovables de energía en su matriz de generación eléctrica a un 24%, cifra que, ha dicho el Presidente Miguel Díaz-Canel Bermúdez, no debe constituir una meta cerrada sino el punto al que llegar en un primer impulso [11]

Hasta la fecha de noviembre del 2019 se ha instalado una potencia de 156.6 MW pico (MWp) en 67 parques solares fotovoltaicos. “Lo instalado hasta hoy representa el 22.4% de los 700 MW que se proyecta generar en 2030 con esta tecnología, y significa ahorro de combustible, fundamentalmente de diésel. Estas instalaciones han permitido reducir la utilización de los grupos electrógenos diésel en el horario diurno, especialmente durante el mediodía, cuando ocurre un pico de demanda eléctrica, sobre todo por la cocción de alimentos en el sector residencial, y cuando transcurre la etapa del día de mayor irradiación solar

Si se pudiera suministrar a la población paneles fotovoltaicos a precios moderados o por créditos bancarios, gradualmente se podría generar energía en nuestras casas a un bajo precio, aunque se demore de manera inicial amortizar la inversión.

Esta demanda debe a crecer en el futuro y la tendencia será a abaratar costos de equipamiento y de instalación, mejorando cada vez más la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

Existen actualmente en Cuba potencialidades para generar aproximadamente cinco kilovatios/hora (KWh) diario por metro cuadrado a partir de la energía solar, lo que implica la

instalación, hasta 2030, de 700 MWp (megawatt-pico) en parques solares fotovoltaicos conectados al Sistema Eléctrico Nacional.

De acuerdo con las estimaciones, una vez instalada toda la potencia prevista se producirán más de 1 000 GWh/año y se evitará la emisión de más de 874 000 toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera.[12]

1.4 Nuevas tecnologías de paneles solares

Diseño de piel solar

Una barrera importante para la industria solar es el hecho de que un alto porcentaje de los propietarios de viviendas consideran que los paneles solares son una adición antiestética.

Por suerte, una nueva empresa tiene una solución. Sistine Solar, una firma de diseño con sede en Boston, está haciendo grandes avances con el concepto de mejora estética que permite que los paneles solares tengan una apariencia personalizada.

La puesta en marcha del MIT ha creado un producto de “revestimiento solar” que hace posible que los paneles solares coincidan con la apariencia de un techo sin interferir con la eficiencia o la producción del panel.

Carreteras solares

Se allanó el camino para las pruebas de una nueva y emocionante tecnología fotovoltaica: las carreteras con energía solar.

Ruta 66

Las aceras a lo largo de la Ruta 66, la histórica carretera interestatal de los Estados Unidos, se eligieron como el lugar de prueba para la tecnología de pavimento con energía solar.

Estas carreteras se anuncian por su capacidad para generar energía limpia, pero también incluyen bombillas LED que pueden iluminar las carreteras durante la noche y tienen la capacidad de calefacción térmica para derretir la nieve durante el invierno.

Dispositivos solares

Aunque los dispositivos solares portátiles no son nada nuevo (los relojes con energía solar y otros aparatos han estado en el mercado durante varios años), en los últimos años se produjo una innovación en los textiles solares: ahora se pueden coser pequeños paneles solares en el tejido de la ropa.

Los productos solares portátiles del pasado, como los relojes con energía solar, se han hecho típicamente con material plástico duro.

Este nuevo concepto textil hace posible que la energía solar se expanda a productos domésticos como cortinas de ventanas y tecnología de limpieza dinámica para el consumidor, como asientos de automóviles con calefacción.

Esta tecnología solar emergente está acreditada a la diseñadora textil Marianne Fairbanks y a la química Trisha Andrew

Baterías solares: innovación en almacenamiento solar

Los conceptos de almacenamiento solar y solar fuera de la red más han ganado popularidad en los mercados de EE. UU., y los fabricantes de energía solar se han dado cuenta.

El famoso Tesla Powerwall, un producto de batería de ion-recarga de gel de litio lanzado en 2015, continúa liderando el paquete en lo que respecta a la participación en el mercado y al reconocimiento de la marca de baterías solares.

Tesla ofrece dos productos de almacenamiento, el Powerwall para uso residencial y el Powerpack para uso comercial, y se espera que el gigante del auto limpio lance su producto Powerwall 2.0 en las próximas semanas.

El almacenamiento solar sigue siendo un producto bastante caro en 2019, pero se espera que un aumento en la demanda de los compradores de energía solar traiga al mercado baterías significativamente más eficientes y asequibles en 2019.

Soportes de seguimiento solar

A medida que la energía solar comienza a alcanzar el estado general, cada vez más propietarios de viviendas están considerando la energía solar, incluso aquellos que tienen techos que no son ideales para los paneles.

Debido a esta expansión, la energía solar montada en el suelo se está convirtiendo en una opción viable de energía limpia, gracias en parte a la tecnología de montaje de seguimiento.

Los rastreadores permiten que los paneles solares maximicen la producción de electricidad al seguir el sol mientras se mueve por el cielo.

Los sistemas de seguimiento fotovoltaico inclinan y desplazan el ángulo de una matriz solar a medida que pasa el día para adaptarse mejor a la ubicación del sol.

Aunque este complemento de panel ha estado disponible durante algún tiempo, los fabricantes de energía solar realmente están adoptando la tecnología.

GTM Research reveló recientemente un informe reciente que muestra una importante tendencia al alza en la popularidad de los sistemas de seguimiento.

GTM proyecta un aumento de 254 por ciento año tras año para el mercado de seguimiento fotovoltaico este año. El informe indicó que para 2021, casi la mitad de todos los arreglos de montaje en tierra incluirán la capacidad de seguimiento solar.[13]

1.5 Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas la podemos realizar en función de la aplicación a la que están destinadas. Así, distinguiremos entre aplicaciones autónomas o aplicaciones conectadas a la red.

1.5.1 Aplicaciones autónomas

Producen electricidad sin ningún tipo de conexión con la red eléctrica, a fin de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentran ubicadas (ver figura 1.2). Pueden distinguirse dos bloques:

- Aplicaciones espaciales: sirven para proporcionar energía eléctrica a elementos colocados por el ser humano en el espacio, tales como satélites de comunicaciones, la Estación Espacial Internacional, etc. La investigación en esta área la proporcionó el desarrollo de los equipos fotovoltaicos tal y como los conocemos en la actualidad.
- Aplicaciones terrestres, entre las que cabe resaltar las profesionales:
 - Telecomunicaciones: telefonía rural, vía radio, repetidores
 - Electrificación de zonas rurales y aisladas: estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones en desarrollo y todas aquellas zonas en que no existe acceso a la red eléctrica comercial: viviendas aisladas, de ocupación permanente o periódica, refugios de montaña, etc.
 - Señalización: se aplica, por ejemplo, a señales de tráfico luminosa, formada por diodos LED, alimentados por un panel solar y una batería.

- Alumbrado público: se utiliza en zonas en la que resulta complicado llevar una línea eléctrica convencional.
- Bombeo de agua: estas instalaciones están pensadas para lugares tales como granjas, ranchos, etc. Se pueden realizar en cualquier lugar. Su uso puede ser tanto para agua potable como riego.
- Redes VSAT: redes privadas de comunicación (para una empresa, un organismo oficial, etc.) que actúan a través de satélite. La energía solar se utiliza para alimentar las estaciones de la red.
- Telemetría: permite realizar medida sobre variables físicas y transmitir la información a la central.
- Otras aplicaciones: juguetes y alumbrado en jardines

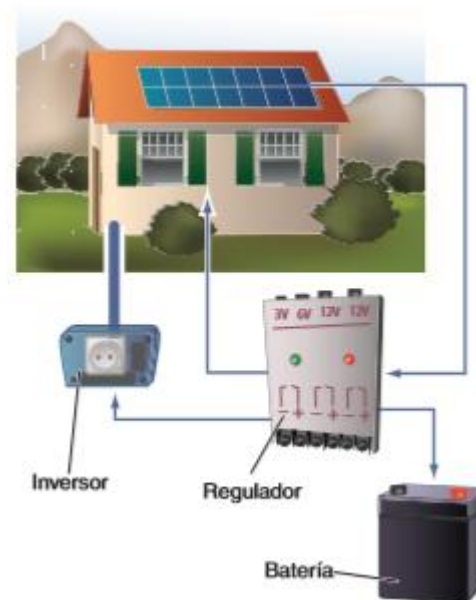


Figura 1.2 Aplicación autónoma

1.5.2 Aplicaciones conectadas a la red

En ellas, el productor no utiliza la energía directamente, sino que es vendida al organismo encargado de la gestión de la energía en el país (ver figura 1.3). Tienen la ventaja de que la producción de electricidad se realiza precisamente en el periodo de tiempo en que la curva de

demanda de electricidad aumenta, es decir, durante el día, siendo muy importante los kilovatios generados de esta forma. Cabe distinguir:

- Centrales fotovoltaicas y huertos solares: recintos en los que se concentra un número determinado de instalaciones fotovoltaicas de propietarios diferentes con el fin de vender la electricidad producida a la compañía eléctrica con la cual se haya establecido el contrato. La energía vendida puede estar a nombre de una persona, una sociedad, etc. Cada instalación tiene su propietario y todas ellas están en el mismo lugar. Esto posibilita mejoras en el mantenimiento de la instalación, vigilancia, pólizas de seguro, etc.
- Edificios fotovoltaicos: es una de las últimas aplicaciones desarrolladas para el uso de la energía fotovoltaica. La rápida evolución de los productos de este tipo ha permitido el uso de los módulos como material constructivo en cerramiento, cubiertas y fachadas de gran valor visual. Además, la energía fotovoltaica es el sistema de energías renovables más adecuado para la generación de electricidad en zonas urbanas sin provocar efectos ambientales adversos. La integración arquitectónica consiste en combinar la doble función, como elemento constructivo y como productor de electricidad, de los módulos fotovoltaicos.

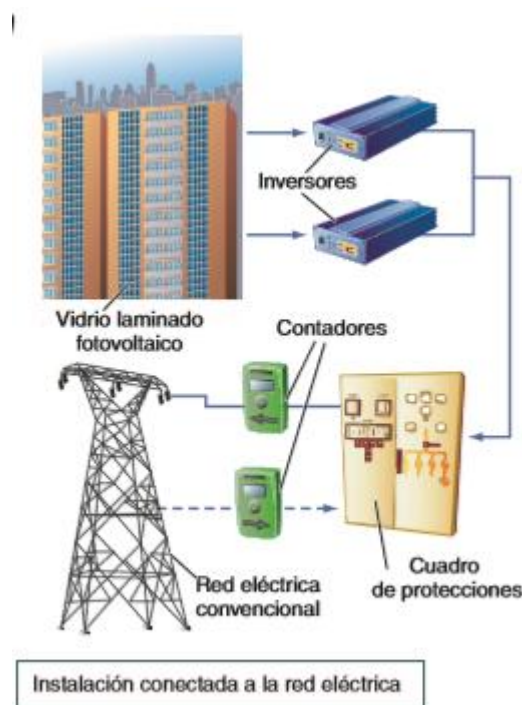


Figura 1.3 Instalación conectada a la red

1.6 Elementos de una instalación solar fotovoltaica

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considera (conectada o no a la red) y de las características de la instalación. Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Y que son los siguientes:

Paneles solares: son un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, que generan electricidad en corriente continua. Para su mejor aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento.

Regulador de carga: tiene por función proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.

Baterías: son el almacén de la energía eléctrica generada. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

Inversor: transforma la corriente continua generada por las placas fotovoltaicas y acumulada en las baterías a corriente alterna. El dimensionamiento de una instalación aislada requiere disponer de información relativa al consumo previsto de energía del lugar que se ha de electrificar y de la disponibilidad media de radiación solar a lo largo del año. Debido a los costos que actualmente maneja esta tecnología se recomienda el uso de aparatos de bajo consumo, el sobre costo que estos a veces pueden tener, se compensa por la reducción en el costo de la instalación fotovoltaica.

Con respecto, a los elementos de los sistemas conectados a la red, los módulos fotovoltaicos son los mismos que se emplean en instalaciones aisladas. Debido a que la energía producida va directamente a la red, la diferencia fundamental de estas instalaciones radica en la ausencia de acumuladores y de regulador de carga. Respecto al tipo de ondulador empleado, normalmente se usan aparatos de mayor potencia que incluyen controladores de fase para adecuar la corriente alterna a la que circula por la red.

1.6.1 Inversor

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

La misión del inversor en las instalaciones autónomas es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a los mismos electrodomésticos de los utilizados habitualmente en las viviendas. En este caso, las variaciones que pueda sufrir la corriente no tienen la importancia que en el caso de los inversores conectados a la red.

En el caso de las instalaciones conectadas a red, el inversor debe proporcionar una corriente alterna que sea de las mismas características de la red eléctrica a la que está conectado, tanto en forma como en valor eficaz y sobre todo en la frecuencia; no se permiten prácticamente variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución.

La principal diferencia entre las dos instalaciones es que en las autónomas se cuenta con los acumuladores para almacenar la energía y los reguladores de carga de los mismos, mientras que en las instalaciones conectadas a la red, la energía no se almacena, sino que se pone en disposición de los usuarios a través de la red eléctrica según se produce.

1.6.2 Regulador de carga

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. El regulador tiene como misión evitar situaciones de carga y sobredescarga de la batería, con el fin de largar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobredescarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería.

1.6.3 Baterías

Es necesario utilizar un sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos donde la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utiliza las baterías o acumuladores. Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica.

