



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UNA PLANTA SOLAR DE PANELES BIFACIALES CON
DIFERENTES ALBEDOS UBICADA EN EL PARQUE INDUSTRIAL GREEN VALLEY**

PRESENTADO POR:

21541045 CHRISTIAN MOLINA

21251031 SERGIO NOLASCO

ASESOR

ING. VIELKA BARAHONA

CAMPUS SAN PEDRO SULA; JULIO 2022

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto a mis padres y mi hermano que siempre estuvieron ahí para apoyarme durante este proyecto, a mis abuelos quienes siempre se sintieron orgullosos de cada uno de mis logros.

-Christian Molina

Dedico este proyecto primeramente a Dios, a mis padres, hermanos y abuelos que me apoyaron en todo momento durante desde el comienzo hasta el final de mi carrera universitaria.

-Sergio Nolasco

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerles a mis padres, mi hermano, a mi tía y mis primos, por su apoyo durante mis estudios a lo largo de estos años en la universidad. A mis amigos Nelson, Daniel, Carlos, Gabriel, Diana y Febe por siempre estar ahí para mí apoyándome para poder concluir esta etapa.

-Christian Molina

Agradezco primeramente a Dios por la oportunidad de recibir mis estudios. También agradezco a mi familia, específicamente a mi papa y a mi mama, que en todo momento me apoyaron y creyeron en mí, a mis hermanos también por estar ahí, a mis abuelos y demás familiares por estar siempre pendientes de mí. Agradezco a la Ing. Vielka Barahona por su asesoría durante el trimestre y agradezco al Ing. Franklin Martínez por la oportunidad de realizar este proyecto y por toda su asesoría, finalmente agradezco al Ing. Said Núñez por la ayuda que nos proveyó en la planta solar. A todos ellos, muchas gracias.

-Sergio Nolasco

INDICE

I.	Introducción.....	17
II.	Planteamiento del Problema	18
2.1	Precedentes del Problema	18
2.2	Definición del problema.....	20
2.3	Justificación.....	20
2.4	Preguntas de investigación.....	20
2.5	Objetivos.....	21
2.5.1	Objetivo General.....	21
2.5.2	Objetivos Específicos.....	21
III.	Marco Teórico.....	22
3.1	Análisis de la Situación Actual	22
3.2	Análisis del Macroentorno	23
3.2.1	Parque solar Xitieshan en Qinghai, China.	23
3.2.2	Parque Solar Lasesa II y III.....	24
3.3	Análisis del Micro Entorno	25
3.4	Análisis Interno	26
3.5	Energía Solar.....	29
3.6	Albedo.....	30
3.7	Sistemas Fotovoltaicos	32
3.7.1	Sistema fotovoltaico Aislado.....	32
3.7.2	Sistema fotovoltaico de autoconsumo.....	33
3.8	Paneles Solares.....	33

3.8.1	Paneles monofaciales.....	34
3.8.2	Paneles Bifaciales.....	34
3.9	Inversor.....	35
3.10	Sistemas de Seguimiento Solar.....	37
3.10.1	Seguidores de un eje.....	38
3.10.2	Seguidores de doble eje.....	39
3.10.3	Ventajas de los trackers solares.....	41
3.10.4	Desventajas de los trackers solares.....	41
3.11	Tecnología <i>GameChange</i> Solar.....	42
IV.	Metodología.....	44
4.1	Enfoque.....	44
4.2	Variables de Investigación.....	45
4.2.1	Variables Técnicas.....	46
4.2.2	Variables Económicas.....	47
4.3	Hipótesis.....	48
4.4	Técnicas e Instrumentos Empleados.....	48
4.5	Población y Muestra.....	49
4.6	Metodología de Validación.....	50
4.7	Cronograma de actividades.....	53
V.	Resultados y Análisis.....	54
5.1	Análisis de la Planta.....	54
5.1.1	Terreno.....	54
5.1.2	Equipo de la Planta.....	55

5.2	Análisis de los Escenarios	57
5.2.1	Nylon.....	57
5.2.2	Grava	58
5.2.3	Láminas de zinc.....	60
5.3	Montaje de Albedos	61
5.3.1	Montaje del Nylon	62
5.3.2	Montaje de la Grava	66
5.3.3	Montaje de las láminas de Zinc.....	68
5.4	Evaluación y Comparación de Rendimiento de los Escenarios.....	71
5.4.1	Análisis y Comparación del Escenario Nylon vs Grama	72
5.4.2	Análisis y Comparación del Escenario Grava vs Grama.....	75
5.4.3	Análisis y Comparación del Escenario Laminas vs Grama.....	78
5.5	Análisis de la potencia de cada escenario.....	81
5.6	Análisis y Comparación en Rendimiento de Generación de Energía.....	82
5.7	Análisis Financiero	85
5.7.1	Escenario Nylon.....	85
5.7.2	Escenario Grava	88
5.7.3	Escenario Láminas de Zinc	90
5.8	Análisis Costo-Beneficio.....	92
VI.	Conclusiones	93
VII.	Recomendaciones	94
VIII.	Bibliografía.....	95

INDICE DE IMAGENES

Ilustración 1. Matriz energética del país.....	18
Ilustración 2. Parque solar energético con tecnología ubicado en Vellakoil, India.	23
Ilustración 3 – Parque solar Xitieshan ubicado en Dachaidan, China.	24
Ilustración 4 – Paneles solares del parque Lasesa III en posición para aprovechar la irradiación solar.....	24
Ilustración 5 – Vista de cerca sobre el eje de doble que sostiene una sección de paneles en el parque Lasesa II.	25
Ilustración 6 – Edificio principal del parque industrial Green Valley.	26
Ilustración 7 -Segmento de una mesa de paneles solares.....	26
Ilustración 9 - Estructura de la mesa con el equipo de movimiento de las mesas.....	28
Ilustración 10 – Energías Derivadas de la solar.....	29
Ilustración 11 - Sistema fotovoltaico Aislado.....	32
Ilustración 12 - Sistema fotovoltaico de autoconsumo.....	33
Ilustración 13 - Tipos de radiación.....	34
Ilustración 14 - Comparación de la composición de un panel monofacial y un panel bifacial.....	35
Ilustración 15 – Esquema de un sistema conectado a un inversor de string.....	36
Ilustración 16 - Seguimiento solar de los trackers solares.....	37
Ilustración 17- Tipos de seguidores solares.....	38
Ilustración 18 - Tipos de seguidores solares.	39
Ilustración 19 – Movimiento realizado por los seguidores solares de doble eje.....	40
Ilustración 20 – Descripción de los componentes de la tecnología Genius Tracker 1P.....	43
Ilustración 21 – Ubicación del parque industrial Green Valley.....	49

Ilustración 22 – Ubicación parque solar del parque industrial Green Valley.....	50
Ilustración 23 – Estado del terreno de la planta.....	54
Ilustración 24 -Segmento de una mesa de paneles solares	55
Ilustración 25 -Inversor solar utilizado en la planta de generación de energía.....	56
Ilustración 26 – Rollo de nylon blanco.....	58
Ilustración 27 – Grava $\frac{3}{4}$	59
Ilustración 28 – Lamina de zinc.....	60
Ilustración 29 – Diagrama de cadenas del inversor 11.....	62
Ilustración 30 – Diagrama colocación del nylon.	63
Ilustración 31 – Medición y corte del nylon.....	64
Ilustración 32 – Fijación del nylon en el suelo.	65
Ilustración 33 – Diagrama montaje de la grava.....	66
Ilustración 34 – Montaje de la grava.	67
Ilustración 35 – Diagrama de montaje de láminas de zinc.	68
Ilustración 36 - Sostenimiento de las láminas.	69
Ilustración 37 – Colocación de las láminas.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Albedos de materiales comunes.....	31
Tabla 2 – Descripción y características de los distintos tipos de seguidores solares.....	40
Tabla 3 – Cronograma de Actividades.....	53
Tabla 4-Descripción del panel solar.....	55
Tabla 5- Descripción del inversor solar.....	56
Tabla 6 – Descripción del nylon utilizado en el proyecto.....	58
Tabla 7 – Parámetros de la grava.....	60
Tabla 8 – Características de la lámina utilizada.....	61
Tabla 9 – Tabla resumen totales del montaje del nylon.....	66
Tabla 10 – Tabla resumen del montaje de la grava.....	68
Tabla 11 – Tabla resumen del montaje de las láminas.....	70
Tabla 12 – Generación total de la energía por día.....	84
Tabla 13 – Diferencial de energía y mejora de rendimiento de los escenarios montados.....	85
Tabla 14 – Desglose cantidades de la inversión inicial del escenario de nylon.....	86
Tabla 15 – Parámetros de entrada para el análisis financiero del nylon.....	87
Tabla 16 – Desglose de cantidades del escenario de grava.....	88
Tabla 17 – Parámetros de entrada para el análisis financiero de la grava.....	89
Tabla 18 – Desglose de cantidades del escenario de láminas.....	90
Tabla 19 – Parámetros de entrada para el análisis financiero de las láminas.....	91