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida. Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

1.6.4 Panel solar

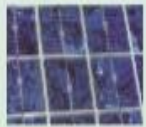
El panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión, que definirá la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células y son fundamentalmente:

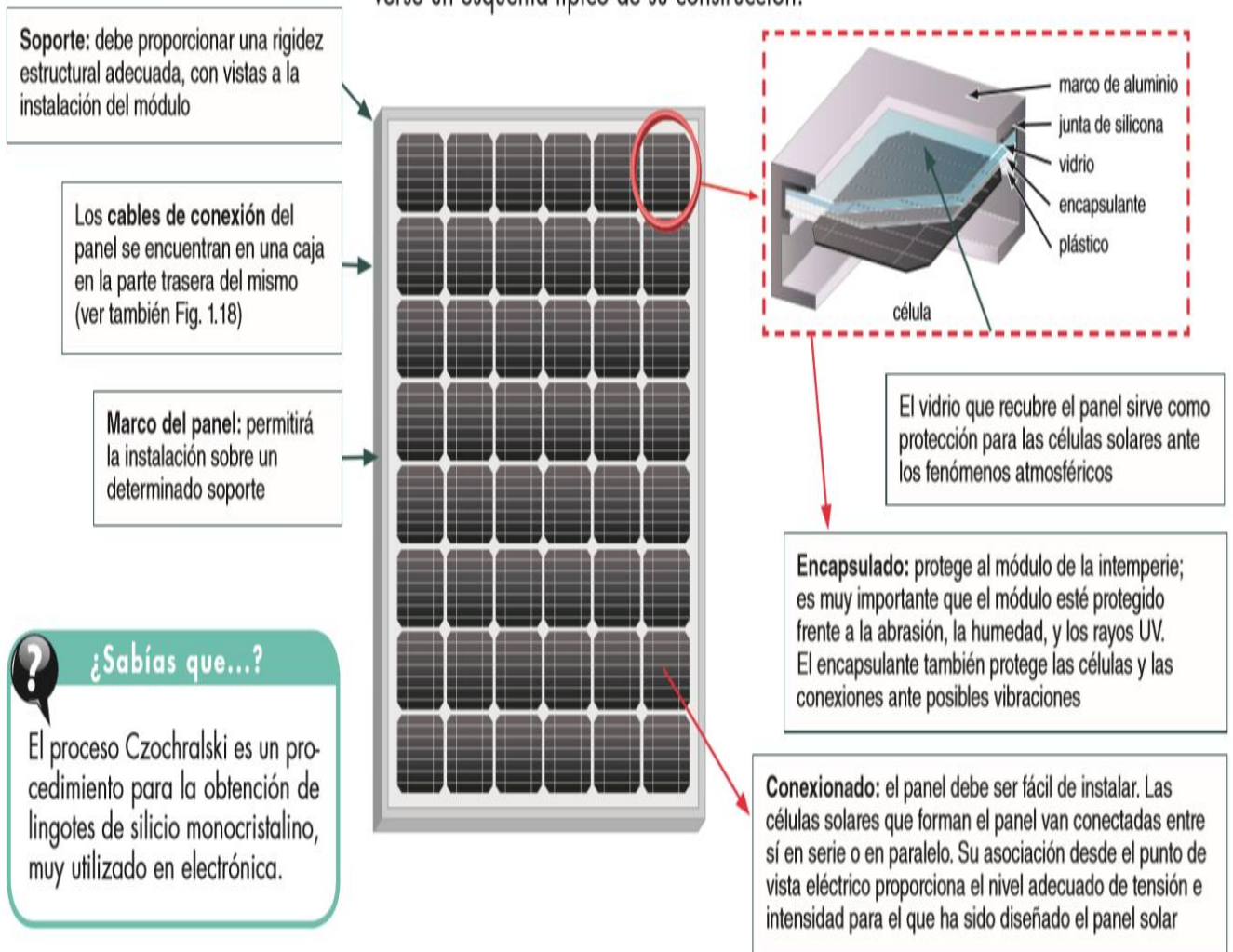
- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

En la tabla podemos observar las diferencias que existen entre ellos:

Tabla 1.4 Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

En la Fig.1.13 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.



1.6.4.1 Potencia de la célula solar

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de 10 x 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico a la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características acabamos de ver.

Según la conexión eléctrica que hagamos de la célula, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.

La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Conclusiones del Capítulo

1. La energía solar fotovoltaica se ha convertido en uno de los principales recursos de los países del mundo en la generación de energía, al ser una fuente de energía limpia e inagotable
2. La situación actual de la energía solar fotovoltaica es prometedora y posee un gran crecimiento, gracias a las políticas favorables y a la reducción de sus precios de producción e instalación.

Capítulo 2: Instalación solar fotovoltaica

2.1 Norma que aplica Cuba en instalaciones con paneles fotovoltaicos

El Reglamento Electrotécnico Cubano (REC), relativo a las instalaciones eléctricas en edificaciones, constituye un documento de trabajo útil y regulatorio para profesionales de la rama eléctrica de diversas organizaciones, sean instaladores, proyectistas, inspectores, docentes, reguladores y otros. Abarca el sector industrial, terciario y doméstico. Está sustentado en las Normas Internacionales más recientes de la serie IEC 60364 Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión, se complementa con la Guía de instalaciones eléctricas (2016) de Schneider Electric, otras Normas de la IEC y otros documentos y normas citados en el texto. Presentado como Norma Cubana Obligatoria NC 800:2017, en su capítulo 13 (Instalaciones fotovoltaicas. Reseña), plantea que el desarrollo de la energía solar debe respetar reglas concretas de instalación.

Entre los aspectos que se tratan están: La energía solar fotovoltaica. Tipos de sistemas fotovoltaicos. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Estructura de soporte para paneles fotovoltaicos. Dimensionado de instalaciones fotovoltaicas autónomas. Dimensionado de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica. Protección de los sistemas fotovoltaicos. Supervisión de los sistemas fotovoltaicos.[14]

2.2 Descripción de la fábrica de Antenas y de su sistema de suministro de energía y pizarra general

La Empresa de Antenas es una empresa estatal cubana ubicada en la provincia de Villa Clara. Fue constituida el 12 de junio de 1997, del entonces Ministerio Industria Sidero-Mecánica y la Electrónica. La empresa actualmente está integrada al Grupo Empresarial de la Industria Electrónica, la informática, la Automatización y las Comunicaciones, en forma abreviada GELECT, subordinada al Ministerio de Industrias, con patrimonio independiente, personalidad jurídica propia. La empresa se encuentra localizada en la ciudad de Santa Clara, en la misma Carretera Central No. 536 - A esquina Tirso Díaz, a 266 Km. de Ciudad Habana.

Distancias a principales vías de acceso:

Autopista nacional: 2 1/2 Km, Ferrocarril central: 4 ½ km, Aeropuerto Abel Santamaría: 11 Km, Puerto de Cienfuegos: 65 Km.

La Empresa cuenta con un objeto empresarial aprobado mediante la Resolución No. 371 de fecha 29 de agosto de 2013, del Ministerio de Economía y Planificación:

- Producir, ensamblar y comercializar antenas, sistemas de antenas y dispositivos de posicionamiento u orientación de las antenas para recepción o transmisión satelital, escaleras profesionales y domésticas, carpintería en aluminio, acero, PVC y policarbonato.
- Desarrollar, producir y comercializar equipos asociados a la energía renovable, eléctricos, electrónicos, y médicos.
- Brindar servicios técnicos de montaje y postventa de sus producciones.
- Brindar servicios de proyectos y diseños de sus producciones.
- Elaborar y Montar falso techo, muebles y estructuras metálicas.
- Brindar servicios de pailería, maquinado y soldadura especializada en argón.

En la tabla 2.1 se muestran las áreas de la empresa

Tabla 2.1 Áreas de la empresa

No		m ²
1	Área de Oficinas	700
2	Área de Antenas Domesticas	167
3	Área de Carpintería	377
4	Área de Conformado y Corte	1004
5	Taller de FRE	2622
6	Almacenes	1893
	- Almacén Central	999
	- Almacén TORNISONI	300
	- Almacén Enrique Villegas	594
7	Servicios	191
	Total	6954

Se realizan procesos tecnológicos, entre los cuales podemos encontrar:

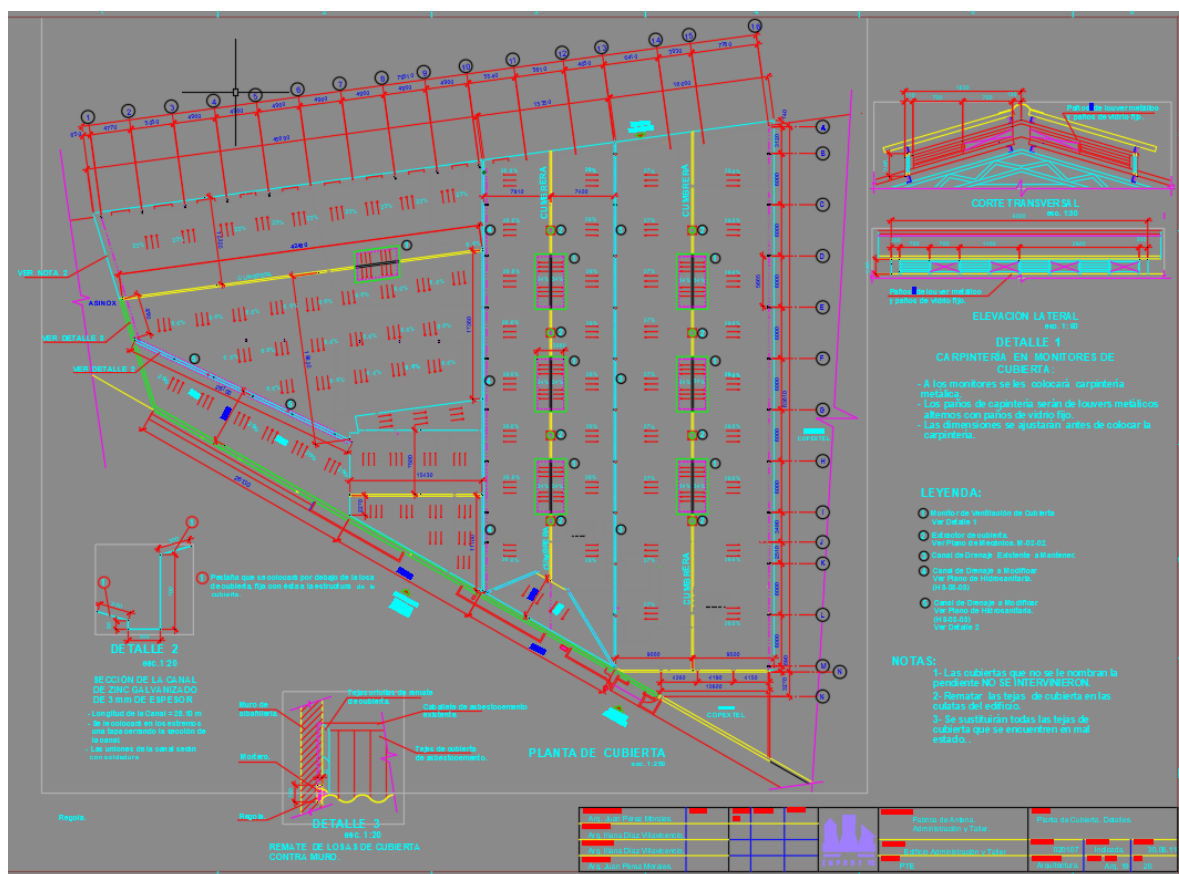
- Fabricación de antenas domesticas para TV.
- Fabricación de antenas profesionales.
- Fabricación y montaje de antenas parabólicas.
- Fabricación y Montaje de Sistemas Híbridos Eólico Solar.
- Fabricación de Concentradores Solares.
- Fabricación de Escaleras profesionales.
- Fabricación y Montaje de Carpintería de Aluminio.
- Además, se realizan procesos de soldadura, como son:
- Soldadura con Arco Eléctrico Manual (SMAW).
- Soldadura por arco con electrodo infusible y protección gaseosa (GTAW).
- Soldadura por arco con electrodo fusible y protección gaseosa (GMAW).
- Soldadura Oxiacetilénica OAW.
- Corte Arco Plasma (PAC).
- Corte Oxiacetilénico (OFC).

La Empresa de Antenas de Santa Clara se alimenta desde un banco de transformadores trifásico, conexión estrella-delta, de 2 x 50 kVA + 1 x 75 kVA 13200/220-110V. La distribución de la energía hacia la pizarra general proviene de dicho transformador mediante una acometida de 220 V, vía aérea, con cable monoconductor 3 x 250 mm² + 1 x 3/0 AWG + 1 x 3/0 AWG. La pizarra general está compuesta por interruptores automáticos que controlan y protegen los circuitos de esa entidad.

Esta Pizarra tiene una carga instalada de 140 kW y está compuesta por 8 interruptores automáticos trifásicos, los cuales alimentan las siguientes pizarras de fuerza y alumbrado:

- Pizarra # 4, Taller Central
- Gabinete 1 y Área Administrativa
- Pizarra 4 Gabinete 2
- Pizarra 2
- Reserva
- Reserva
- Compresores
- Reserva

En la figura 2.2, con la utilización del AutoCAD, se muestra la cubierta de la empresa de Antenas.



2.2.1 Análisis de cuál es la energía renovable más factible en la empresa de Antenas.

La empresa de antenas está enclavada en una zona residencial donde el viento no es lo suficientemente fuerte para el uso de generadores eólicos, el mar se encuentra muy alejado de la instalación, y no cuenta con saltos de agua, ni con sustancias de seres vivos utilizables para generar electricidad, por lo que la energía solar es la más viable, por tener grandes extensiones de techos la instalación donde se pueden acometer obras importantes en busca de generar electricidad por medio de paneles solares.

2.2.2 Datos con respecto a la tarifa eléctrica de la empresa de Antenas

En la figura 2.3 se muestra el consumo mensual del año 2019 de la empresa de Antenas

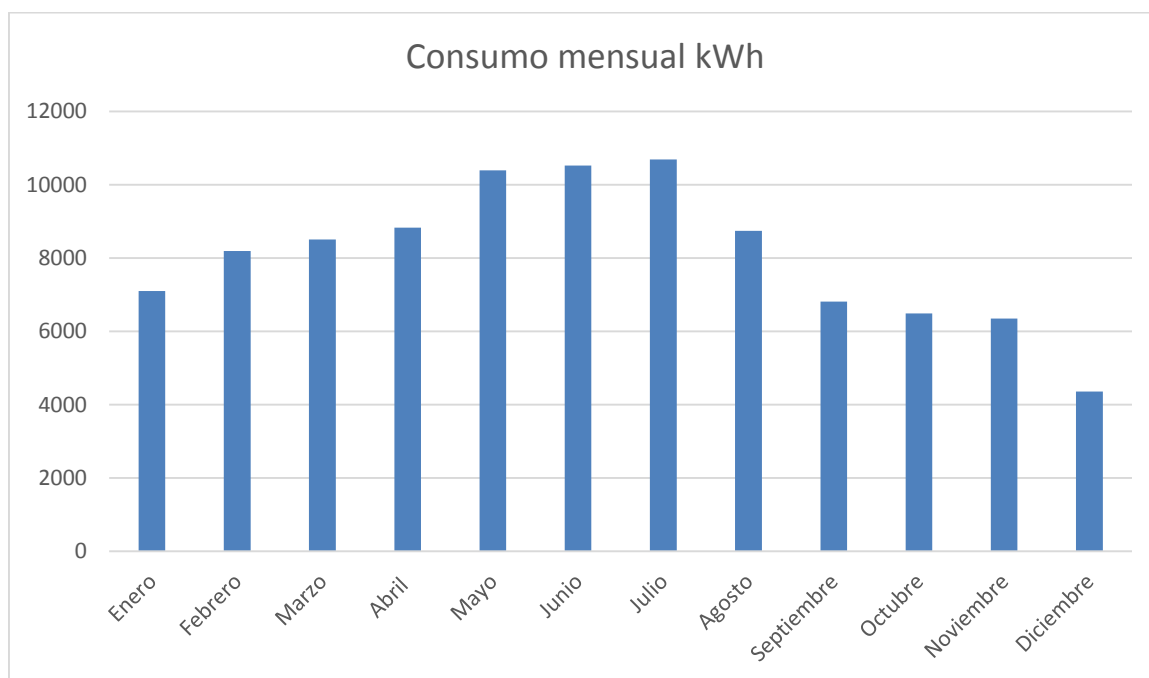


Figura 2.3 Consumo mensual

Se registró como demanda máxima de energía un consumo de 10687 kWh en el mes de julio, como demanda total en el año un consumo de 97005 kWh, y como promedio 8084 kWh aproximadamente. La empresa tiene como plan eléctrico para el año 2020 no sobrepasar los 139560 kWh total en el año y que no se sobrepase los 11630 kWh mensual.

En la figura 2.4 se muestra la demanda contratada día kWh y la demanda registrada día kWh en los 12 meses del año 2019 de la empresa de Antenas.

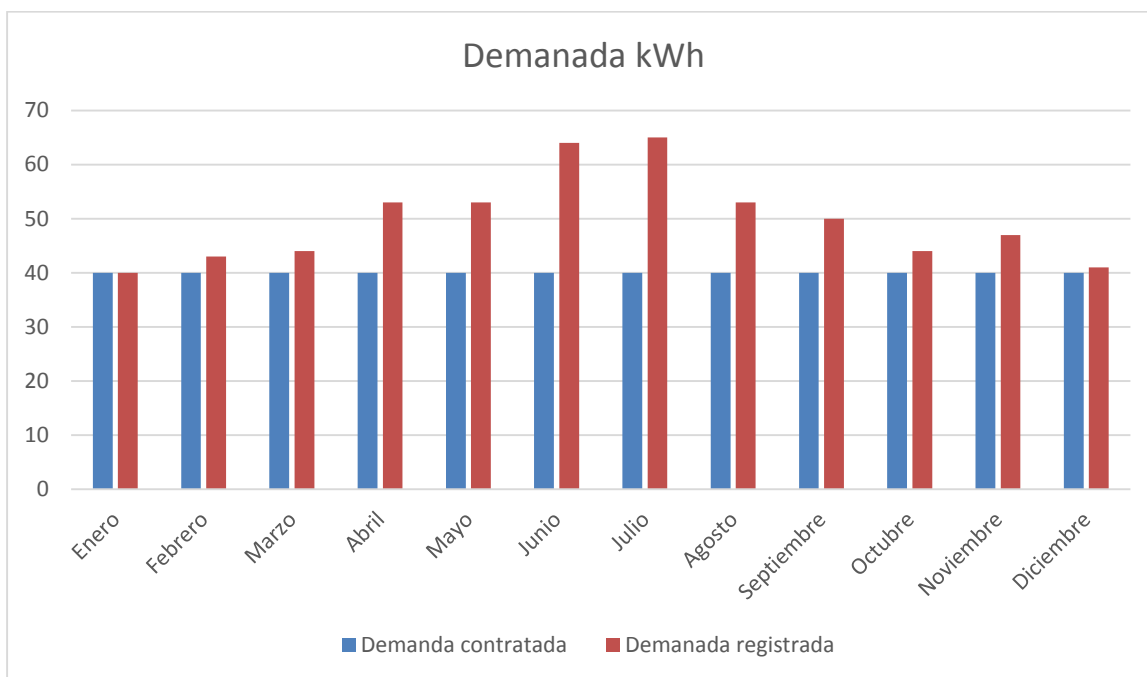


Figura 2.4 Demanda contratada día kWh

Como se puede apreciar en todos los meses menos en el mes de enero la demanda registrada superó la demanda contratada, por lo que la empresa de Antenas recibió una penalización, pero a su vez una bonificación, al mantener un buen factor de potencia.

En el gráfico 2.5 se muestra el factor de potencia de la empresa de Antenas en los meses del año 2019.

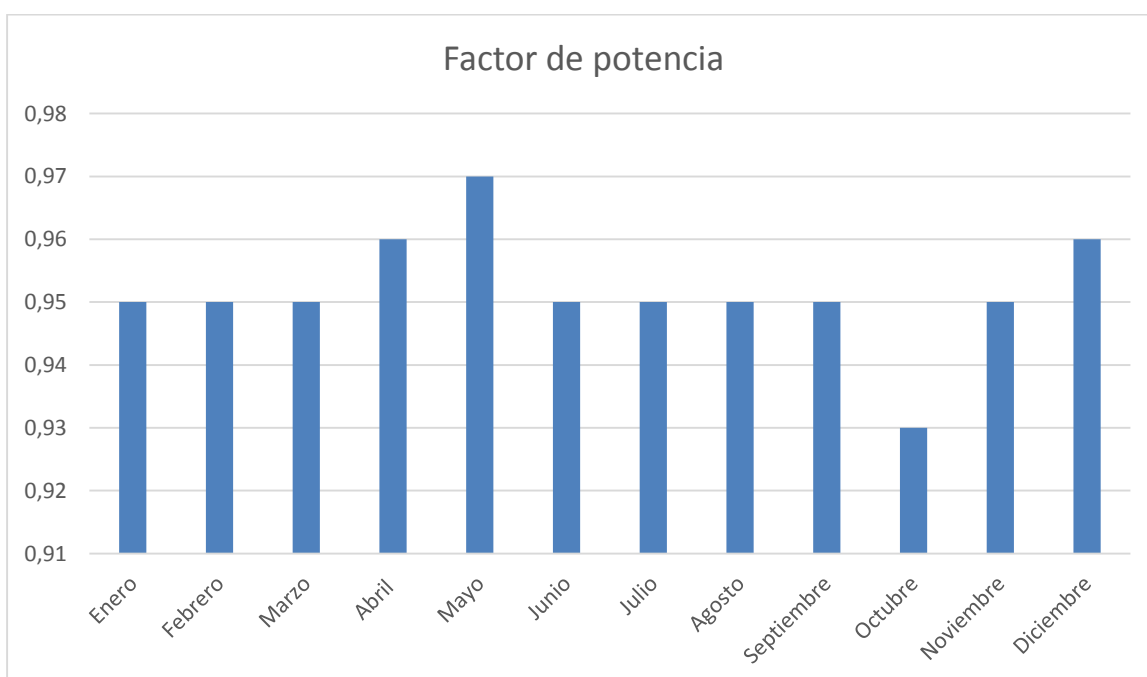


Figura 2.5 Factor de potencia

En la tabla 2.6 se muestra la penalización y bonificación en la tarifa eléctrica que recibió la empresa de Antenas en los meses del año 2019.

Tabla 2.6 Penalización y bonificación

Mes	Factura pesos	Penalización pesos	Bonificación pesos	Total pagado pesos
Enero	1384.98	21	-43.79	1362.24
Febrero	1544.59	147	-48.78	1642.81
Marzo	1632.13	84	-51.54	1664.59
Abril	1698.95	210	-70.79	1838.16
Mayo	1960.49	273	-81.69	2151.8
Junio	1952.42	525	-61.88	2415.54
Julio	2058.1	504	-64.99	2497.11
Agosto	1702.12	273	-53.78	1921.34
Septiembre	1378.69	273	-43.54	1608.15
Octubre	1317.12	84	-14.16	1386.96
Noviembre	1296.21	63	-40	1319.21
Diciembre	974.56	0	-40.61	933.95

2.3 Selección y características del tipo de panel

Se utilizarán los paneles solares fabricados en Pinar del Río DSM-270 ($W_p=270$ W, $V_{mp}=31.1$ V, $V_{oc}=38.4$ V, $I_{max}=8.69$ A), como objetivo de que la inversión de dinero se quede en el propio país y siguiendo además de otra manera, la política del país de implementar fuentes de energía renovables para la generación de electricidad.

El módulo fotovoltaico SERIE DSM-270 está compuesto por 60 celdas solares del formato 156 mm X 156 mm, conectadas en serie. El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de 3,2 mm por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo y una adherencia perfecta con el EVA.

La Empresa de Componentes electrónicos (CCE) asegura que sus módulos fotovoltaicos tendrán:

- 25 años con una potencia de salida mayor al 80 %.
- 2.5 % de degradación en el primer año.
- 0.7 % de degradación lineal anual.
- 10 años de garantía contra defectos de fabricación (materiales y operaciones).

Los módulos DSM cumplen con todos los requerimientos establecidos en las normas internacionales:

- IEC 61215 – Edición 2, IEC 61730.
- Clase de protección II.

En la tabla 2.7 se muestran las especificaciones de dicho panel.

Tabla 2.7 Especificaciones del panel

Especificaciones			
Celda	Celda Solar de silicio Multicristalino 156 X 156 mm		
No. De celdas y conexiones	60 (6X10)		
Dimensiones del módulo	1650 mm X 990 mm X 35 mm		
Cubierta frontal	Vidrio Templado 3,2 mm		
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado		
Peso	18.5 Kg		
Características eléctricas			
Modelo		DSM-270	
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]		38.4	
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]		30.52	
Corriente de corto circuito (Isc) [A]		9.21	
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]		8.86	
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]		270	
Tolerancia [W]		0,+5	
Eficiencia del módulo (%)		16.52	
STC: 1000 W/m², 25°C, AM 1,5			
Límites			
Temperatura de operación	-40 a +85°C		
Voltaje máximo del sistema	1000 VDC		
Valor Máximo del fusible de la serie	15A		
Resistencia mecánica	5400 Pa		
Parámetros de las características térmicas			
NOCT	[°C]	45 ± 2	
Coeficiente de temperatura (Isc)	[%/°C]	0.04478	
Coeficiente de temperatura (Voc)	[%/°C]	-0.30537	
Coeficiente de temperatura (Pmp)	[%/°C]	-0.41004	

En la figura 2.8 se muestra la distribución de los paneles en la Fábrica de Antenas en la cubierta seleccionada

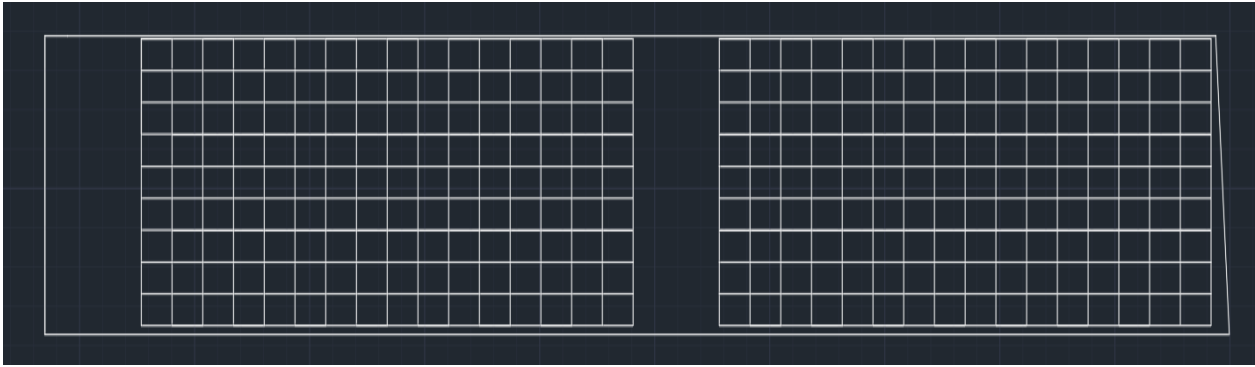


Figura 2.8 Distribución de paneles en la cubierta

Desde el punto de vista de la eficiencia de los paneles solares, se debe tener presente que existe una pérdida en la capacidad de generación de año en año, siendo esta más significativa en la medida que se aproxima más al fin del ciclo de vida, estimándose que al final de este término de tiempo la eficiencia puede haberse reducido entre un 20 y un 25%, en dependencia de la calidad del módulo fotovoltaico utilizado. Por tanto, a la hora de realizar un estudio económico se debe de tomar en cuenta un coeficiente de pérdida de productividad anual, así como el valor residual de la instalación fotovoltaica a los 30 o 35 años de uso, el que representa el precio al que podría ser vendida.

2.4 Cálculo de parámetros para obtener el número de paneles

Se determinó el consumo diario (CD)

$CD = \text{kWh/días del mes}$

$CD = 10687/31 \approx 345 \text{ kWh/día}$

Nota: se toma el mes de mayor consumo

Se tiene en cuenta factores de corrección como:

FVC: variación de horas de carga o cargas adicionales (varía de 10 a 30 %)

Nota: se tomó un 20%, donde el $FVC = 1.2$

FPE: pérdida por calentamiento, caída de voltaje, empalmes, etc. (varía de un 3 a un 5 %).

Nota: se tomó un 5%, dando un $FPE = 1.05$

FPI: factor de pérdida del inversor (varía de 5 a 10 %).

Nota: se tomó un 10%, dando un $FPI = 1.1$

PAE: porcentaje del total de energía que se desea ahorrar y debe ser generada por los paneles (varía de 1 a 100 %)

Nota: se tomó un 33% de ahorro, obteniéndose un PAE=0.33

EFV: energía generada por el sistema fotovoltaico

$$EFV = CD * FVC * FPE * FPI * PAE$$

$$EFV = 345000 * 1.2 * 1.05 * 1.1 * 0.33 = 157796.1 \text{ Wp}$$

Utilizando los datos del proyecto Europeo SoDa, se registraron los siguientes valores de radiación solar por mes (tabla 2.9).

Tabla 2.9 Radiación solar

Mes	Radiación solar (Wh/m ² *día)
Enero	3781.05
Febrero	4595.43
Marzo	5312.86
Abril	5792.07
Mayo	5792.07
Junio	5795.07
Julio	5695.12
Agosto	5312.86
Septiembre	4642.52
Octubre	4404.30
Noviembre	3878.00
Diciembre	3492.97
Anual	4883.51

$$HSP = (Wh / m^2) / 1000w/m^2$$

Nota: se toma el valor de radiación del peor mes

$$HSP = 3.493 * 1000 / 1000 = 3.493 \text{ h}$$

$$EFV = HSP * N * Wp * \text{efic}$$

Wp: potencial del panel

Efic: eficiencia general del sistema

N: número de paneles

Nota: se tomó como eficiencia general del sistema un valor de 57%

Se toma

$$157796.1 = 3.493 \cdot N \cdot 270 \cdot 0.57$$

Despejando N

$$N = 157796.1 / (3.493 \cdot 270 \cdot 0.57)$$

$$N = 294$$

Se utilizará un área de 540 m², la cual forma parte de una de las cubiertas de la fábrica de Antenas. Dicha cubierta presenta un ángulo de inclinación de 18 grados y un ángulo acimut de -40° , con una latitud de 22.41° y longitud geográfica de -79.98° .

En la figura 3.0 se puede apreciar dicha área.



Figura 3.0 Área utilizada

2.5 Selección y características del inversor

Se selecciona el inversor Sunny Tripower STP17000TL-10, el cual posee 4 cadenas y se muestra en la figura 3.1

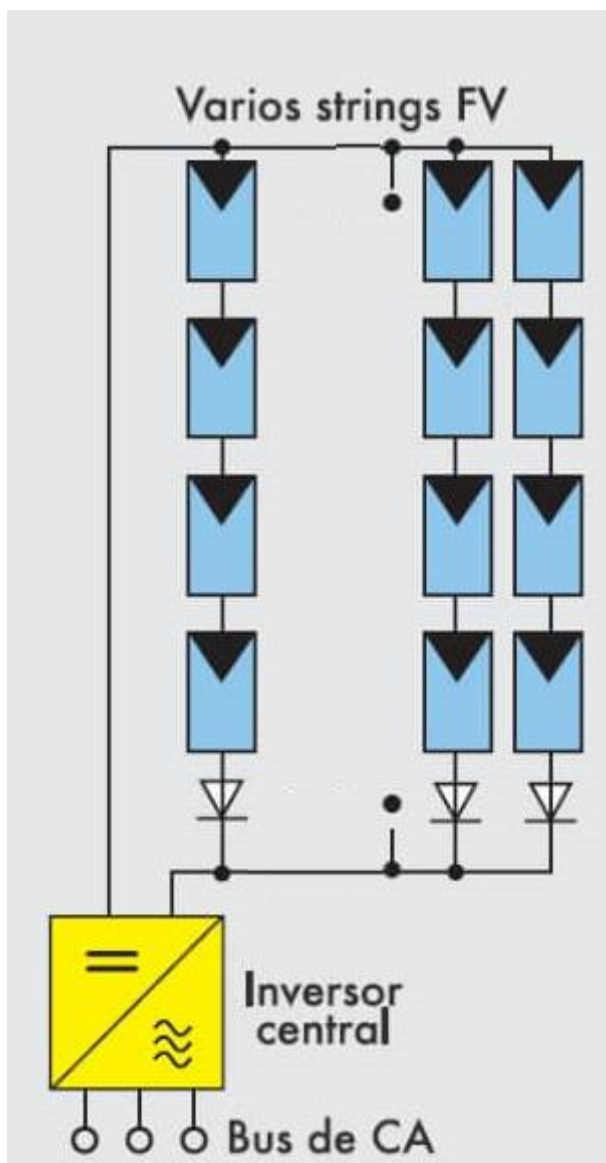


Figura 3.1 Cadenas del inversor

En la figura 3.2 se hace una representación esquemática del inversor.