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama de variables dependientes e independientes.....	45
Gráfico 2 - Diagrama de Flujo de Actividades	52
Gráfico 3- Comparación de voltaje del escenario Nylon vs Grama.	72
Gráfico 4 – Comparación de corrientes del escenario nylon vs grama.....	73
Gráfico 5 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario nylon vs grama.....	74
Gráfico 6 – Grafico comportamiento peor caso del escenario nylon vs grama.....	74
Gráfico 7 - Comparación de voltaje del escenario Grava vs Grama.....	75
Gráfico 8 - Comparación de amperaje del escenario Grava vs Grama.....	76
Gráfico 9 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario grava vs grama.....	77
Gráfico 11 - Comparación de voltaje del escenario laminas vs Grama.....	78
Gráfico 12 - Comparación de amperaje del escenario laminas vs Grama.....	79
Gráfico 13 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario laminas vs grama.....	80
Gráfico 14 – Comportamiento de potencia del peor caso del escenario laminas vs grama.....	80
Gráfico 15 – Día con la menor generación.....	81
Gráfico 16 – Día con la mejor generación	82
Gráfico 17 – Generación de energía total del monitoreo con cada albedo.....	82
Gráfico 18 – Generación de energía por día con cada albedo.....	83

Glosario

Comisión Reguladora de Energía Eléctrica (CREE): Institución encargada de la regulación de tarifas eléctricas.

String: Cadena de módulos fotovoltaicos conectados en serie.

Sistema de seguimiento solar o Tracker: Maquina diseñada como soporte de paneles fotovoltaicos para que estos sigan al sol de forma que los paneles sean perpendiculares en todo momento a sus rayos.

Albedo: porcentaje de luz solar reflejada por una superficie.

Irradiación solar: es la magnitud que mide la energía por unidad de superficie de radiación solar incidente en una superficie

RESUMEN

Como medida ante las altas tarifas energética, reguladas por la CREE, y que son severamente afectadas por los altos precios de los combustibles, las empresas e industrias del país, están implementando medidas de eficiencia energética, lo cual se resumen en implementar medidas para el ahorro de recursos económicos. Para esto, el parque industrial Green Valley, implemento un sistema solar fotovoltaico, con una capacidad nominal de 14.7 MWp, utilizando una combinación de tecnologías para el máximo aprovechamiento de la irradiación solar en la zona, estas tecnologías son: paneles solares bifaciales y un sistema de seguimiento solar. Según la revista Homesense, el aumento de rendimiento que puede generar la implementación de un sistema de seguimiento solar es del 10 al 45% dependiendo del tipo de tracking que se utilice, mientras que un panel solar bifacial genera, según la empresa española de energía Iberdrola, hasta un 30% más de energía, gracias al dorso del panel, dependiendo del albedo al cual este proyectada esta cara del panel, el cual, en este caso, está instalado sobre un suelo de tierra y grama verde. Con la implementación de estas tecnologías, y después de realizar grandes inversiones en instalar la planta, surge la idea de implementar montajes con distintos materiales; materiales que sean accesibles en la zona, de costos bajos y que requieran de un mantenimiento mínimo hasta nulo, con el objetivo de aumentar la reflexión del suelo sobre dorso el panel y aumentar el rendimiento de generación de estos. Para realizar la experimentación, se utilizarán 3 distintos materiales (nylon, grava y láminas de zinc) los cuales se instalarán en 3 distintas cadenas de paneles, con el objetivo de monitorear el comportamiento de estas mismas, realizando así un análisis que nos indique que material tiene el mejor aumento en el rendimiento de producción de energía y qué material tiene un mejor índice costo-beneficio para realizar la inversión.

Palabras clave: *paneles bifaciales, sistema de seguimiento solar, albedo, rendimiento, irradiación solar, índice costo-beneficio.*

ABSTRACT

As a measure against the high energy tariffs, regulated by the CREE, and which are severely affected by high fuel prices, companies and industries in the country are implementing energy efficiency measures, which are summarized in implementing measures to save economic resources. For this, the Green Valley industrial park implemented a solar photovoltaic system with a nominal capacity of 14.7 MWp, using a combination of technologies to take maximum advantage of solar irradiation in the area, these technologies are: bifacial solar panels and a solar tracking system. According to Homesense magazine, the increase in performance that can be generated by the implementation of a solar tracking system, is from 10 to 45% depending on the type of tracking used, while a bifacial solar panel generates, according to the Spanish energy company Iberdrola, up to 30% more energy thanks to the back of the panel, depending on the albedo to which this side of the panel is projected, which, in this case, is installed on a ground of soil and green grass. With the implementation of these technologies, and after making large investments in installing the plant surges the idea of implementing assemblies with different materials; materials that are accessible in the area, with low costs and require from minimal to null maintenance, with the objective of increasing the reflection of the ground that hits the back of the panel, increasing their performance of generation. To carry out the experimentation, 3 different materials will be used (nylon, gravel and zinc sheets) which will be installed in 3 different chains of panels, with the objective of monitoring the behavior of these, thus performing an analysis that determines which material has the best increase in energy production performance and which material has a better cost-benefit ratio to make the investment.

Key words: *bifacial solar panel, solar tracking system, albedo, performance, solar irradiation, cost-benefit ratio.*

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos son una de las principales fuentes de energía renovables que desde su creación han buscado aumentar su eficiencia para que se pueda tener una mayor dependencia en estas tecnologías en lugar de los combustibles fósiles. Por esta razón se han desarrollado varias tecnologías que ayudan a los sistemas fotovoltaicos a aumentar su generación de energía. Entre estas tecnologías está la de los paneles bifaciales y los sistemas de seguimiento solar o trackers. La tecnología bifacial aprovecha los rayos solares que son reflejados para poder generar más energía que su contraparte monofacial. Debido a eso el costo de estos paneles es mayor incluyendo la diferencia de precio entre los paneles y el costo del material que se utilizara para generar ese reflejo. Esta investigación evaluará la viabilidad técnica y económica de materiales específicos con ciertas características y propiedades que ayudan a los paneles bifaciales a tener una mayor generación, para esto se comparará el total de energía de paneles específicos a los cuales se les hará un montaje de materiales tales como nylon, grava y láminas de zinc para aumentar su generación. En base a esos resultados se calculará un índice de costo-beneficio para determinar el material con la mayor rentabilidad. Este estudio servirá como una base para futuros proyectos solares con paneles bifaciales que puedan realizarse en Honduras para determinar la inversión que será necesaria para poder utilizar este tipo de sistema fotovoltaico a su máxima capacidad. El informe contiene 7 capítulos en los cuales se detalla información necesaria para tener una mejor comprensión del propósito de la investigación. El primer capítulo siendo la Introducción presente en el cual se dio a conocer algunos de los puntos principales de la investigación. El capítulo del Planteamiento del Problema el cual contiene el problema de investigación, sus antecedentes y los objetivos. El Marco Teórico el cual contiene los fundamentos e información del tema a investigar para tener una comprensión más profunda del tema. El cuarto capítulo presenta la Metodología de investigación, este capítulo presenta los métodos utilizados para realizar la investigación y el alcance de la misma. El capítulo de Análisis y Resultados contiene la información recopilada de la experimentación y los cálculos realizados en base a los resultados obtenidos. En el capítulo de Conclusiones se presentarán comentarios finales realizados en base a los resultados obtenidos de la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección del informe se presentará el origen del problema, tomando en cuenta diferentes escenarios o estudios realizados ya sean en el mismo país o distintas regiones, con el objetivo de realizar una comparación y contraste del problema que se estará tratando de resolver con el desarrollo de este proyecto de investigación. Una vez realizadas las comparaciones, se plantearán las diferentes preguntas que este proyecto de investigación buscara contestar y los diferentes objetivos que se pretenden cumplir.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Los precios de la tarifa eléctrica son regidos por la CREE (Comisión Reguladora de Energía Eléctrica). Según el historial de tarifas de la CREE, desde el segundo trimestre del 2019 hasta el segundo trimestre del 2022, la tarifa energética presenta un aumento de aproximadamente un 0.33% en cada trimestre. La matriz energética de Honduras actualizada hasta el 4 de enero del 2021 refleja como la segunda tecnología más utilizada para generación de energía eléctrica la tecnología térmica, por lo cual los precios de estas tarifas son afectados por el alza de los precios de los combustibles. (CREE, 2022)

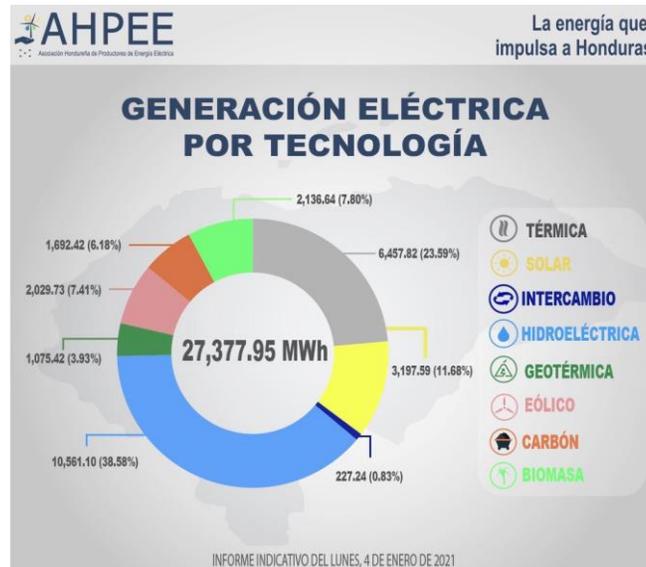


Ilustración 1. Matriz energética del país

Fuente: (AHPEE, 2021)

Con el alza de estos precios las empresas e industrias del país han tenido que implementar medidas alternativas para reducir gastos generados por el consumo energético. Para esto el parque industrial Green Valley inauguró una planta solar que utiliza paneles bifaciales montados sobre una estructura con seguimiento al sol, con una capacidad nominal de 14,609 kWp.

La producción industrial de paneles bifaciales inicio en el año 1984 por una compañía española llamada ISO-FOTON la cual se derivó precisamente de la iluminación bifacial que caracteriza sus módulos. La empresa era un proyecto de emprendimiento del Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid, IES-UPM, donde la tecnología bifacial se desarrolló como resultado de actividades de investigación anteriores centradas en la concentración fotovoltaica. (Lorenzo, 2021).

Honduras es el país centroamericano con el primer lugar en generación de energía fotovoltaica con una capacidad de generar 454 MW a lo largo de 15 plantas solares en el territorio sur (SICA , 2017). Entre las más importantes se encuentran el parque solar de Soposa Cohessa ubicado en Nacaome Valle, la cual puede abastecer hasta el 10% de la demanda energética en Honduras. Este parque de 440 hectáreas de área cuenta con 480,480 paneles que cubren 160 hectáreas de este mismo los cuales son capaces de generar 125 MWp de corriente alterna. Otra de las más importantes siendo Nacaome II con una capacidad nominal de 49.9 MW y se encuentra ubicada en el pueblo Agua Fría en Nacaome, Valle.

Entre 2015 y 2017, MECER y Helios, dos plantas fotovoltaicas en el sur de Honduras iniciaron operaciones con 25.6 MW cada una, actualmente cuentan con seguidores de un eje horizontal que han permitido incrementar en alrededor de un 33% la producción de electricidad (Andino, 2020).

El parque industrial Green Valley, con el objetivo de maximizar el aprovechamiento del recurso solar para la generación de energía, es la primera empresa en introducir la tecnología de paneles bifaciales en combinación con la tecnología de tracking o seguimiento solar en Honduras. Por lo tanto, no existen estudios que reflejen la mejora en rendimiento al utilizar estas tecnologías en conjunto.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema de investigación de este proyecto propone el mejoramiento del uso del suelo sobre el cual está montado el parque solar fotovoltaico del parque industrial Green Valley.

Para la optimización de la producción y el uso del suelo, se utilizarán montajes de distintos materiales, tales como son nylon, láminas de acero, grava y césped seco, con el objetivo de monitorear y medir distintas variables tales como la temperatura, la radiación presente, la velocidad del viento, la corriente, el voltaje, y la potencia generada por el arreglo de paneles solares que serán utilizados para la experimentación. Con la finalidad de realizar un análisis y comparación entre el escenario actual contra los escenarios que serán montados.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Green Valley Industrial Park, es un parque industrial ubicado en el municipio de Naco, departamento de Cortes, que se dedica a la manufactura. En este parque se instaló una planta de generación solar fotovoltaica de paneles con una capacidad de 14.609 MWp. Esta planta cuenta una cantidad de 22,610 paneles bifaciales, montados sobre una estructura de seguimiento solar que abarcan un área total de 70,235 m². Todas las estructuras están instaladas sobre un suelo de césped verde. El parque recibe distintos mantenimientos tales como el podado del césped, para que se pueda optimizar la generación en ambos lados del panel, ya que gracias a que estos son bifaciales, pueden generar de ambos lados.

Debido a que la generación en la parte posterior del panel depende principalmente de un reflejo de irradiación solar, se plantea la utilización de materiales que puedan reflejar de manera óptima la irradiación solar, explorando entre varios materiales de bajos costos, propiedades de estos que lo permitan.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuáles son los requerimientos que se deben considerar en la selección de los materiales a utilizar en la construcción de cada escenario a evaluar?
2. ¿Cuál es el área por utilizar para realizar el montaje y monitoreo de los distintos albedos?

3. ¿Cómo cambia el rendimiento del segmento de paneles solares que se utilizaran para la experimentación al utilizar un material distinto?
4. ¿En cuál escenario se obtiene una mayor generación de Energía?
5. ¿Cuál es el índice de costo beneficio de cada uno de los escenarios propuestos?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades físicas de ciertos materiales que serán utilizados para el montaje de diferentes albedos para el aprovechamiento de la irradiación solar en el dorso de los paneles, con la intención de optimizar la generación de electricidad a fin de determinar cuál de los albedos provee un mejor escenario en cuanto a rendimiento y en cuanto a costo-beneficio.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los requerimientos a considerar en la selección de los materiales a utilizar en el montaje de los albedos para el aprovechamiento del reflejo de la luz solar.
2. Establecer y medir el área del arreglo de paneles solares que serán utilizados para la experimentación, determinando la cantidad de material necesario para realizar el monitoreo de cada uno de los albedos.
3. Evaluar la variación en el rendimiento en cuanto a generación de energía comparando los resultados obtenidos en cada uno de los albedos.
4. Determinar cuál de los materiales fue el de mejor rendimiento en cuanto generación de energía.
5. Determinar el índice costo-beneficio de cada uno de los materiales con el fin de determinar cuál es el mejor.

III. MARCO TEÓRICO

Con los objetivos ya establecidos se desarrollará la sección de marco teórico en la cual el lector podrá profundizar su conocimiento sobre temas relevantes a la investigación. A través de estos temas se tendrá una mejor comprensión del problema y por qué se está realizando la investigación.

3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Analizando la situación actual en ecosistemas extensos, reduciendo este ecosistema a un plano local, y terminando con el análisis interno de lugar donde se realizará el proyecto, se podrá entender de manera específica el objetivo que se plantea realizar en este proyecto y comparando con otros proyectos que han realizado los mismos estudios o estudios que sean parecidos.

Para realizar la comprensión del escenario que se estudiará, es necesario comparar el escenario del lugar comparado a otros lugares que cuenten con las mismas o alguna de las características de este.

Es importante mencionar que el análisis de los escenarios parecidos a este, no contienen las características específicas que el análisis de este proyecto intentara desarrollar, si no similitudes tales como es la estructura móvil o trackers, y en su gran mayoría, utilizan paneles monofaciales, los cuales son fundamentales para el desarrollo del proyecto, cuyo objetivo es el uso de materiales para reflejar la incidencia de luz solar en el dorso de los paneles bifaciales.

3.2 ANÁLISIS DEL MACROENTORNO

Parque solar en Vellakoil, Tamil Nadu, India

Este es un parque de generación solar fotovoltaica ubicado en la India, con una capacidad nominal de 4 MWp de generación de energía. Un parque que cuenta con un sistema de seguimiento solar de un solo eje horizontal, la tecnología de tracking más convencional que existe en el mercado.



Ilustración 2. Parque solar energético con tecnología ubicada en Vellakoil, India.

Fuente: (Vinay, 2014).

3.2.1 PARQUE SOLAR XITIESHAN EN QINGHAI, CHINA.

Este parque solar ubicado en la provincia de Qinghai, llamado el Dachaidan Xitieshan, es un parque conectado a la red, que cuenta con una capacidad nominal de 100 MWp. Este parque, instalado por la CGN (China General Nuclear Power Group), fue construido en 3 fases: La primera fase la cual conto con una instalación de 10 MW, la segunda fase que conto una capacidad de 30 MW, y la tercera que completo los 100 MWp de capacidad nominal, con una instalación final de 60 MW de capacidad. Este parque cuenta con una tecnología de seguimiento solar de un solo eje horizontal.



Ilustración 3 – Parque solar Xitianshan ubicado en Dachaidan, China.

Fuente: (Vinay, 2014).

3.2.2 PARQUE SOLAR LASESA II Y III

Estos parques solares, nombrados Lasesa dos y tres, forman parte de una inversión de 55 millones de euros la construcción de este proyecto de generación solar fotovoltaica que ocupa 61 hectáreas de área en la ciudad de Sariñena, Zaragoza. La construcción de este proyecto empezó en el 2005 con una capacidad nominal de 9 MW de potencia, 58,000 módulos que componen este parque y 720 seguidores solares monoposte de doble eje. Fuente: (Lasesa Fotovoltaica, 2010).