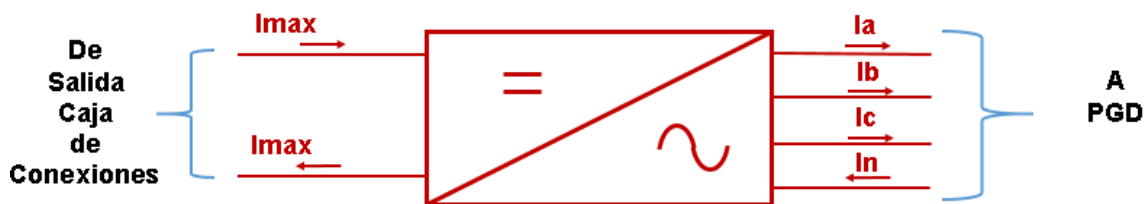


Figura 3.2 Representación esquemática

Los inversores son los encargados de inyectar a la red la energía generada por el arreglo fotovoltaico, entre sus principales características se encuentran las siguientes:

- ☐ Potencia máxima DC: 17410 W
- ☐ Corriente máxima de entrada DC: A: 33A, B: 11A
- ☐ Tensión máxima DC: 1000 V
- ☐ Rango de tensión de entrada del MPPT: 400-800 VDC
- ☐ Potencia nominal de AC: 17000 W
- ☐ Potencia máxima de AC: 17000 W
- ☐ Tensión nominal de AC: 230-400 V (160-280 V)
- ☐ Frecuencia nominal de AC: 50/60 Hz, ± 5
- ☐ Factor de potencia: 1
- ☐ Rendimiento máximo: 98,1 %
- ☐ Montaje: en intemperie (electr. IP65)
- ☐ Dimensiones: 665x690x265 mm
- ☐ Peso: 65 kg
- ☐ Vigilancia de aislamiento
- ☐ Protección contra inversión de polaridad.
- ☐ Seccionador de potencia de DC integrado (ESS)
- ☐ Monitorización de la toma de tierra
- ☐ Monitorización de la red.

El número total de paneles calculados es igual a 294, pero se emplearán 288, dando una potencia total de 77760 Wp.

Para 294 paneles $P_{fv}=270 \text{ Wp} \cdot 294=79380 \text{ Wp}$

Para 288 paneles $P_{fv}=270 \text{ Wp} \cdot 288=77760 \text{ Wp}$

48 paneles $\cdot 270 \text{ Wp}=12960 \text{ Wp}$

Se seleccionan 6 inversores con 3 cadenas cada uno, formada cada cadena por 16 paneles en serie.

En la figura 3.4 se muestra la configuración eléctrica del inversor con sus cadenas

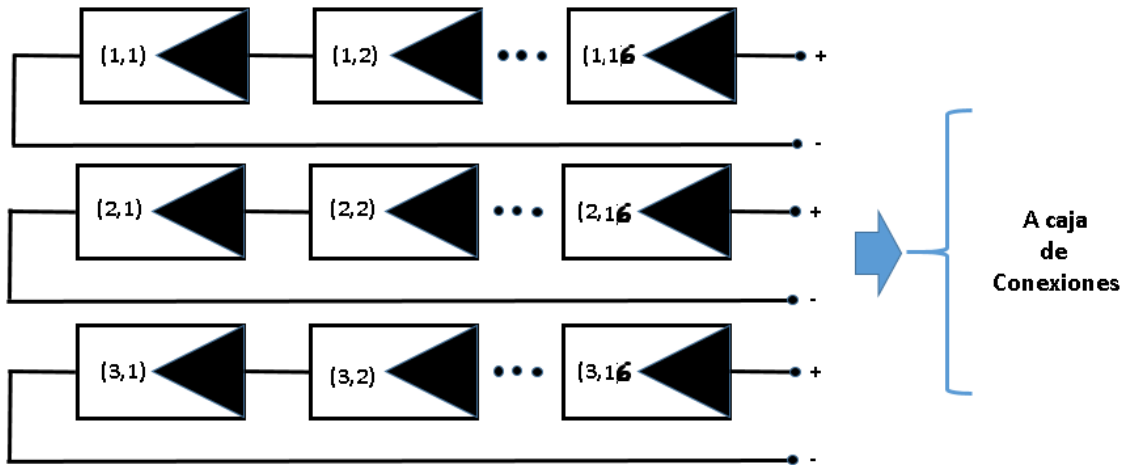


Figura 3.4 Configuración esquemática del inversor

En la figura 3.5 se muestra la configuración de una cadena

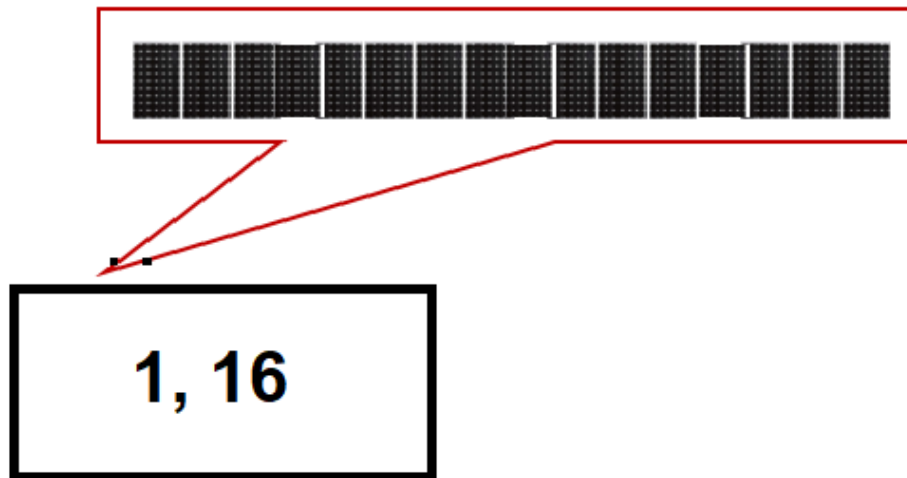


Figura 3.5 Configuración de la cadena

En la figura 3.6 se muestra la distribución de los inversores con sus cadenas utilizados en la instalación.

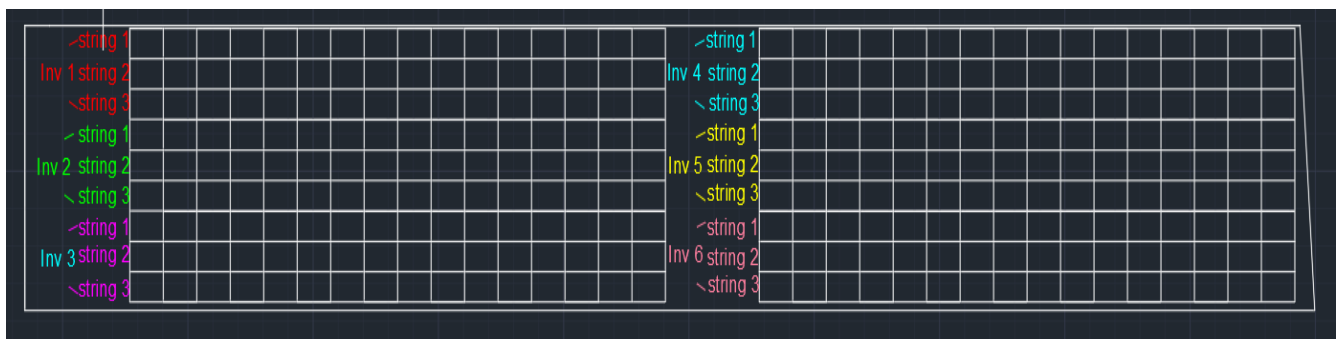


Figura 3.6 Distribución de los inversores

2.6 Selección del interruptor

$$I_{nom} = (P \cdot \cos\alpha) / (1.73 \cdot V_l)$$

$$I_{nom} = (17000 \cdot 1) / (1.73 \cdot 230)$$

$$I_{nom} = 42.72 \text{ A}$$

Nota: el $\cos\alpha=1$ al ser el factor de potencia del inversor unitario

$$I_{interruptor} = 1.35 \cdot I_{nom}$$

$$I_{interruptor} = 1.35 \cdot 42.72$$

$$I_{interruptor} = 57.67 \text{ A}$$

Se seleccionan 6 interruptores de 3 polos de 63 A, uno para cada inversor; y se seleccionan 4 interruptores de 1 polo de 32 A para cada fase (a, b, c), y otro para el neutro.

$$I_{total} = 6 \cdot I_{nom}$$

$$I_{interruptor} = 1.35 \cdot 6 \cdot 42.72$$

$$I_{interruptor} = 346 \text{ A}$$

Se selecciona un interruptor de 400 A (unidad de regulación de 0.6 a 1), como principal desconectivo.

Nota: se toma un factor de multiplicación 1.35, utilizado por los fabricantes de Schneider.

2.7 Selección de los conductores eléctricos

Los cables y conectores son elementos indispensables para el transporte de la energía eléctrica. Se selecciona un cable solar 10 AWG.

En la figura 3.7 se muestra las características del cable solar 10 AWG. (Cable solar 1)

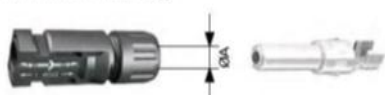
AWG	Insulation	Voltage	UL Type	Add'l Ratings
8	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2
10	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2
12	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2
14	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2
16	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2
18	XLPE	600V	UL 4703 Type PV	USE-2

Figura 3.7 Característica del cable solar 10 AWG

En la figura 3.8 se muestran las características de los conectores de los paneles fotovoltaicos.

Male and female cable couplers MC4 (including insulating part)

Male cable coupler ⊖



Female cable coupler ⊕



Cable cross section	Ø A (Cable outer diameter)	Male cable coupler Order No.	Female cable coupler Order No.	Rated current	Rated voltage	Approvals	
1,5 – 2,5mm²	3 – 6mm	32.0011P0001-UR	32.0010P0001-UR	1,5mm²: 17A 2,5mm²: 22,5A	1500V DC (IEC) ¹⁾ 1000V DC (IEC) 600V/1000V DC (UL)		
1,5 – 2,5mm²	5,5 – 9mm²	32.0013P0001-UR	32.0012P0001-UR				
4 – 6mm²	3 – 6mm	32.0015P0001-UR	32.0014P0001-UR	4mm²: 30A ¹⁾ /39A ²⁾ 6mm²: 30A ¹⁾ /45A ²⁾			
4 – 6mm²	5,5 – 9mm	32.0017P0001-UR	32.0016P0001-UR				
10mm²	5,5 – 9mm	32.0035P0001	32.0034P0001	43A	1500V DC (IEC) ¹⁾ 1000V DC (IEC)		

Assembly tools
see page 7

Assembly instructions **MA231**
www.multi-contact.com

Figura 3.8 Conectores MC4

2.7.1 Cálculo de la longitud de los cables a utilizar y número de conectores

Se necesitarán 2 cables para la conexión de cada panel, al tener este un positivo y un negativo.

Se utilizarán 288 paneles, los cuales tienen una longitud cada uno de 1650 mm de largo.

Se conectarán 16 paneles en serie por cadena, y entre cada panel existirá una separación de 20 mm aproximadamente.

Se utilizarán 6 inversores en total, y cada inversor posee 3 cadenas, las cuales están formadas por 16 paneles en serie.

Para calcular la longitud de los cables a utilizar:

El largo de la cubierta es de 65 m, mientras que la altura es de 7 m, dando un total de 72 metros. Para los inversores 1, 2, 3, la longitud del primer panel hacia la cabina de los inversores es de 72 m, mientras que para los inversores 4, 5, y 6, la longitud es de 36 m (Figura 3.6).

$$72 \text{ m} * 3 * 16 * 2 * 3 = 1296 \text{ m}$$

$$36 \text{ m} * 3 * 16 * 2 * 3 = 648 \text{ m}$$

$$\text{Total} = 1296 + 648 = 1944 \text{ m}$$

Se deben utilizar 2000 m de longitud de cable para la conexión entre todos los paneles.

Para calcular el número de conectores:

$$2 * 288 = 576$$

Se necesitan 600 conectores para la conexión de los paneles.

2.8 Caja de conexiones

A la caja de conexiones se conectarán tres cadenas, que conforman el generador fotovoltaico de cada uno de los inversores de conexión a red. A la entrada de las cajas de conexiones llegarán los cables solares (Positivo y Negativo), proveniente de cada una de las cadenas. Se utilizarán 6 cajas de conexiones, una por cada inversor.

La figura 3.9 muestra una estructura de la caja, así como de las partes que la componen, y en la figura 4.0 aparece una representación esquemática con las conexiones eléctricas a sus entradas de las cadenas de módulos fotovoltaicos y protecciones de sobretensiones, y de sus salidas hacia el inversor.

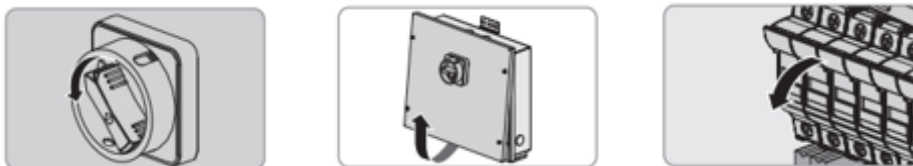


Fig.3.9 Caja de conexiones y partes componentes.

La caja debe de ser completamente estanca, para asegurar el aislamiento a la humedad, el agua y el polvo. En la figura 4.0 se muestra una representación esquemática de la caja de conexiones

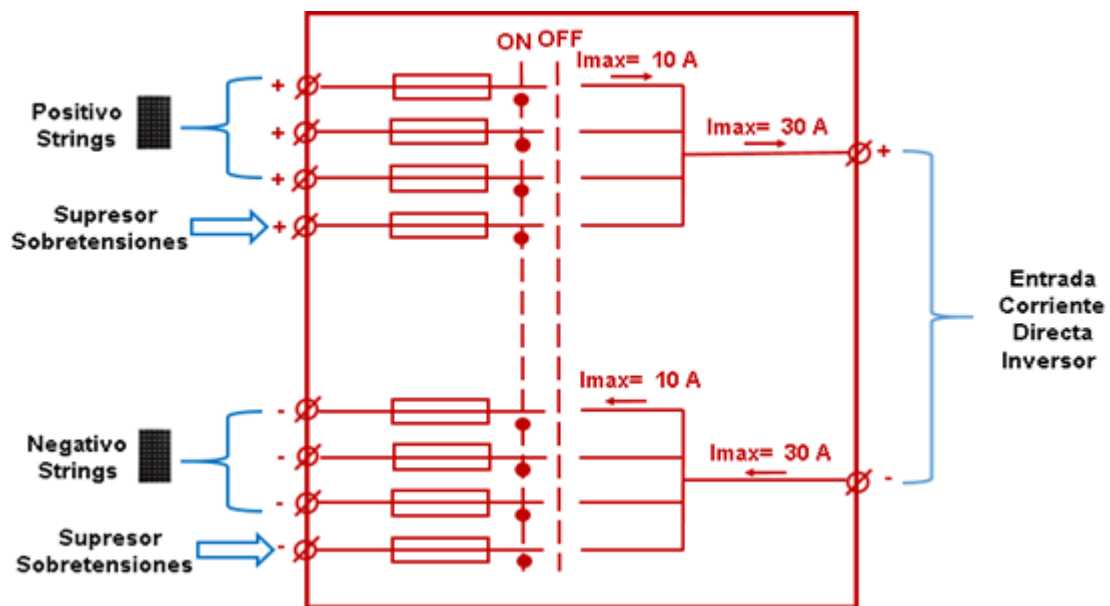


Fig.4.0 Representación esquemática de la caja de conexiones.