Ilustración 4 – Paneles solares del parque Lasesa III en posición para aprovechar la irradiación solar.

Fuente: (Lasesa Fotovoltaica).



Ilustración 5 – Vista de cerca sobre el eje de doble que sostiene una sección de paneles en el parque Lasesa II.

Fuente: (Lasesa Fotovoltaica).

3.3 ANÁLISIS DEL MICRO ENTORNO

En el caso de las plantas nacionales, no existe otra planta en el país que utilice paneles bifaciales junto a la tecnología de trackers. En el caso de plantas solares con paneles monofaciales el país cuenta con 15 plantas ubicadas en el sur las cuales generan 454 MW.

La planta solar Pacific Solar II, ubicada en Nacaome, está diseñada para generar 28.4 MW nominales con la capacidad de llegar a 35.55 MWp. Está constituido por 5 inversores de 4.8 MVAs y un inversor de 2.4 MVAs conectados a un total de 104,700 paneles solares. La estructura de los paneles utiliza trackers de un solo eje.

3.4 ANÁLISIS INTERNO

El parque industrial de Green Valley es una empresa dedicada a las soluciones textiles y manufactura de prendas de vestir. Este parque, ubicado en el kilómetro 23 de la carretera hacia el occidente del municipio de Quimistan, Santa Bárbara, depende de un consumo energético de aproximadamente 15 MW de lunes a viernes, mientras que los fines de semana (sábados y domingos), depende de un consumo aproximado de 9 MW.



Ilustración 6 – Edificio principal del parque industrial Green Valley.

Fuente: (Asociación Hondureña de Maquiladores).

Dentro de este parque, se encuentra la instalación de generación de energía solar fotovoltaica de la empresa Sunergy. Con un área de 170,000 m², esta instalación conectada a la red, se encarga de suministrar en un mínimo aproximado, el 80% del consumo total del parque.



Ilustración 7 -Segmento de una mesa de paneles solares.

Fuente: (Elaboración propia).

Los inversores esta distribuidos en dos grupos de 36, que van conectados hacia dos estaciones inteligentes que distribuyen la energía hacia el parque industrial. Estas estaciones inteligentes son las encargadas de distribuir la energía hacia el parque industrial, después de realizar la labor de transformar la energía de AC a DC provista por los inversores.



Ilustración 8 – Panel de distribución del transformador.

Fuente: (Elaboración propia).

Los paneles están distribuidos en 324 mesas, que tienen como medidas 100 m. de largo y 5.6m de ancho, en donde cada mesa se compone de 2 cadenas de paneles. Cada cadena cuenta con 35 paneles conectados en serie. Estas mesas están compuestas por una estructura móvil marca GameChanger Solar, tecnología de seguimiento solar 1P, que tiene como objetivo el aprovechamiento máximo de la radiación solar, moviendo la parte superior del panel en dirección al sol.



Ilustración 9 - Estructura de la mesa con el equipo de movimiento de las mesas.

Fuente: (Elaboración propia).

3.5 ENERGÍA SOLAR

El sol es una de las mayores alternativas al uso de combustibles fósiles. El último recurso recuperable de petróleo de la Tierra está estimado en alrededor de 3 millones de barriles los cuales producen 1.7×10^{22} julios de energía, este mismo valor es producido por el sol en 1.5 días (Crabtree & Lewis, 2008).

El sol podría proveer energía suficiente para todo el planeta, pero aun con esta capacidad no existe una manera en la que podamos aprovechar al 100% esta energía generada. Aunque no podamos aprovechar por completo la energía que el sol genera esta es muy versátil, esta puede convertirse en electricidad, calor o combustibles solares.

De una manera directa la energía solar puede convertirse en un combustible solar a través de la fotosíntesis.



Ilustración 10 – Energías Derivadas de la solar.

(Crabtree & Lewis, 2008)

La fotosíntesis es un proceso químico en el cual las plantas convierten la energía solar en carbohidratos y los almacenan como fuentes de energía. Este método contribuye a el mayor uso de energía solar, pero es muy poco eficiente como para poder proveer suficiente energía para que los humanos puedan utilizar.

El segundo método concentra la energía solar en un punto para poder utilizarlo como un método de generación de calor.

Por último, el método que más nos interesa que es la conversión de la energía solar a electricidad utilizando celdas solares. Este método utiliza los rayos solares para dar movimiento los electrones en la celda solar que normalmente están inmóviles, esto para convertir la energía solar en energía eléctrica. Lastimosamente este método al igual que la fotosíntesis no tienen una conversión muy eficiente de energía.

Aproximadamente 0.015% de la energía solar se convierte en electricidad, un 0.3% se utiliza para calefacción y un 11% se utiliza en fotosíntesis de biomasa. En contraste los combustibles fósiles son el 80% de la energía que utilizan las personas en el mundo (Hayat MB, 2018).

El problema de estos combustibles fósiles es que a diferencia de los renovables estos no tienen un uso indefinido y cada vez que se usan generan una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2) al ambiente. Por cada tonelada de carbón que se quema se libera una tonelada de CO_2 al ambiente, esta es la principal causa de calentamiento global, cambio de clima, efecto de gases de invernadero y el agotamiento de la capa de ozono (U.S. Energy Information Administration, 2008).

La enorme diferencia entre el potencial de la energía solar y el uso que hacemos de ella se debe a el costo y la capacidad de conversión. Es más simple utilizar combustibles fósiles para cumplir nuestras demandas energéticas a usar energía solar. Esto se debe a que los combustibles fósiles son formas de energía concentrada a diferencia de la energía solar que está distribuida alrededor del mundo. Las limitaciones de costo y capacidad de la energía solar se definen en un solo objetivo de investigación, una manera efectiva de elevar la ratio de conversión a un costo razonable. (Crabtree & Lewis, 2008) Para resolver este inconveniente de la energía solar se realizan varios estudios para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos.

3.6 ALBEDO

El albedo es definido como un porcentaje de luz solar reflejada por una superficie. (Gautam & Sunanda, 2020). Cuando el albedo es variable este afecta considerablemente el rendimiento de los paneles bifaciales, este efecto se nota más en la parte del dorso del panel por lo cual no tiene un efecto en los paneles monofaciales.

Para poder determinar el albedo de las superficies se utiliza un albedometro que mide la radiación, la irradiación solar y la radiación solar acumulativa. Este albedometro es una combinación de dos piranómetros y algunos sensores térmicos. Gautam y Sunanda (2020) afirman que entre mayor sea el índice del albedo mayor será la ganancia de los paneles bifaciales. El valor de albedo oscila entre 0, siendo un cuerpo negro que absorbe toda la radiación, y 1, siendo un cuerpo que refleja toda la radiación.

Tabla 1 – Albedos de materiales comunes.

Material	Albedo
Grasa	0.25-0.30
Nylon	0.48
Grava	0.08-0.20
Láminas de Zinc	0.68
Concreto	0.10-0.35

Fuente: Elaboración propia con datos de (Hulley, 2012)

3.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos o equipos que juntos conforman una planta que tiene como objetivo la conversión de energía solar en electricidad. Su principio de funcionamiento radica en la radiación solar que a través de los paneles transmiten energía a un regulador de carga, evitando cualquier sobrecarga o esfuerzo extra que pueda desgastar la vida útil del equipo (GSL Industrials, 2021).

Los principales componentes de un sistema solar fotovoltaico son el panel solar, el inversor y el regulador de carga. Un sistema que incluye todos estos componentes se puede clasificar en uno de dos, Sistemas fotovoltaicos sin conexión a la red eléctrica (aislado) o sistemas fotovoltaicos con conexión a la red (de autoconsumo).

3.7.1 Sistema fotovoltaico Aislado

Este tipo de sistema fotovoltaico no está conectado a la red eléctrica. La energía que el sistema genera es consumida en el momento. Comúnmente utilizan baterías para almacenar la energía generada y utilizarla cuando sea necesaria.

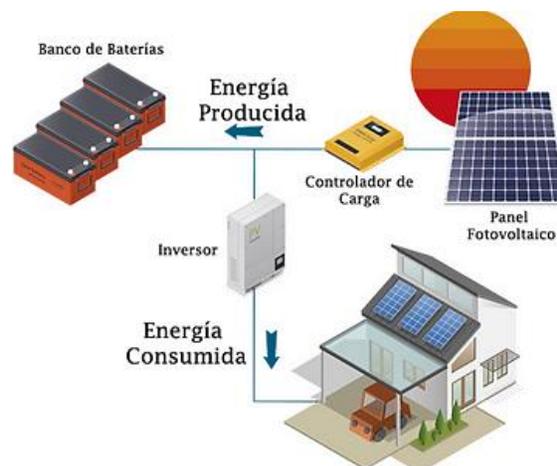


Ilustración 11 - Sistema fotovoltaico Aislado

Fuente: (SOLar Energías renovables, 2019)

3.7.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO DE AUTOCONSUMO

En este tipo de sistema hay una conexión entre la red eléctrica y el hogar en caso de que la generación de los paneles no sea suficiente. En estos casos se instala un segundo medidor o un medidor bidireccional para poder medir la energía que se inyecta a la red.