2.9 Cuadros eléctricos

Los cuadros eléctricos serán conformados en gabinetes eléctricos con el grado de protección IP requerido (IP 54) y se colocarán cerca de los inversores, debajo de las filas de módulos fotovoltaicos.

La figura 4.1 muestra una representación de los cuadros eléctricos.

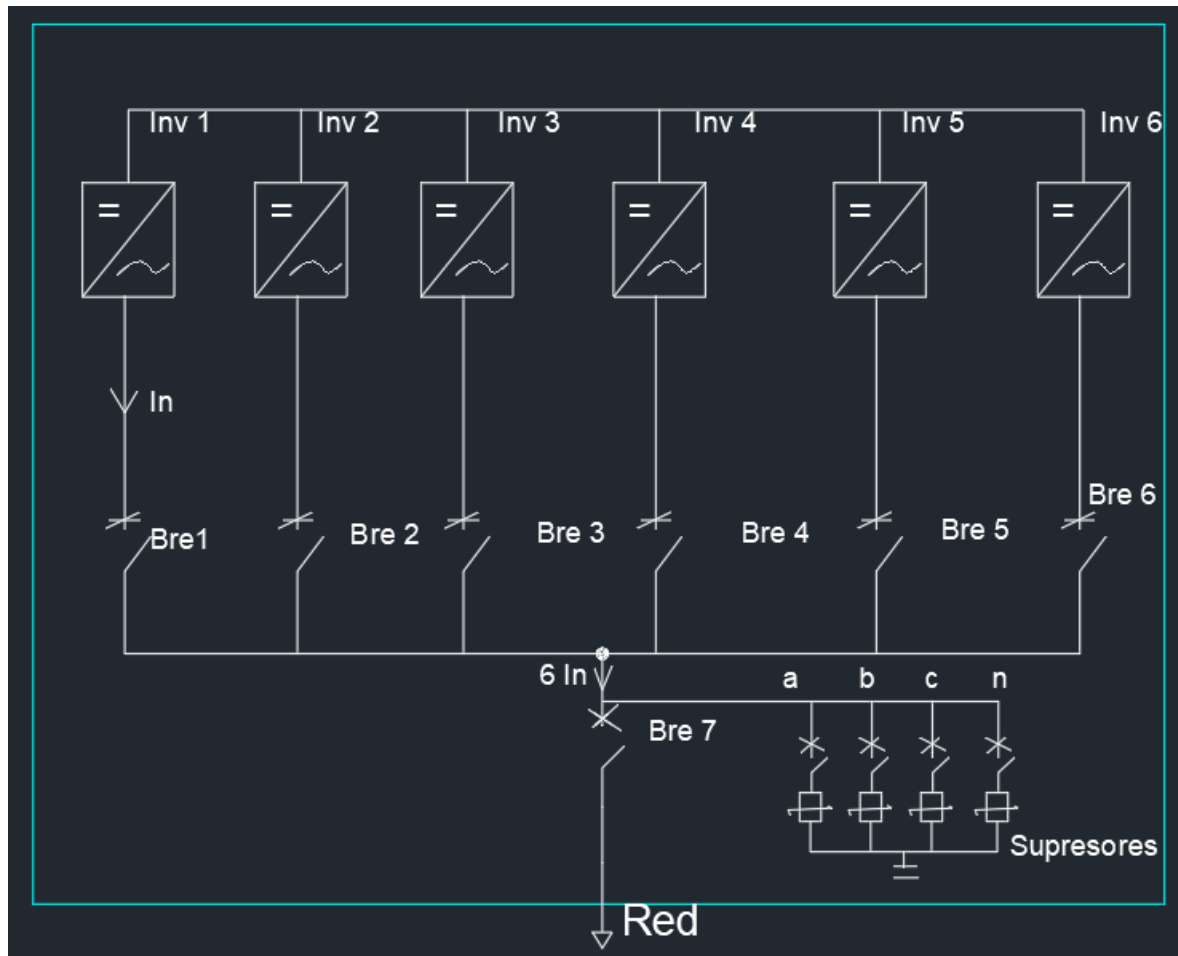


Figura 4.1 Cuadros eléctricos

2.10 Protección contra procesos transitorios

Las protecciones contra procesos transitorios asociados a perturbaciones o efectos secundarios causados por la corriente de rayo, se ubicarán en pizarras eléctricas, tanto por el lado de corriente continua como por el lado de corriente alterna a la salida de cada uno de los inversores, además de colocar supresores en las líneas eléctricas, así como en el neutro, siendo capaces de soportar el impacto de procesos transitorios de valores energéticos elevados. Por lo que se colocarán un supresor en cada fase y en el neutro para corriente alterna, y dos a la entrada de cada caja de conexiones (positivo y negativo) para corriente directa. Cada supresor será de clase 1.

2.11 Sistema de protección contra descargas eléctricas atmosféricas

El sistema está compuesto por un sistema de puesta a tierra de la red de baja tensión. A este sistema de tierra se conectará todo el equipamiento de la instalación fotovoltaica,

mediante un conductor de puesta a tierra que se conectará en cada uno de los casos a la barra de tierra física del sistema de puesta a tierra.

Conclusiones del Capítulo

1. El tipo de fuente de energía renovable a utilizar, debe ser la solar fotovoltaica, debido a que la empresa se encuentra alejada del mar y el viento no es lo suficientemente fuerte, no existen fuentes de energía hidráulica cercanas ni otras fuentes renovables.
2. Se seleccionaron los elementos necesarios del sistema fotovoltaico a proponer.
3. Se calcularon las protecciones de la instalación contra los procesos transitorios.

CAPÍTULO 3: Análisis y Resultados

3.1 Simulación del sistema fotovoltaico

La simulación se realizó utilizando una herramienta elaborada, por COPEXTEL, en el software Matlab-Simulink, que permite evaluar el comportamiento del sistema en régimen dinámico, tomando en consideración las condiciones ambientales del lugar, el trayecto solar y los modelos matemáticos del generador fotovoltaico e inversores de conexión a red con sistema de seguimiento del punto de máxima potencia. El simulador permite predecir el comportamiento futuro de la planta fotovoltaica antes de desarrollar la instalación o tomar la decisión de desarrollar la inversión. Por tal motivo, esta herramienta es esencial en la toma de decisiones y aporta un grupo de resultados de gran importancia al cliente. Los resultados que aporta permiten desarrollar análisis económicos y del impacto medio ambiental que posee el proyecto propuesto. Para el desarrollo de los cálculos se considera el costo de la energía eléctrica a razón de 0.24 CUC/kWh (Tanto para la compra como para la venta) y los siguientes índices de consumo de las plantas térmicas: CO₂ dejado de emitir a la atmósfera 0.7 kg/kWh y petróleo dejado de consumir 0.25 kg/kWh.

El simulador calcula la distribución mensual de energía producida por la instalación fotovoltaica, el ahorro de petróleo anual (T/año), y el CO₂ dejado de emitir a la atmósfera (T/año).

3.1.1 Resultados de la simulación

En la figura 4.2 se muestran los resultados de la radiación del sistema con 18° de inclinación y -40° de Acimut

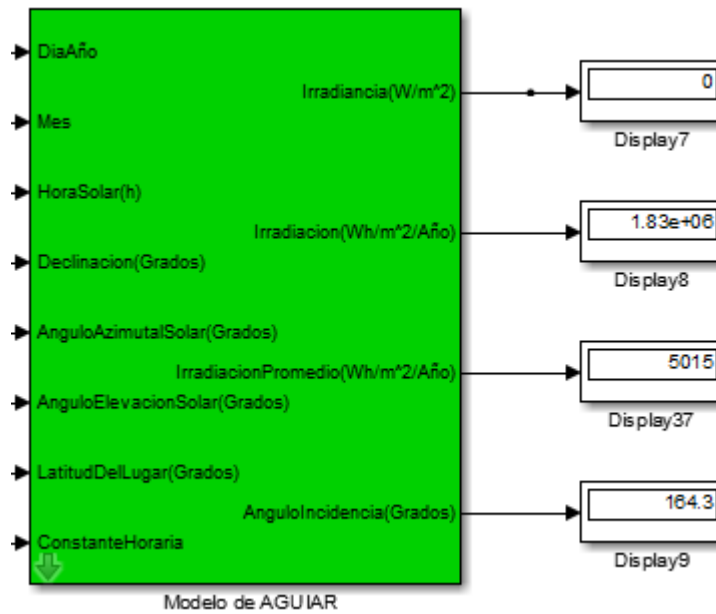


Figura 4.2 Resultados de la radiación del sistema

Como podemos observar se obtiene un valor de irradiación promedio de 5015 Wh/m²/Año y un valor de irradiación de $1.83 \cdot 10^6$ Wh/m²/Año, con un ángulo de incidencia de 164.3 grados.

En la figura 4.3 se observan los valores máximos de las variables de entrada al inversor por orden: Potencia máxima de entrada al inversor (W), Voltaje máxima de entrada (V) y Corriente máxima de entrada (A)

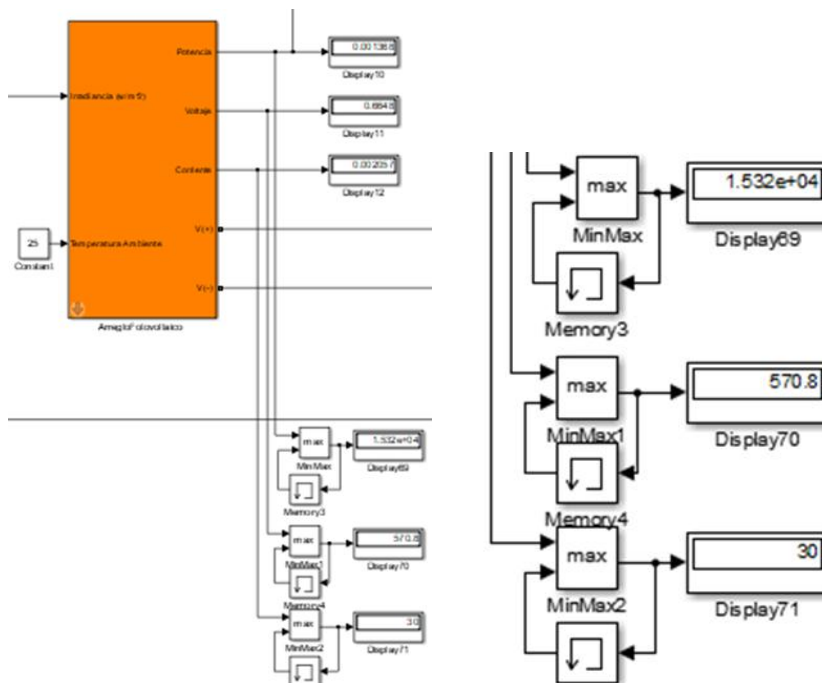


Figura 4.3 Valores máximos de las variables de entrada al inversor

Como se puede observar se obtuvo una potencia máxima de 15320 W, un voltaje máximo de 570.8 V, y una corriente máxima de 30 A, no superando así los valores nominales del inversor.

En la figura 4.4 se muestra la potencia instantánea de entrada al inversor en un año, observando que la máxima potencia instantánea de entrada al inversor es de 15320 W, no sobrepasando su potencia instantánea de entrada nominal de 17000 W.

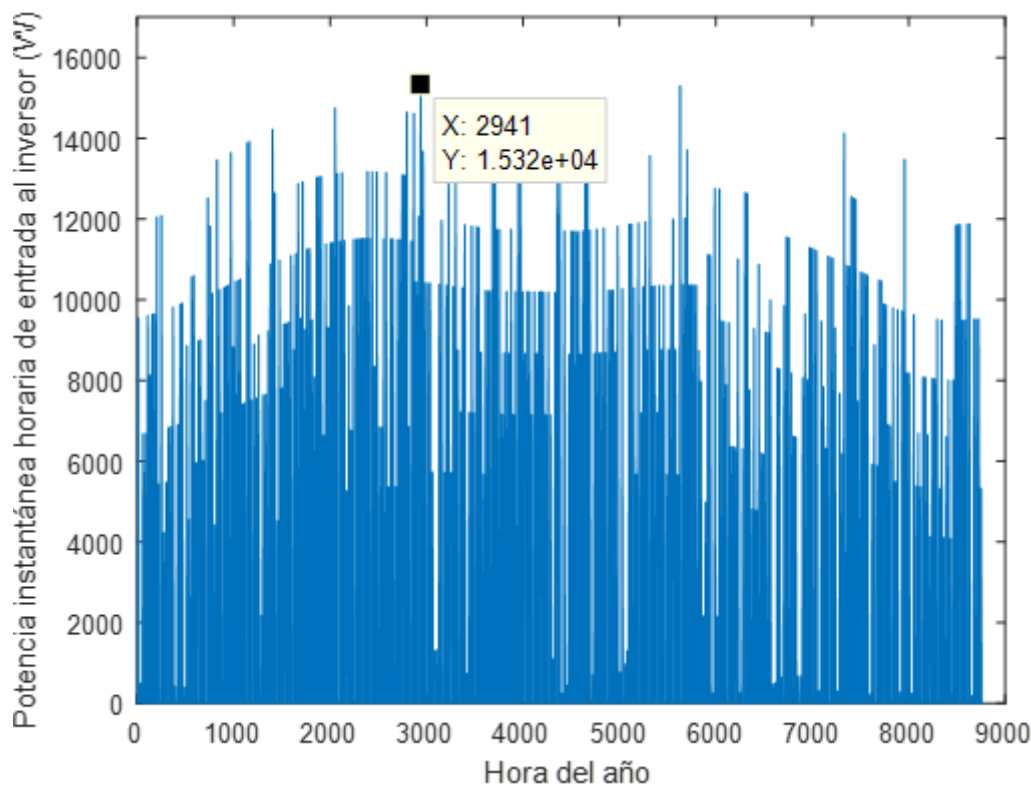


Figura 4.4 Potencia instantánea de entrada al inversor en un año

En la figura 4.5 se muestra un bloque del Simulink simulando un metro contador de energía, donde se observa la energía registrada.