Ilustración 12 - Sistema fotovoltaico de autoconsumo

Fuente: (SOLar Energías renovables, 2019)

3.8 PANELES SOLARES

Los paneles solares son un conjunto de celdas solares. Estas celdas solares están hechas de silicón y funcionan como un semiconductor. Estas al igual que una batería están construidas con una capa negativa y una capa positiva para poder crear un campo eléctrico.

Los paneles solares se dividen en tres tipos diferentes: monocristalino, policristalinos y de filme delgado. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas que definen que tipo es el mejor a utilizar para un proyecto.

Los paneles monocristalinos son más notorios por tener la mejor eficiencia. Los paneles policristalinos tienen el mejor costo beneficio, mientras que los de filme delgado son para casos especiales, pero son más duraderos que los cristalinos.

Además de dividirse por el tipo de material del que está hecho los paneles también se pueden clasificar como monofaciales y bifaciales. Esto depende mucho del tipo de radiación que puede recibir el panel, esta puede ser radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada (Guitierrez, 2016)

La radiación directa es radiación que llega sin interrupciones a la superficie, esta puede ser reflejada luego de llegar al suelo.

La radiación difusa es la radiación que pasa por varios cuerpos en la atmosfera por lo cual se refleja varias veces antes de llegar al suelo.

La radiación reflejada es la que fue reflejada en el suelo u otro objeto cercano.

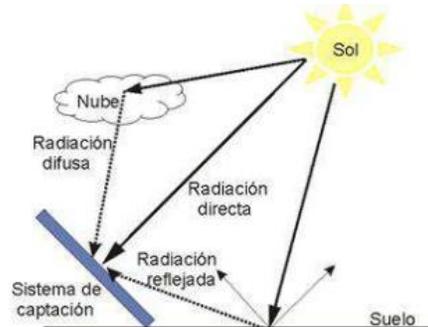


Ilustración 13 - Tipos de radiación

Fuente: (Guitierrez, 2016)

3.8.1 Paneles monofaciales

Un panel monofacial es el típico panel solar que recibe energía solar en sus celdas solares y las transforma en energía eléctrica, estos solo reciben energía solar por la parte frontal del panel. Reciben solamente la radiación directa del sol.

3.8.2 Paneles Bifaciales

Los paneles bifaciales son paneles que tienen la capacidad de recibir energía por el frente y el dorso del panel. La capacidad de recibir energía en ambas caras del panel aumenta la producción de energía y se logra una reducción en el costo nivelado de energía. Normalmente estos paneles utilizan una hoja transparente para poder aprovechar la radiación reflejada al máximo y aumentar la eficiencia del panel.

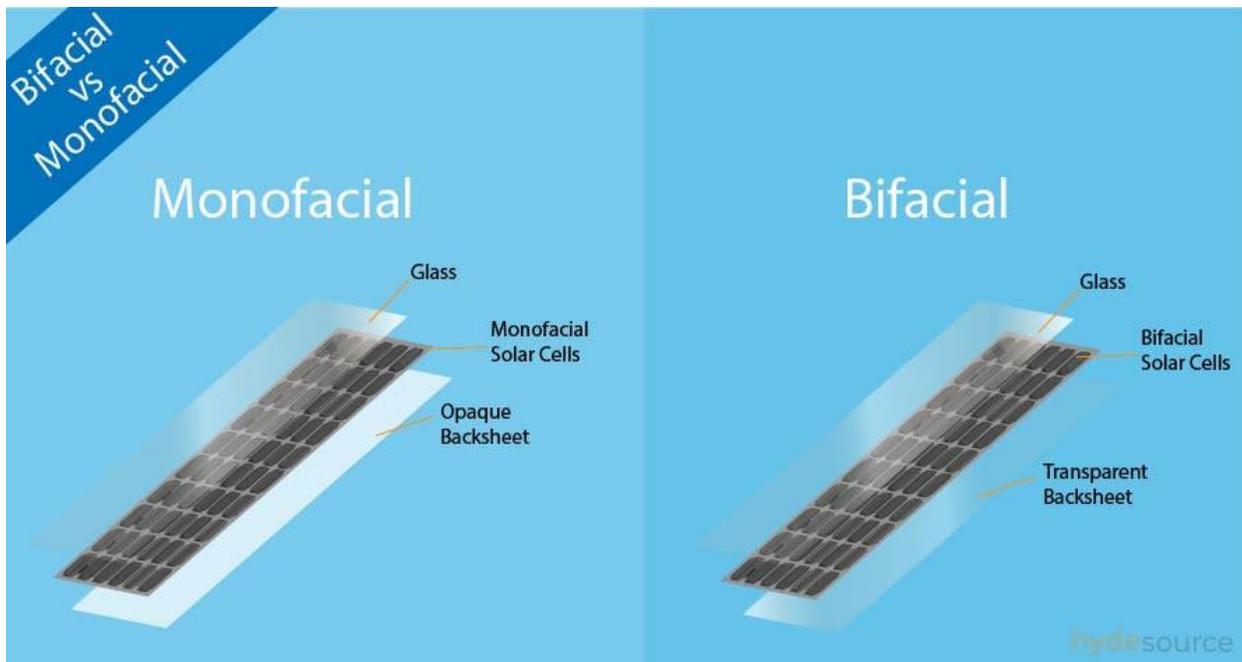


Ilustración 14 - Comparación de la composición de un panel monofacial y un panel bifacial

Fuente: (Hyde Source, n.d.)

3.9 INVERSOR

El inversor es el equipo en el sistema que convierte la corriente directa generada por el panel solar en corriente alterna para que esta pueda utilizarse. Mantienen un monitoreo del voltaje para determinar la máxima capacidad a la que pueden trabajar los paneles.

Este monitoreo de los paneles puede utilizarse para así darse cuenta de cualquier problema que pueda presentarse con el funcionamiento de los paneles ya sea algo relacionado a la degradación, sombreado o algún otro cambio debido al ambiente. Cualquiera de estos problemas puede ocasionar que el inversor detecte un valor máximo erróneo reduciendo la generación del panel.

Los inversores más recientes vienen con opciones de comunicaciones más variadas para poder tener un mejor manejo de la planta.

Existen 3 tipos de inversores utilizados alrededor del mundo que se utilizan en situaciones diferentes pero el más utilizado en parques solares es el Inversor de strings. Este inversor es utilizado para agrupar los inversores en grupos vinculados con strings. A estos inversores se pueden conectar varios strings para transformar la corriente directa a corriente alterna.



Ilustración 15 – Esquema de un sistema conectado a un inversor de string

Fuente: (Sentry, 2022)

3.10 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR

Un seguidor solar es una máquina diseñada como soporte o montaje de los paneles fotovoltaicos para que éstos sigan al sol de forma que los paneles sean perpendiculares en todo momento a sus rayos, es decir, que la cara posterior de estos, este dirigida directamente hacia el sol, aumentando así la eficiencia energética respecto a los sistemas fijos. (Miguel de Simon-Martin, 2014).

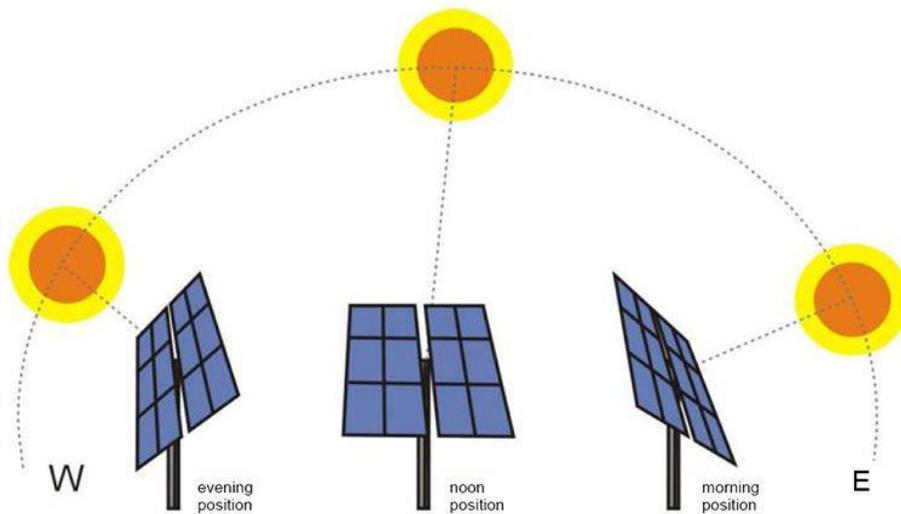


Ilustración 16 - Seguimiento solar de los trackers solares.

Fuente: (Schwartz, LBA Industrial, junio 2018).

Existen muchos tipos de seguidores solares, que varían en términos de coste, complejidad y funciones. También pueden tener distintos grados de precisión según el uso al que se destinen. Los diferentes modelos de seguidores se clasifican en función de los movimientos que realizan, de la siguiente manera:

- Seguidores polares de un eje.
- Seguidores solares de doble eje.

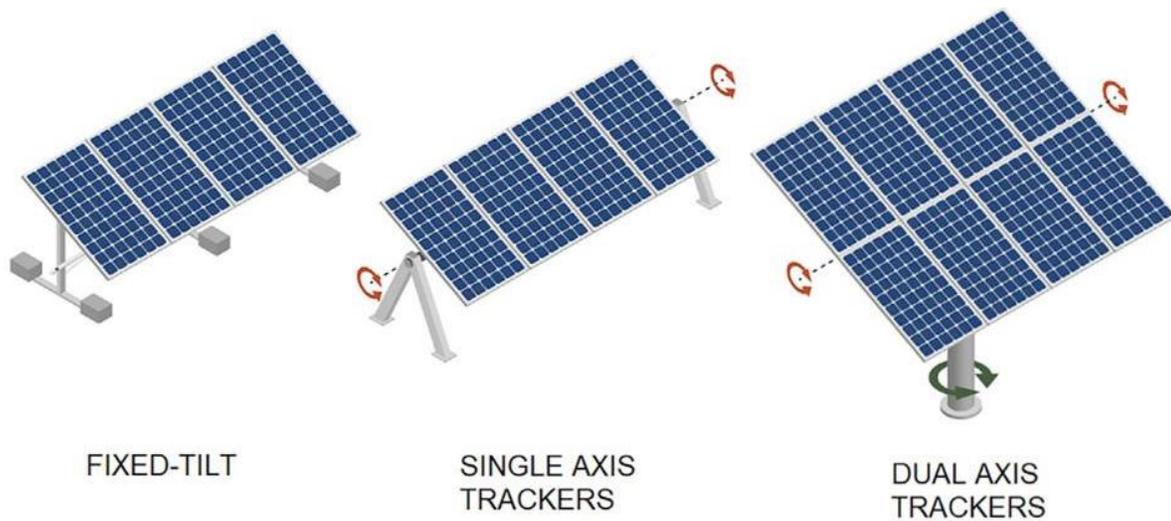


Ilustración 17- Tipos de seguidores solares.

Fuente: (Forbes, 2021).

3.10.1 SEGUIDORES DE UN EJE

Según se puede apreciar en la ilustración los seguidores polares de un eje son normalmente alineados de norte a sur, con el objetivo de realizar el movimiento de seguimiento solar de este a oeste, aprovechando la irradiación solar desde la salida del sol hasta su puesta. Estos sistemas presentan menores costes y la opción del montaje de estas mismas en cubiertas o techos, con la ligera desventaja de realizar un movimiento menos preciso, el cual reduce el aprovechamiento de la captación de los rayos solares, generando así menos energía. (Carbonell, 2020).

Existen en la actualidad tres tipos de seguidores de un solo eje:

- Polar
- Azimutal
- Horizontal

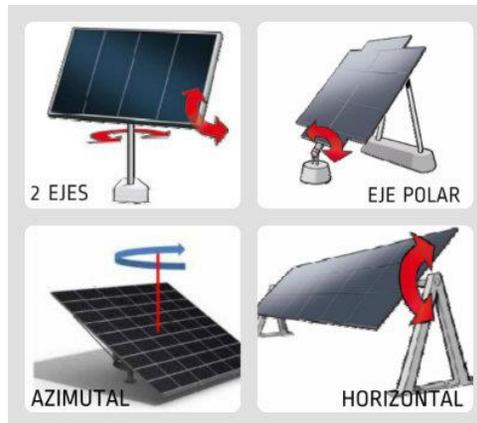


Ilustración 18 - Tipos de seguidores solares.

Fuente: (Hogarsense, febrero 2021).

3.10.2 SEGUIDORES DE DOBLE EJE

Los seguidores de doble eje, en comparación hacia los de un solo eje, aparte de realizar el movimiento normal con seguimiento al sol de este a oeste, también tienen la ventaja de realizar un movimiento de norte a sur, lo cual puede maximizar la generación de energía, con la facilidad de variar su orientación según la estación del año. (Carbonell, 2020).

Entre los tipos de seguidores de eje existentes en la actualidad se encuentran:

- Monoposte.
- Carrousel.

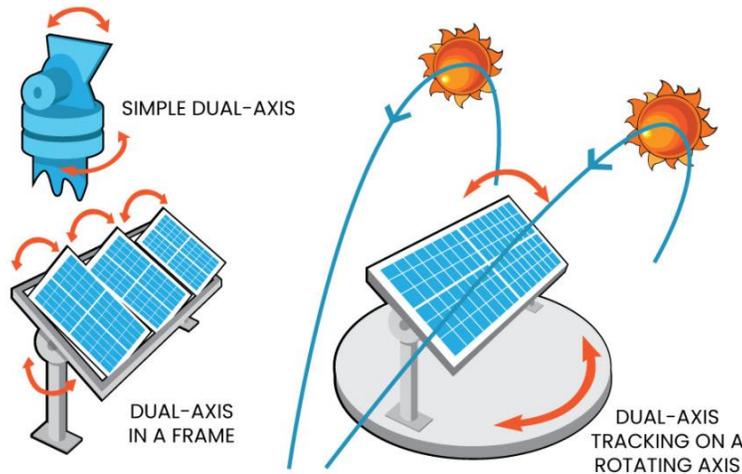


Ilustración 19 – Movimiento realizado por los seguidores solares de doble eje.

Fuente: (Niclas, Sinovoltaics).

En la siguiente tabla, se explica un poco de las características específicas de cada uno de los tipos de paneles de un solo eje y de doble eje, describiendo el movimiento que realizan, su capacidad de giro, y el índice de incremento en la generación de energía. (Carbonell, 2020).

Tabla 2 – Descripción y características de los distintos tipos de seguidores solares.

	Un solo eje			Doble eje	
	Polar	Azimutal	Horizontal	Monoposte	Carrusel
Tipo de apoyo y movimiento	Eje orientado al sur, inclinación igual a la latitud de la instalación.	Un solo apoyo, sobre el que se mueven los paneles inclinándose de este a oeste.	Eje soporte este-oeste, sobre el que se instalan los paneles.	Un solo apoyo con un eje que se puede mover el panel en cualquier dirección.	Varios apoyos distribuidos a lo largo de una superficie circular.
Capacidad de giro	Menos de 180°	Menos de 180°	Menos de 180°	360°	360°
Incremento en rendimiento	De 10 a 20%	Hasta el 25%	De 10 a 20%.	De 30 a 45%.	De 30 a 45%.

Fuente: (Homesense, 2020).

3.10.3 VENTAJAS DE LOS TRACKERS SOLARES

Según la tabla que describe las características de cómo trabajan los seguidores solares, todas las trackers reflejan una mejoría en el incremento del rendimiento, por lo tanto, en escenarios económicos y de eficiencia, presentan resultados positivos. Entre las distintas ventajas podemos destacar:

- Rentabilidad: Una instalación de este tipo, puede tener una vida útil de 25 a 30 años, lo cual amortiza la inversión inicial de estos proyectos en un periodo de 5 a 10 años, lo cual reporta una media de 22 años de utilidad.
- Eficiencia: como refleja la tabla, todos los trackers presentan resultados positivos en cuanto a la optimización del rendimiento de la generación de energía, con un índice mínimo de 10% hasta un 45%.
- Localización: Si la instalación se realiza en zonas de alta latitud donde la posición del sol varía drásticamente entre los meses de invierno y verano, un sistema de seguimiento solar en dos ejes puede maximizar la producción solar y generar suficiente potencia para una casa o propiedad, consiguiendo así el autoconsumo. Fuente: (Sotysolar, 2020).

3.10.4 DESVENTAJAS DE LOS TRACKERS SOLARES

Al realizar el análisis una instalación solar sin tecnología de seguimiento solar, se puede escenificar la instalación de este en distintas superficies, tales como puede ser un techo, una cubierta, o incluso una superficie cualquiera, esto gracias a la ligereza y facilidad de instalación de ciertos componentes tales como pueden ser la estructura donde se colocarán los paneles, incluso los mismos paneles permiten que la instalación de estos sea relativamente fácil gracias a la forma de estos. A diferencia de una instalación sin tracking, para realizar una instalación con tracking presenta varios desafíos que puede llevar a pensar que tal vez no sería lo mejor, entre estas desventajas se pueden encontrar, Fuente: (Sotysolar, 2020):

- Costos: los costos aumentarían, debido a la complejidad de los equipos que se necesitarían instalar para el tracking, y aumentarían también los costes de instalación y mantenimiento.