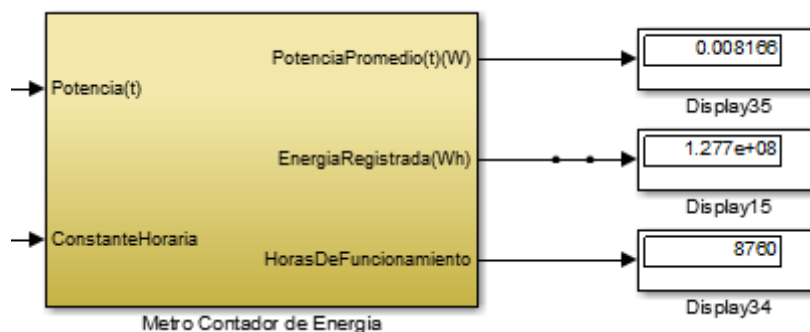


Figura 4.5 Metro contador

Como se observa se registró una energía de 127700000 Wh en un año, con una potencia promedio (t) de 0.008166 W.

En la figura 4.6 se muestran los indicadores de la planta fotovoltaica.

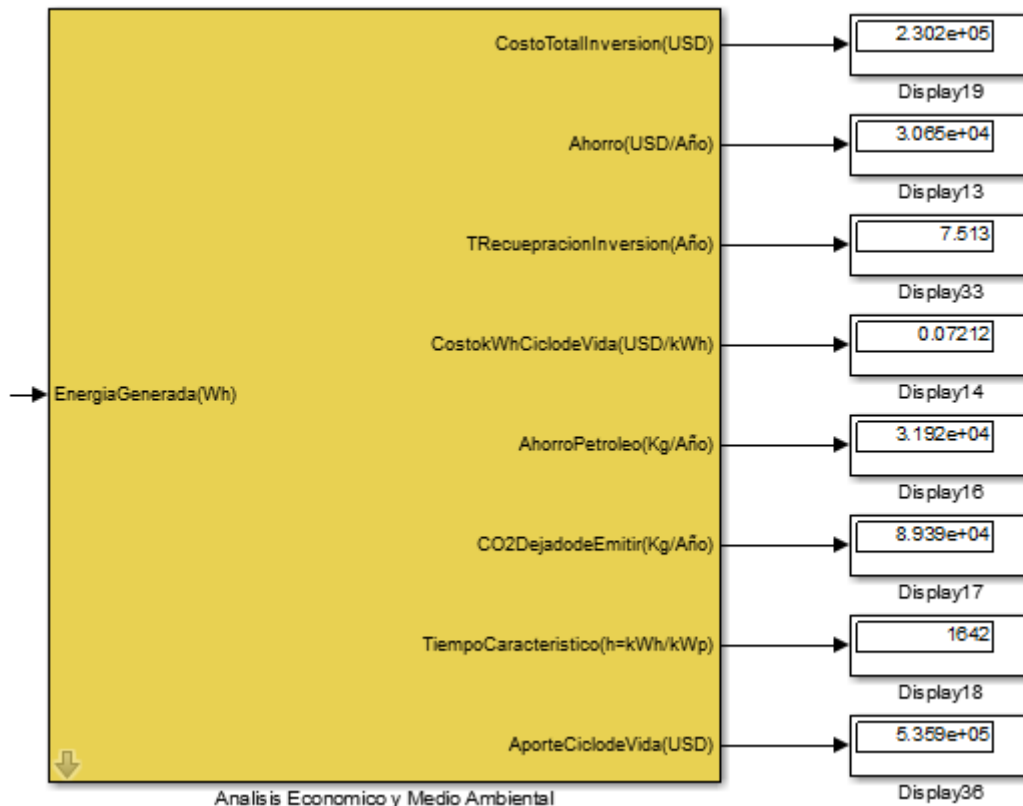


Figura 4.6 Indicadores de la planta fotovoltaica

Se observa que la planta permite un ahorro de petróleo de 31920 Kg/año y 89390 de Kg/año de CO₂ dejado de emitir a la atmósfera, contribuyendo así al cuidado del medio ambiente y al no consumo de combustible fósil (petróleo), aprovechando el uso de energía renovable.

En la figura 4.7 se observa la distribución mensual de energía generada por la planta fotovoltaica.

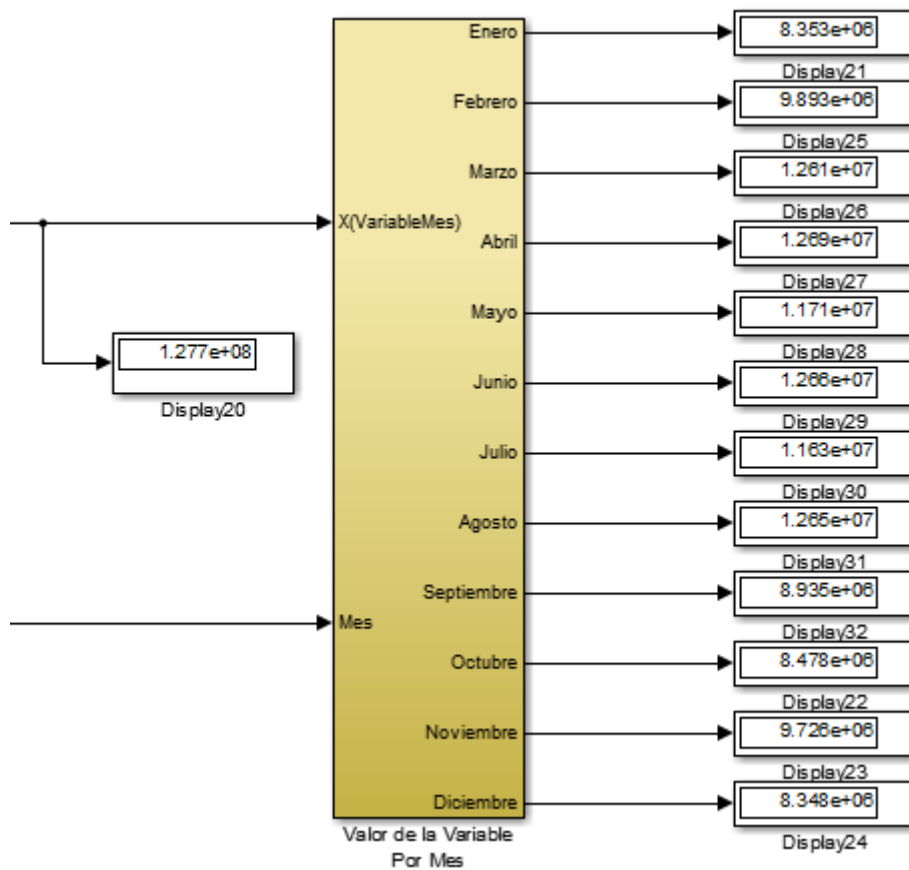


Figura 4.7 Distribución mensual de la energía generada

Se puede analizar que el mes de mayor energía registrada es abril, con 1.269×10^7 Wh, mientras que el mes más bajo de energía registrada es diciembre, con 8.348×10^6 Wh.

En la figura 4.8 se muestra la distribución anual de la energía promedio diaria.

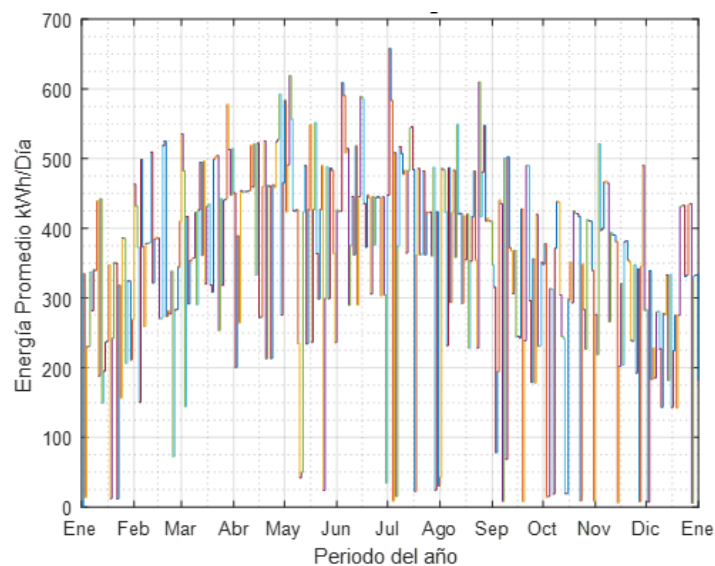


Figura 4.8 Distribución anual de la energía promedio diaria

En la figura 4.9 se muestra la distribución anual de la energía promedio en el mes

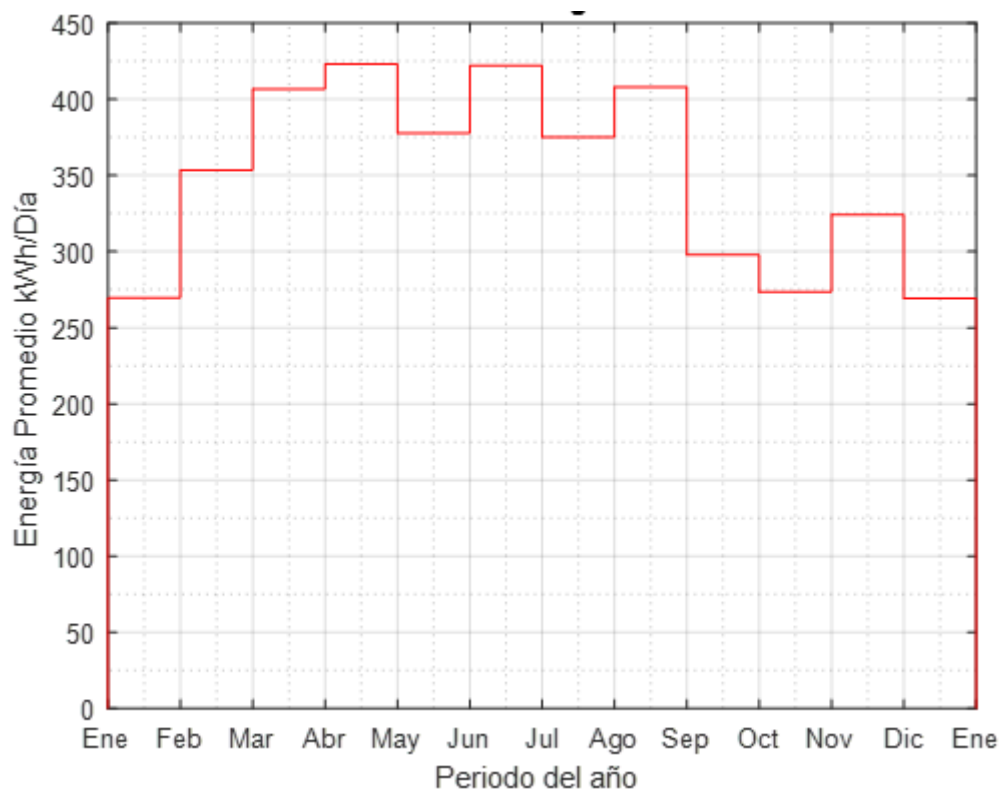


Figura 4.9 Distribución anual de la energía promedio en el mes

En las figuras 5.0, 5.1 y 5.2, se muestra la distribución mensual de la energía en el ciclo de vida en MWh, el CO₂ mensual dejado de emitir a la atmosfera en el ciclo de vida en toneladas y el petróleo mensual dejado de quemar en el ciclo de vida en toneladas, para un ciclo de vida de 25 años.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	8,35	9,88	12,59	12,66	11,67	12,61	11,58	12,59	8,88	8,42	9,66	8,28	127,19
2	8,28	9,80	12,49	12,56	11,58	12,51	11,49	12,49	8,81	8,36	9,58	8,22	126,17
3	8,22	9,72	12,39	12,46	11,49	12,41	11,39	12,38	8,74	8,29	9,50	8,15	125,15
4	8,15	9,65	12,29	12,36	11,39	12,31	11,30	12,28	8,67	8,22	9,42	8,08	124,12
5	8,08	9,57	12,19	12,25	11,30	12,21	11,21	12,18	8,60	8,15	9,35	8,02	123,10
6	8,02	9,49	12,08	12,15	11,21	12,11	11,11	12,08	8,53	8,09	9,27	7,95	122,08
7	7,95	9,41	11,98	12,05	11,11	12,01	11,02	11,98	8,46	8,02	9,19	7,88	121,06
8	7,88	9,33	11,88	11,95	11,02	11,90	10,93	11,88	8,38	7,95	9,11	7,82	120,04
9	7,82	9,25	11,78	11,85	10,93	11,80	10,84	11,78	8,31	7,88	9,04	7,75	119,02
10	7,75	9,17	11,68	11,75	10,83	11,70	10,74	11,68	8,24	7,81	8,96	7,68	117,99
11	7,68	9,09	11,58	11,65	10,74	11,60	10,65	11,57	8,17	7,75	8,88	7,62	116,97
12	7,62	9,01	11,48	11,54	10,64	11,50	10,56	11,47	8,10	7,68	8,80	7,55	115,95
13	7,55	8,93	11,38	11,44	10,55	11,40	10,46	11,37	8,03	7,61	8,72	7,48	114,93
14	7,48	8,85	11,28	11,34	10,46	11,30	10,37	11,27	7,96	7,54	8,65	7,42	113,91
15	7,41	8,78	11,18	11,24	10,36	11,20	10,28	11,17	7,88	7,47	8,57	7,35	112,89
16	7,35	8,70	11,08	11,14	10,27	11,09	10,18	11,07	7,81	7,41	8,49	7,28	111,87
17	7,28	8,62	10,97	11,04	10,18	10,99	10,09	10,97	7,74	7,34	8,41	7,22	110,84
18	7,21	8,54	10,87	10,93	10,08	10,89	10,00	10,87	7,67	7,27	8,34	7,15	109,82
19	7,15	8,46	10,77	10,83	9,99	10,79	9,90	10,77	7,60	7,20	8,26	7,08	108,80
20	7,08	8,38	10,67	10,73	9,89	10,69	9,81	10,66	7,53	7,14	8,18	7,02	107,78
21	7,01	8,30	10,57	10,63	9,80	10,59	9,72	10,56	7,45	7,07	8,10	6,95	106,76
22	6,95	8,22	10,47	10,53	9,71	10,49	9,63	10,46	7,38	7,00	8,02	6,88	105,74
23	6,88	8,14	10,37	10,43	9,61	10,39	9,53	10,36	7,31	6,93	7,95	6,81	104,72
24	6,81	8,06	10,27	10,33	9,52	10,28	9,44	10,26	7,24	6,86	7,87	6,75	103,69
25	6,75	7,98	10,17	10,22	9,43	10,18	9,35	10,16	7,17	6,80	7,79	6,68	102,67
Total(MWh)													2.873,26