- Mantenimiento: Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento no solo representa un coste una vez se instale, pero antes de esto, en su instalación implica una mayor inversión inicial, lo cual puede llevar a un atraso en la recuperación de la inversión.
- Peso: Los seguidores solares son normalmente pesados, lo cual lleva a descartar totalmente esta tecnología en la instalación de sistemas solares residenciales.

3.11 TECNOLOGÍA *GAMECHANGE* SOLAR

GameChange Solar es una empresa americana y fabricante líder de sistemas de estanterías solares de seguimiento e inclinación fija, con más de 21 GW instalados. Los sistemas *GameChange* combinan instalación rápida y calidad financierable. Estos son capaces de producir piezas de calidad automatizadas con precisión en grandes volúmenes, lo que permite que los costos de procesamiento por pieza sean mínimos. También están diseñados de manera eficiente para minimizar la pérdida de chatarra y reducir aún más el costo de producción. Fuente: (*GameChange* Solar, 2022).

La tecnología fabricada por la empresa *GameChange* Solar es llamada rastreados "*Genius*", los cuales son fabricados de dos maneras:

Sistema 1P con *Speed Clamp*: tecnología que consiste en la instalación de un panel monofacial o bifacial utilizando grapas especiales, los cuales ayudan a realizar la instalación de un módulo solar en menos de 30 segundos.

Sistema 2P con módulos bifaciales: esta estructura permite instalar dos paneles en cada uno del espacio de la estructura.

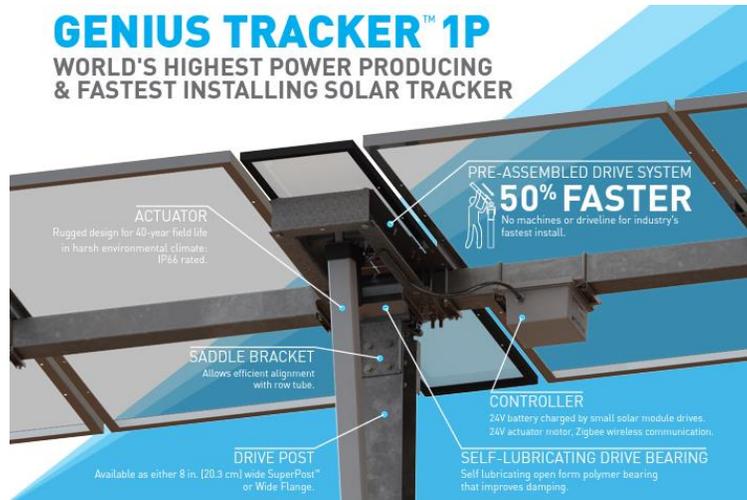


Ilustración 20 – Descripción de los componentes de la tecnología Genius Tracker 1P.

Fuente: (GameChange Solar).

IV.METODOLOGÍA

En este apartado se presentará la metodología empleada en la investigación, la cual incluye segmentos como el enfoque, variables de la investigación, técnicas e instrumentos y materiales utilizados, con el fin de explicar el procedimiento que se realizará para encontrar nuestros resultados finales.

4.1 ENFOQUE

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, esto se debe a que nuestra principal fuente de resultados se basa en recopilar datos numéricos. La investigación se centra en el uso de mediciones objetivas y el análisis estadístico de la información recopilada. En base a los datos analizados y comparados se formularon hipótesis basadas en la investigación.

El tipo de estudio es un estudio experimental, se controlan las variables en una manera preestablecida para realizar los estudios. El estudio tiene un alcance correlacional el cual según Sampieri (2014) este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. La investigación cae en esta categoría ya que probamos la relación entre el albedo y la generación de los paneles.

El estudio tiene un diseño transversal ya que recolectamos datos de un periodo de tiempo específico para realizar la investigación.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

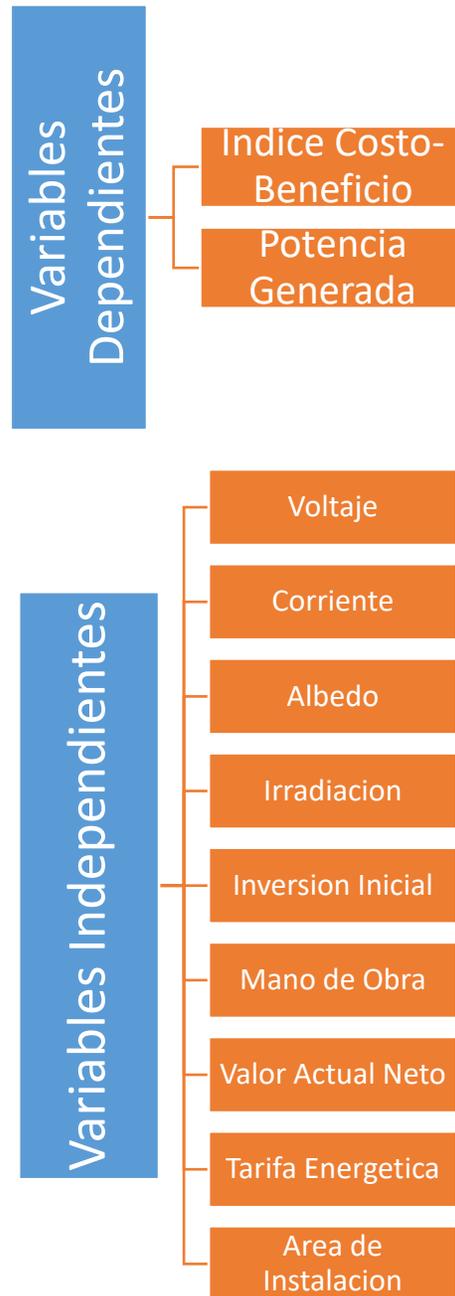


Gráfico 1 – Diagrama de variables dependientes e independientes.
Fuente: (Elaboración propia).

4.2.1 VARIABLES TÉCNICAS

4.2.1.1 *Variables Dependientes*

- Potencia Generada

Cantidad de energía generada por los paneles solares, con influencia de la reflexión provista por los montajes

4.2.1.2 *Variables Independientes*

- Voltaje

Diferencial de potencial eléctrico que existe entre dos puntos, la cual debería de aumentar, dependiendo de la influencia de los albedos.

- Corriente

El flujo neto de carga neta provisto por los paneles en sus cadenas, se espera que aumente influenciada por la influencia de los albedos.

- Albedo

Propiedad que tiene cualquier cuerpo de reflejar una radiación incidente. Cuanto más claro es la superficie de un cuerpo, más capacidad de reflejar la radiación incidente y, por tanto, mayor es su albedo.

- Irradiación

Energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio, la cual influenciara en el albedo, aumentando su reflexión.

4.2.2 VARIABLES ECONÓMICAS

4.2.2.1 *Variables Dependientes*

- Índice Costo-Beneficio

También conocido como índice neto de rentabilidad, y su valor se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos Totales Netos o beneficios Netos entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales. El objetivo de este es determinar si una inversión es rentable o no para una empresa. (Rodrigues, 2021).

4.2.2.2 *Variables Independientes*

- Inversión Inicial

Monto monetario total que será influenciado por las variables dependientes, para el comienzo de la experimentación.

- Mano de obra

Monto o costos que se necesitaran pagar a una cantidad específica de obreros o trabajadores para la instalación o montaje de los materiales.

- Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto es un indicador del cálculo dinámico de la inversión. Los inversores utilizan el VAN para determinar el valor de pagos e ingresos futuros en el momento actual. De esta manera, se pueden comparar importes de diferentes periodos de cálculo y las diferentes oportunidades de inversión se pueden contrastar con respecto a su rentabilidad. (IONOS, 2019).

- Tarifa Energética

Precio al cual la planta solar vende la energía que genera el parque solar, normalmente vendida en un precio por cada kWh.

- Área de la instalación

Área o espacio seleccionado para el montaje de cada uno de los escenarios, que, en este caso, consiste en el área que está por debajo de los paneles solares, o cadenas.

4.3 HIPÓTESIS

A continuación, se presentan las hipótesis formuladas en base a los escenarios que serán montados para el análisis de los diferentes casos.

H₁: En la planta solar de Green Valley, la grava es el mejor material para generar un albedo ya que no requiere mantenimiento y la generación de energía de los paneles es mayor que la del césped verde.

H₂: En la planta solar de Green Valley, las láminas de zinc es el mejor material para generar un albedo ya que tiene poco mantenimiento, una larga vida útil y una mayor generación de energía de los paneles es mayor que la del césped verde.

H₃: En la planta solar de Green Valley, el nylon blanco es el mejor material para generar un albedo debido a su bajo costo, fácil instalación y mayor generación de energía de los paneles es mayor que la del césped verde.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Para desarrollar la experimentación que se realizara en este proyecto de investigación se llevara a cabo una investigación y comparación con distintas tesis que se han realizado anteriormente similares a la que se desarrollara en este proyecto.

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán los distintos programas y softwares que monitorean 24/7 el comportamiento de la planta:

- *NetEco*: programa provisto por el proveedor de los inversores solares que se utilizan en la planta para el monitoreo y control de cada uno de los inversores.
- *Enspire*: software utilizado para la comunicación de las centrales inteligentes con la caseta de control.