Figura 5.0. Distribución mensual de la energía en el ciclo de vida en MWh.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	5,85	6,92	8,81	8,86	8,17	8,83	8,11	8,81	6,22	5,90	6,76	5,80	89,03
2	5,80	6,86	8,74	8,79	8,11	8,76	8,04	8,74	6,17	5,85	6,71	5,75	88,32
3	5,75	6,81	8,67	8,72	8,04	8,69	7,98	8,67	6,12	5,80	6,65	5,71	87,60
4	5,70	6,75	8,60	8,65	7,98	8,62	7,91	8,60	6,07	5,75	6,60	5,66	86,89
5	5,66	6,70	8,53	8,58	7,91	8,55	7,85	8,53	6,02	5,71	6,54	5,61	86,17
6	5,61	6,64	8,46	8,51	7,84	8,48	7,78	8,46	5,97	5,66	6,49	5,57	85,46
7	5,56	6,59	8,39	8,44	7,78	8,40	7,71	8,39	5,92	5,61	6,43	5,52	84,74
8	5,52	6,53	8,32	8,36	7,71	8,33	7,65	8,31	5,87	5,56	6,38	5,47	84,03
9	5,47	6,47	8,25	8,29	7,65	8,26	7,58	8,24	5,82	5,52	6,32	5,42	83,31
10	5,42	6,42	8,18	8,22	7,58	8,19	7,52	8,17	5,77	5,47	6,27	5,38	82,60
11	5,38	6,36	8,11	8,15	7,52	8,12	7,45	8,10	5,72	5,42	6,22	5,33	81,88
12	5,33	6,31	8,04	8,08	7,45	8,05	7,39	8,03	5,67	5,37	6,16	5,28	81,17
13	5,28	6,25	7,96	8,01	7,39	7,98	7,32	7,96	5,62	5,33	6,11	5,24	80,45
14	5,24	6,20	7,89	7,94	7,32	7,91	7,26	7,89	5,57	5,28	6,05	5,19	79,74
15	5,19	6,14	7,82	7,87	7,25	7,84	7,19	7,82	5,52	5,23	6,00	5,14	79,02
16	5,14	6,09	7,75	7,80	7,19	7,77	7,13	7,75	5,47	5,18	5,94	5,10	78,31
17	5,10	6,03	7,68	7,73	7,12	7,70	7,06	7,68	5,42	5,14	5,89	5,05	77,59
18	5,05	5,98	7,61	7,65	7,06	7,62	7,00	7,61	5,37	5,09	5,83	5,00	76,88
19	5,00	5,92	7,54	7,58	6,99	7,55	6,93	7,54	5,32	5,04	5,78	4,96	76,16
20	4,96	5,87	7,47	7,51	6,93	7,48	6,87	7,46	5,27	4,99	5,73	4,91	75,45
21	4,91	5,81	7,40	7,44	6,86	7,41	6,80	7,39	5,22	4,95	5,67	4,86	74,73
22	4,86	5,75	7,33	7,37	6,80	7,34	6,74	7,32	5,17	4,90	5,62	4,82	74,02
23	4,82	5,70	7,26	7,30	6,73	7,27	6,67	7,25	5,12	4,85	5,56	4,77	73,30
24	4,77	5,64	7,19	7,23	6,66	7,20	6,61	7,18	5,07	4,81	5,51	4,72	72,59
25	4,72	5,59	7,12	7,16	6,60	7,13	6,54	7,11	5,02	4,76	5,45	4,68	71,87
Total													2.011,28

Figura 5.1. CO₂ mensual dejado de emitir a la atmosfera en el ciclo de vida en toneladas

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	2,09	2,47	3,15	3,17	2,92	3,15	2,89	3,15	2,22	2,11	2,41	2,07	31,80
2	2,07	2,45	3,12	3,14	2,90	3,13	2,87	3,12	2,20	2,09	2,40	2,05	31,54
3	2,05	2,43	3,10	3,11	2,87	3,10	2,85	3,10	2,19	2,07	2,38	2,04	31,29
4	2,04	2,41	3,07	3,09	2,85	3,08	2,83	3,07	2,17	2,06	2,36	2,02	31,03
5	2,02	2,39	3,05	3,06	2,83	3,05	2,80	3,05	2,15	2,04	2,34	2,00	30,78
6	2,00	2,37	3,02	3,04	2,80	3,03	2,78	3,02	2,13	2,02	2,32	1,99	30,52
7	1,99	2,35	3,00	3,01	2,78	3,00	2,76	2,99	2,11	2,00	2,30	1,97	30,26
8	1,97	2,33	2,97	2,99	2,75	2,98	2,73	2,97	2,10	1,99	2,28	1,95	30,01
9	1,95	2,31	2,95	2,96	2,73	2,95	2,71	2,94	2,08	1,97	2,26	1,94	29,75
10	1,94	2,29	2,92	2,94	2,71	2,93	2,69	2,92	2,06	1,95	2,24	1,92	29,50
11	1,92	2,27	2,90	2,91	2,68	2,90	2,66	2,89	2,04	1,94	2,22	1,90	29,24
12	1,90	2,25	2,87	2,89	2,66	2,87	2,64	2,87	2,02	1,92	2,20	1,89	28,99
13	1,89	2,23	2,84	2,86	2,64	2,85	2,62	2,84	2,01	1,90	2,18	1,87	28,73
14	1,87	2,21	2,82	2,84	2,61	2,82	2,59	2,82	1,99	1,89	2,16	1,85	28,48
15	1,85	2,19	2,79	2,81	2,59	2,80	2,57	2,79	1,97	1,87	2,14	1,84	28,22
16	1,84	2,17	2,77	2,78	2,57	2,77	2,55	2,77	1,95	1,85	2,12	1,82	27,97
17	1,82	2,15	2,74	2,76	2,54	2,75	2,52	2,74	1,94	1,83	2,10	1,80	27,71
18	1,80	2,13	2,72	2,73	2,52	2,72	2,50	2,72	1,92	1,82	2,08	1,79	27,46
19	1,79	2,11	2,69	2,71	2,50	2,70	2,48	2,69	1,90	1,80	2,06	1,77	27,20
20	1,77	2,09	2,67	2,68	2,47	2,67	2,45	2,67	1,88	1,78	2,04	1,75	26,95
21	1,75	2,08	2,64	2,66	2,45	2,65	2,43	2,64	1,86	1,77	2,03	1,74	26,69
22	1,74	2,06	2,62	2,63	2,43	2,62	2,41	2,62	1,85	1,75	2,01	1,72	26,43
23	1,72	2,04	2,59	2,61	2,40	2,60	2,38	2,59	1,83	1,73	1,99	1,70	26,18
24	1,70	2,02	2,57	2,58	2,38	2,57	2,36	2,56	1,81	1,72	1,97	1,69	25,92
25	1,69	2,00	2,54	2,56	2,36	2,55	2,34	2,54	1,79	1,70	1,95	1,67	25,67
Total													718,32

Figura 5.2 Petróleo mensual dejado de quemar en el ciclo de vida en toneladas

Como se puede observar en las figuras 5.0, 5.1 y 5.2, a medida que pasa el transcurso de los años la instalación fotovoltaica va disminuyendo la energía generada, así como el ahorro de petróleo y el CO₂ dejado de emitir a la atmósfera, ya que la planta fotovoltaica al estar a la intemperie, a medida que pasa el tiempo se va degradando debido a la radiación solar, disminuyendo así su eficiencia.

3.2 Estimación del costo del proyecto

Los sistemas fotovoltaicos tienen la ventaja de ir creciendo instalándose nuevos equipos con el tiempo, con el objetivo de aumentar la producción de energía en dicha instalación. A partir de esta instalación en la Fábrica de Antenas, se ofrece el presupuesto estimado para la realización de dicho proyecto, así como la evaluación de este en cuanto al estudio del tiempo de recuperación de la inversión, empleando los métodos de evaluación de proyectos.

En las siguientes tablas y figuras se muestra un resumen de los elementos y el equipamiento utilizado en la cubierta, así como el presupuesto empleado en la instalación fotovoltaica.

Tabla 5.3 Equipamiento fotovoltaico

Código/Ref.	Descripción	U/M	Cantidad
	Inversor SMA STP 17000TL-10 (400V, 3f, 60 Hz) con interface de comunicacion Speedwire	Uno	6
	Caja de conexiones SMA CU 1000-US-10 (Conection Unit)	Uno	6
	Modulo Fotovoltaiico DSM-270	Uno	288
TK-CS6MM2	Cable solar 10 AWG (6mm2)	m	2000
MC4SETRE	Set conector solar MC4	Uno	600
RS 808-7932	Supresor DEHN DG YPV SCI 1000 (Codigo 950 530)	Uno	10

Código/Ref.	Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario			Total		
				USD	CUC	CUP	USD	CUC	CUP
PLM-270P60	Modulo solar fotovoltaico marca <u>Perlight</u> 270 Wp modelo PLM-270P60	Uno	288	123.10		18.46	35452.57		5317.89
STP 17000TL-10	Inversor SMA STP 17000TL-10 (400V, 3f, 60 Hz) con interface de comunicacion <u>Speedwire</u>	Uno	6	5378.11		806.72	32268.65		4840.30
CU 1000-US-10	Caja de conexiones SMA CU 1000-US-10 (<u>Conection Unit</u>)	Uno	6	840.07		126.01	5040.43		756.06
RS 808-7932	Supresor DEHN DG YPV SCI 1000 (<u>Codigo 950 530</u>)	Uno	10	124.94		18.74	1249.44		187.42
TK-CS6MM2	Cable solar 10 AWG (6mm2)	m	2000	1.80		0.27	3596.00		539.40
MC4SETRE	Set conector solar MC4	Uno	600	4.49		0.67	2693.52		404.03
	Total						80300.61		12045.09

Figura 5.4 Presupuesto del equipamiento fotovoltaico

Código	Referencia	Descripción	U/M	Total	
304100	MQ-41-F6m	Carril	Uno	210	
388310	MQV-41-F	Conector de carril	Uno	100	
304130	MQN-F	Tornillo tuerca	Uno	500	
382946	MSP-MQ-MC 38-42	Pinza intermedia	Uno	500	
382953	MSP-MQ-EC 40	Pinza final	Uno	500	
3425700		Pinza Colector	Uno	0	
		Lastres de (0.3x0.3*0.2)	Uno	0	
		Expansion mecanica M8x60	Uno	0	

Figura 5.5 Accesorios de fijación de módulos fotovoltaicos en la cubierta.

Tabla 5.6 paneles eléctricos

Código/Ref.	Descripción	U/M	A Industria	TOTAL
A9F84132	Int. magnetotermico 1p, 32A, curva C,icc 15 kA, (iC 60H 1p 32A C)	Uno	4	4
A9N18364	Int. magnetotermico 3p, 63A, curva C,icc 15 kA, (C 120N 3p 63 A)	Uno	6	6
4053	Repartidor escalonado 4polos, 250 A	Uno	1	1
	Barra de tierra aislada para tableros electricos	Uno	1	1
LV429630	Breaker Compact NSX 100F, 400 A, icc 36kA, 415VAC, reg 0.7...1 In	Uno	1	1
	Terminal tubular 10mm2, ojo 8	Uno	30	30
	Armario metalico 800x600x350, IP54	Uno	1	1
	Tape de PVC	rollo	5	5
246696	Bridas plasticas de poliamida 360x4.8 color negro (pqte 100U)	Uno	10	10

Código/Ref.	Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario			Total		
				USD	CUC	CUP	USD	CUC	CUP
A9F84132	Int. magnetotermico 1p, 32A, curva C,icc 15 kA, (iC 60H 1p 32A C)	Uno	4.00	11.82		1.77	47.28	0.00	7.09
A9N18364	Int. magnetotermico 3p, 63A, curva C,icc 15 kA, (C 120N 3p 63 A)	Uno	6.00	115.20		17.28	691.20	0.00	103.68
4053	Repartidor escalonado 4polos, 250 A	Uno	1.00	89.18		13.38	89.18	0.00	13.38
	Barra de tierra aislada para tableros electricos	Uno	1.00	35.00		5.25	35.00	0.00	5.25
LV429630	Breaker Compact NSX 100F, 400 A, icc 36kA, 415VAC, reg 0.7...1 In	Uno	1.00	148.72		22.31	148.72	0.00	22.31
	Terminal tubular 10mm2, ojo 8	Uno	30.00	6.41		0.96	192.44	0.00	28.87
	Armario metalico 800x600x350, IP54	Uno	1.00	324.86		48.73	324.86	0.00	48.73
	Tape de PVC	rollo	5.00	0.74		0.11	3.71	0.00	0.56
246696	Bridas plasticas de poliamida 360x4.8 color negro (pqte 100U)	Uno	10.00	29.12		4.37	291.16	0.00	43.67
	TOTAL						1823.56		273.53

Figura 5.7 Total del presupuesto de paneles eléctricos

Tabla 5.8 Conductores eléctricos en la cubierta

Descripción	U/M	4xN	1xN	Conductor	Total
Conductor eléctrico monoconductor RV-K 1x50mm ²	m	50	0	0	50
Terminal Tubular 50mm ² , ojo 8	Uno	20	0		20

PGD Subestación Eléctrica							
Código	Referencia	Descripción	U/M	4xN	1xN	Conductor	Total
		Conductor eléctrico multiconductor RV-K 4x240mm ²	m	10	0	0	10
		Conductor eléctrico multiconductor RV-K 1x240mm ²	m	10	0	0	10
		Terminal Tubular 240mm ² , ojo 8	Uno	10	0		10
		Tape electrico de Goma	rollo	3			3
		Tape electrico PVC	rollo	3			3

Figura 5.9 Conductores eléctricos en la PGD

Tabla 6.0 Resumen de conductores eléctricos

Descripción	U/M	A Industria	PGD	TOTAL
Conductor eléctrico monoconductor RV-K 1x50mm ²	m	50		50
Terminal Tubular 50mm ² , ojo 8	Uno	20		20
Conductor eléctrico multiconductor RV-K 4x240mm ²	m	0	10	10
Conductor eléctrico multiconductor RV-K 1x240mm ²	m		10	10
Terminal Tubular 240mm ² , ojo 8	Uno		10	10
Tornillo acero Inox M8x25	Uno			100
Tuerca acero inox M8	Uno			100
Arandela plana acero inox M8	Uno			100
Arandela de presión acero inox M8	Uno			100
				100

Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario			Total		
			USD	CUC	CUP	USD	CUC	CUP
Conductor eléctrico monoconductor RV-K 1x50mm2	m	50	19.68		2.95	984.00	0	147.60
Terminal Tubular 50mm2, ojo 8	Uno	20	0.90		0.14	18.00	0	2.70
Conductor eléctrico multiconductor RV-K 4x240mm2	m	10	40.00		6.00	400.00	0	60.00
Conductor eléctrico multiconductor RV-K 1x240mm2	m	10	9.60		1.44	96.00	0	14.40
Terminal Tubular 240mm2, ojo 8	Uno	10	8.00		1.20	80.00	0	12.00
Tornillo acero Inox M8x25	Uno	100	0.22		0.03	22.00	0	3.30
Tuerca acero inox M8	Uno	100	0.03		0.00	3.00	0	0.45
Arandela plana acero inox M8	Uno	100	0.02		0.00	2.00	0	0.30
Arandela de presión acero inox M8	Uno	100	0.02		0.00	2.00	0	0.30
Total						1607.00	0.00	241.05

Figura 6.1 Presupuesto de conductores eléctricos

Código	Referencia	Descripción	U/M	Cantidad	Precio Unitario			Total		
					USD	CUC	CUP	USD	CUC	CUP
		Expansion mecanica M8x60	Uno	200	2.40		0.36	480.24	0.00	72.04
3426767	3426767	Kit solar Litio CPC	Uno	3			0.00	0.00	0.00	0.00
339793	339793	Varilla roscada ZN M8 (1 m de longitud)	Uno	100	8.71		1.31	871.16	0.00	130.67
52301	52301	Tuerca zincada M8 (DIN 934)	Uno	200	0.12		0.02	23.71	0.00	3.56
3106084	3106084	Arandela zincada (DIN 125)	Uno	200	0.07		0.01	14.18	0.00	2.13
251628	ECT-UV 200/3,6	Brida de poliamida color negro 200x3.6	Uno	1000	0.45		0.07	452.40	0.00	67.86
246696	ECT-UV 360/4,8	Brida de poliamida color negro 360x4.8	Uno	500	0.68		0.10	342.20	0.00	51.33
			Total miscelaneas					2183.89	0.00	327.58

Figura 6.2 Misceláneas

Tabla 6.3 Subcontrataciones

Código	Descripción	Cubierta A (Industria)	
		Total	
		CUP	CUC
	Materiales y equipamiento	500	1000
	Proyecto, Instalación, Puesta en marcha y certificaciones APCI	1000	500
	TOTAL	1500	1500

Código	Descripción	Tiempo (h)	Cantidad Técnicos	Costo Unitario		Cantidad	Total		TOTAL	
				CUP	CUC		CUP	CUC	CUP	CUC
0900	Visita técnica corta distancia (hasta 30 km)	1		5.46	6.82	120.528	657.77	821.63	657.77	821.63
3021	Instalación y Montaje Sistema Fotovoltaico Conectado a RED de 1 KWp (estructuras, paneles, inversores y pizarras)	15.50	2	261.32	55.47	77.76	20320.38	4313.11	20320.38	4313.11
3011	Revisión y Diagnóstico Sistema Fotovoltaico Conectado a RED de 1 KWp	2.50	2	42.48	12.23	77.76	3303.53	951.21	3303.53	951.21
0100	Colocación de conductos o conductores adosados a superficies (Canales, tuberías, bandejas, cables, etc.) hasta 10 m	1.6	2	26.79	7.15	52.8	1414.69	377.26	1414.69	377.26
2071	Montaje e Instalación de UN Supresor Sobretensiones Transitorias de 1 Polo de AC y DC (Tipo 1, 2 y 3)	0.63	2	11.08	6.70	10	110.77	66.98	110.77	66.98
2047	Unión de CABLE Desnudo 50 o 70 mm ² con UNA Conexión Mecánica	0.32	2	5.62	3.26	288	1617.16	939.82	1617.16	939.82
2342	Cableado e instalación de pequeña complejidad	18.5	2	315.00	96.63	1	315.00	96.63	315.00	96.63
2036	Carga y Acarreo de Materiales Manual (vagón) Hasta una Distancia de 50 M	1.30	3	33.22	10.32	28.8	956.72	297.11	956.72	297.11
2893	Diseño y confección de un panel eléctrico complejo.	10.50	3	268.98	90.12	1	268.98	90.12	268.98	90.12
2896	Instalación de un panel eléctrico complejo.	9.50	3	243.58	83.75	1	243.58	83.75	243.58	83.75
2519	INSTALACIÓN/ DESMONTAJE DE PGD DESDE 630A HASTA 1250A	143.50	4	4,835.26	993.07		0.00	0.00	4835.26	993.07
	TOTAL						29208.57	8037.63	34043.83	9030.70

Figura 6.4 Mano de obra

Tabla 6.5 Presupuesto del sistema fotovoltaico conectado a red

No	Item	Total		
		USD	CUC	CUP
1	Equipamiento FV	80300.61		12045.09
2	Estructuras FV	47071.64		7060.75
3	Paneles Eléctricos	1823.56		273.53
4	Conductores Eléctricos, Terminales	1607.00	0.00	241.05
5	Canalizaciones	0.00		0.00
6	Miscelaneas	2183.89		327.58
7	Sistema de Puesta a Tierra		1500.00	1500.00
8	Instalación y Puesta en Marcha del sistema FV		9030.70	34043.83
9	Puesta a Punto y entrenamiento		5000.00	10000.00
10	Imprevistos	10000.00	4000.00	2000.00
11	Total	142986.69	19530.70	67491.83
	Moneda Total (MT)=	230009.22		

Como se puede observar en la tabla 6.5, el presupuesto de la instalación en moneda total es de 230009.22.

3.3 Factibilidad económica

El análisis de la factibilidad económica se realiza en función de los ingresos proyectados por la planta fotovoltaica, ya sea producto del autoconsumo o venta de la energía generada por esta.

En este epígrafe se realizan los cálculos del tiempo de retorno de las inversiones y la evaluación del proyecto a partir del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa de Interés de Retorno (TIR).

El VAN nos permite analizar los ingresos y egresos futuros que tendremos como resultado de la instalación fotovoltaica, para determinar si luego de descontar la inversión inicial, queda alguna ganancia.

Cuando el VAN es negativo no se ha satisfecho la tasa de interés. Cuando el VAN es igual a cero, es porque se ha cumplido la tasa de manera que el VAN es igual a la inversión, por lo que no se obtiene beneficios económicos y financieros de la inversión proyectada; y si el VAN es positivo, indica que el valor del VAN es mayor que la inversión, lo que garantiza que se cumpla con dicha tasa y se generen beneficios económicos y financieros adicionales.

Es decir, calcular el VAN nos permite verificar si el proyecto es viable o no, así como escoger entre varios proyectos cual es el más beneficioso a ejecutar.

Por su parte la TIR, es la tasa con la cual el VAN de la inversión se hace igual a cero. Este método considera que la inversión es aconsejable si la TIR es igual o mayor que la tasa de descuento exigida por el inversor. La alternativa conveniente entre varias opciones de inversión, es aquella que posea mayor TIR. Si la TIR es igual a la tasa de descuento, no se obtendrán beneficios económicos ni financieros, si la TIR es menor que la tasa de descuento o interés, la ejecución del proyecto debe de rechazarse. La TIR representa la tasa de descuento más alta que el inversionista puede pagar sin perder dinero. [15]

Para la evaluación del proyecto se realizarán los cálculos para el sistema fotovoltaico. Para el desarrollo de los cálculos se considera que:

- 1.- El valor de la inversión es igual al presupuesto en moneda total (MT) del sistema fotovoltaico, por operar las empresas a una tasa de cambio de uno por uno.
- 2.- Los ingresos del flujo de caja son materializados por la conversión de la energía generada por el sistema cada año en dinero, durante el ciclo de vida (CV), a un costo del kWh generado de 0.24 pesos/kWh.

3.- Los egresos anuales se consideran fijos (30 pesos/kWp) y son debidos a: costos de operación, reparación, mantenimiento y gastos por sustitución de algún equipamiento que esté fuera del término de garantía.

4.- La tasa de interés se considera de un 10%.

Los cálculos se realizan con ayuda de un procedimiento elaborado en el script del software Matlab.

En la tabla 6.6 se muestran los datos del sistema fotovoltaico en su conjunto (Potencia instalada, Valor de la inversión y Energía generada en el ciclo de vida (CV)), y los resultados del análisis económico y financiero que incluye: Tiempo de recuperación de la inversión (Años), el VAN en Moneda Total (MT), la TIR (%), el Valor Futuro (MT), y el aporte del Sistema en el CV (MT). Además, aparece el tiempo característico promedio anual (horas).

Tabla 6.6 Resultados económicos y financieros del sistema fotovoltaico.

Sistema fotovoltaico	Potencia kWp	Valor de la inversión MT	Energía generada CV MWh/ CV	Tiempo de recuperación de la inversión (años)	VAN MT	TIR %	Valor futuro MT	Aporte en el CV MT	Tiempo característico horas promedio anual
Sistema fotovoltaico	77.76	230009.44	2873.26	8.01	22000.92	11.28	238373.47	436240.89	1478.02

3.4 Análisis de los resultados

Como resultados económicos y financieros se aprecia que el TIR no es muy elevado con respecto al 10% y el tiempo de recuperación de la inversión es de 8.01 años. No obstante, la inversión resulta factible, al ser el TIR algo más de 1% superior que la tasa de interés de retorno establecida para los cálculos. El valor futuro de la inversión es de 238373.47 pesos, y se consigue en el ciclo de vida un ahorro de 718.22 toneladas de quema de petróleo, así como 2011.28 toneladas de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera, contribuyendo así al desarrollo sostenible y cuidado del medio ambiente.

Conclusiones

1. El estudio realizado sirve para profundizar los conocimientos acerca de la energía solar fotovoltaica, tanto para instalaciones conectadas a la red, como para instalaciones autónomas.
2. Se constata que la energía renovable más factible a utilizar es la solar fotovoltaica, al estar la fábrica de Antenas alejada del mar y en una zona donde el viento no es lo suficientemente fuerte, por lo que la implementación de paneles solares en una de sus cubiertas es lo recomendado.
3. Se realizaron los cálculos necesarios para llevar a cabo la instalación, dando como resultado 288 paneles solares, para una potencia de 77.76 kWp.
4. De la simulación se obtiene que en su primer año del ciclo de vida (25 años) genera 127 MWh, ahorrando al país 31.8 toneladas de petróleo y dejando de emitir 89 toneladas de CO₂ a la atmósfera.
5. Del análisis económico se obtiene que la instalación resulta factible. El costo de la instalación es de 230009.44 \$, y la inversión se recupera en 8.01 años, quedando otros 17 años para su aprovechamiento.
6. El sistema propuesto, tiene la ventaja de ser escalable en el futuro, para aumentar la producción de energía, así como el ahorro de combustible y CO₂ dejado de emitir a la atmósfera, protegiendo el medio ambiente y aumentando la energía generada por fuentes renovables de energía.

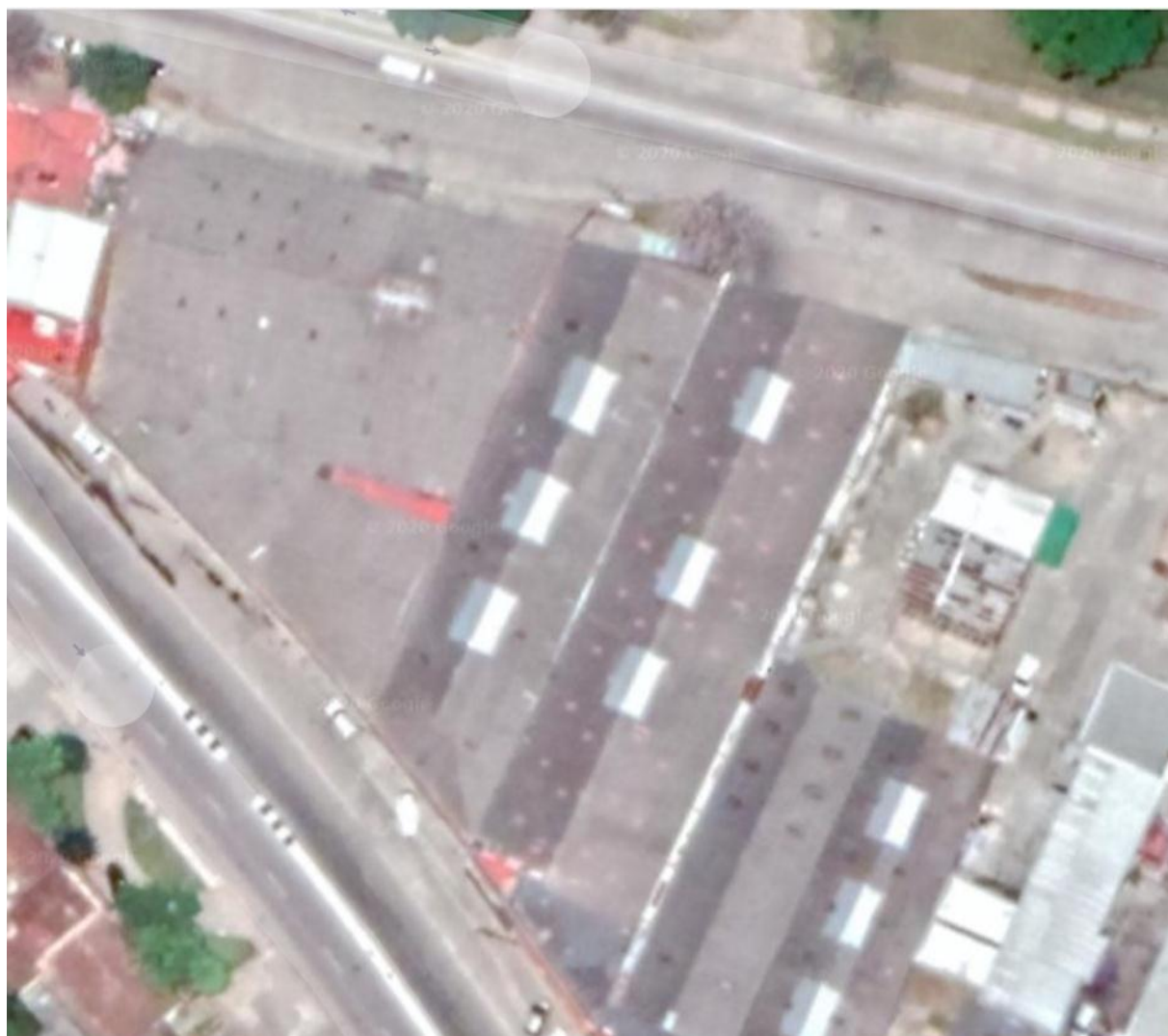
Recomendaciones

- 1- Continuar con un estudio de factibilidad económica para un análisis más profundo del proyecto.
- 2- Implementar un sistema de control y supervisión de la instalación fotovoltaica para su seguimiento continuo.

Bibliografía

- [1] Colectivo_de_autores, *Energías Renovables y Eficiencia Energética*: Instituto tecnológico de Canarias, 2008.
- [2] M._A._González, "Generación de potencia reactiva asociada a los paneles fotovoltaicos.," Departamento de Electroenergética, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2015.
- [3] D. d. E. R. R.-. IDAE, "El sol puede ser tuyo," 2008.
- [4] Mrsolar.com. (2012). *Photovoltaic Effect* [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20120717155505/http://www.mrsolar.com/content/photovoltaic_effect.php.
- [5] P. Nobel. (2013). *The Nobel Prize in Physics 1921: Albert Einstein* [Online]. Available: http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/.
- [6] P. Science. (2013). *Magic Plates, Tap Sun For Power* [Online]. Available: <http://books.google.com/books?id=9CcDAAAAMBAJ&pg=PA41>.
- [7] P. John. (2010). *The Silicon Solar Cell Turns 50* [Online]. Available: <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/33947.pdf>.
- [8] Perlin_John, "From Space to Earth: The Story of Solar Electricity," Harvard University, 1999.
- [9] Daniel_Stolik_Novygrod, "La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba," Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales, Universidad de La Habana, 2014.
- [10] I. Fundación Wikimedia, "Crecimiento de la energía solar fotovoltaica," in *Wikipedia*, ed, 2019.
- [11] Gustavo_Arencibia_Carballo, "La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica," *Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, pp. 1-4, 2016.
- [12] (2019). *Cuba impulsa parques solares para elevar cuota de energía renovable* [Online]. Available: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2019/07/13/cuba-impulsa-parques-solares-para-elevar-cuota-de-energia-renovable>.
- [13] (2019). *NUEVAS TECNOLOGIAS DE PANELES SOLARES* [Online]. Available: <http://soleraenergiasrenovables.com/>.
- [14] M. Y. B. Rodríguez, "ANÁLISIS DE LAS POTENCIALIDADES DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN CIMEX VILLA CLARA," Departamento de Estudios Electroenergéticos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2018.
- [15] Rodolfo_Manuel_Arias_García, "Estudio de Factibilidad del Sistema Fotovoltaico de Conexión a Red Eléctrica de la Empresa de Productos Lácteos de Santa Clara," COPEXTEL, 2020.

Anexos







DISHPOINTER



Your Location
Latitude: 22.4115°
Longitude: -79.9828°