Para el análisis costo-beneficio que se realizara, se utilizara el software de Microsoft Excel para la recopilación de los datos monitoreados, donde se muestra el registro de cada uno de los parámetros que se registran en la planta, también se utilizara para realizar los cálculos de cada uno de los escenarios montados en el monitoreo.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La ubicación del desarrollo de este proyecto de investigación es el parque industrial Green Valley, ubicado en el km. 23 de la carretera hacia el occidente en el municipio de Naco, Cortes.



Ilustración 21 – Ubicación del parque industrial Green Valley.

Fuente: (Google Earth, 2022).

Más específicamente, el parque solar ubicado en la parte final del área que abarca la totalidad del parque industrial.



Ilustración 22 – Ubicación parque solar del parque industrial Green Valley.

Fuente: (Google Earth, 2022).

Podemos definir el parque en su totalidad como la población, ya que todo el parque provee la misma información debido a que realizan el mismo trabajo el mismo tiempo.

Nuestra muestra no probabilística será el inversor número 11, más específicamente, las 9 cadenas de este inversor, donde se definirá cuales se utilizarán para realizar el montaje, y cuáles serán utilizadas para realizar la comparación del escenario actual del parque en su totalidad.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para realizar la experimentación, primeramente, se procederá a la elección de los materiales, los cuales tendrán que cumplir con ciertos requisitos para que se puedan utilizar en al área a trabajar, entre los requisitos se tomaran en cuenta:

- Reflectividad alta del material.
- Bajo costos de mantenimiento.
- Accesibilidad de material.
- Costos bajos de material.
- Facilidad de instalación.

Material resistente a condiciones de intemperie.

Los materiales seleccionados para el proyecto de investigación que por cumplir todos los requisitos planteados son:

- Nylon
- Grava
- Láminas de Zinc

Una vez seleccionados los materiales se procederá a realizar la primera visita, la cual tendrá como objetivo elegir el área o cadenas de paneles que se utilizaran para el montaje de los escenarios o albedos. En esta visita también se procederá a tomar mediciones de las áreas que serán utilizadas, esto debido al cálculo de la cantidad de materiales que serán necesarios obtener para el montaje de cada uno de los albedos, una vez realizada la visita, se procederá a realizar una serie de búsqueda de los materiales, buscando factibilidad económica, lo cual influencia en mantener costos bajos en la realización del proyecto.

Con los materiales listos para su instalación, se procederá a instalar los escenarios o albedos en el sitio elegido para la experimentación.

Con los escenarios montados, serán monitoreados 24 horas de una semana entera, buscando resultados reales.

Una vez la semana concluya, se procede a descargar los datos de los softwares utilizados en la planta para el monitoreo del parque solar. Entre estos datos se analizarán variables tales como:

- Potencia generada por los paneles
- Voltaje de los paneles
- Corriente de los paneles
- Temperatura de los paneles
- Irradiación en el área
- Temperatura ambiente del área

Una vez descargados los datos, se procederá a realizar el análisis, realizando una comparación de cada una de estas variables en cada uno de los escenarios montados en el área, tratando de buscar resultados positivos.

Después de realizar las comparaciones, se procederá a realizar los análisis financieros de cada uno de los escenarios, donde se buscarán conclusiones de cuál es el mejor escenario en cuanto a un índice de costo-beneficio.

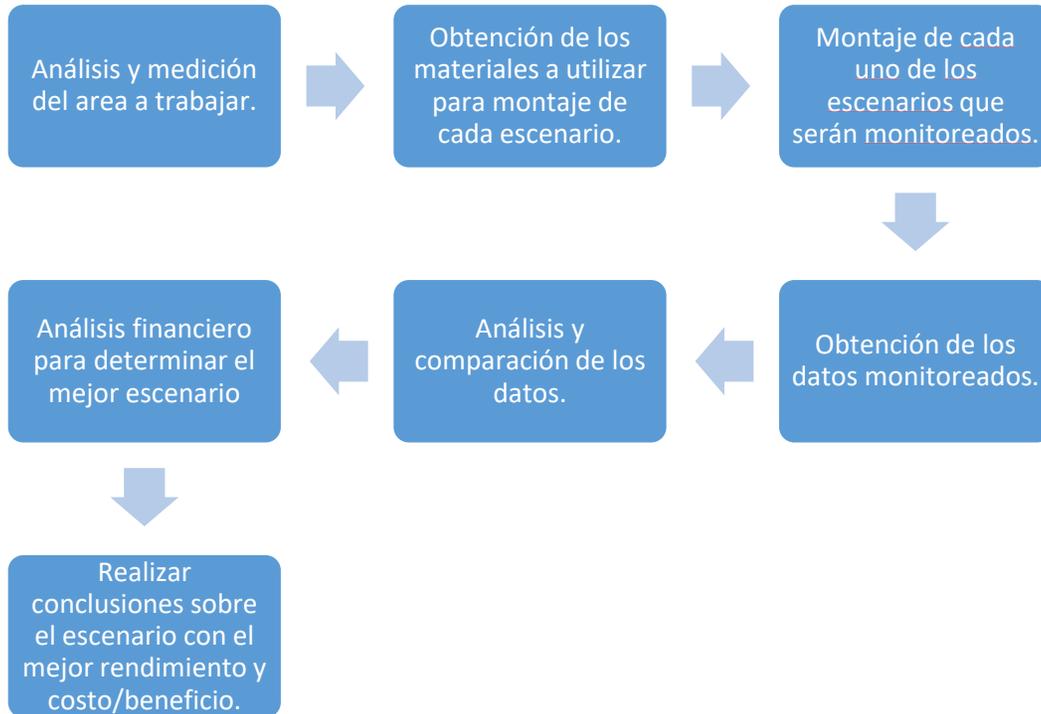


Grafico 2 - Diagrama de Flujo de Actividades
Fuente: (Elaboración propia).

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3 – Cronograma de Actividades.

Actividades para la elaboración del Proyecto de Investigación	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción										
Planteamiento del problema										
Visita al parque										
Marco teórico										
Metodología										
Montaje de materiales										
Recolecta de datos										
Resultados y Análisis										
Análisis económico										
Conclusiones										
Recomendaciones										
Bibliografía										
Anexos										

Fuente: Elaboración Propia.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los análisis hechos después de las visitas al parque y la recolección de datos del equipo de análisis utilizado.

5.1 ANÁLISIS DE LA PLANTA

Antes de poder iniciar el análisis y selección de los materiales es necesario evaluar el estado del terreno sobre el que estaban montados los paneles y el área en la que empezaríamos a realizar los montajes de los escenarios.

5.1.1 TERRENO

El terreno donde se ubican los paneles solares e inversores es un área de tierra mayormente cubierta por césped verde, como se muestra en la Ilustración 23. Las filas de paneles están conformadas por mesas de 70 paneles cada una, dos mesas por fila. Estas mesas están conformadas por dos *strings* de 35 paneles, con varios *strings* conectados a un solo inversor.

No hay espacio suficiente entre las filas de paneles para el paso vehicular por lo cual cualquier vehículo solo puede ser manejado en caminos cerca de las entradas de la planta. Para facilitar el transporte del material se está utilizando una de las filas más cercanas a la entrada de la planta.



Ilustración 23 – Estado del terreno de la planta

Fuente: (Sunergy, 2021)

5.1.2 EQUIPO DE LA PLANTA

El parque solar está compuesto de 22,680 paneles bifaciales de distintas capacidades: 640, 645 y 650 Wp. Todos estos paneles están conectados en cadenas, o como en este proyecto de investigación les llamamos, strings, una cadena de 35 paneles conectados en serie, distribuidas en 324 mesas compuestas de dos strings por mesa, lo cual deja con un total de 70 paneles por mesa.



Ilustración 24 -Segmento de una mesa de paneles solares.

Fuente: (Elaboración propia).

Tabla 4-Descripción del panel solar.

Marca	Canadian Solar
Modelo	BiHiKu7 o CS7N
Potencia Nominal	640, 645 y 650 Wp.
Dimensiones	2.384 m. x 1.303 m.
Tipo de celda	Monocristalina

Fuente: (Canadian Solar).

Todas estas cadenas de paneles están distribuidas en 72 inversores que disponen de una capacidad de 185 kWp en corriente alterna (AC). Cada inversor se compone de 9 cadenas.

Para realizar la experimentación que se realizara en este proyecto, se utilizaran las cadenas del inversor 11, donde se utilizaran 3 cadenas para el montaje de los materiales, y se utilizara una de las restantes para realizar una comparación de rendimiento de un montaje contra el escenario actual de la planta.



Ilustración 25 -Inversor solar utilizado en la planta de generación de energía.

Fuente: (Elaboración propia).

Tabla 5- Descripción del inversor solar.

Marca	Huawei
Modelo	SUN2000-185KTL-H1
Potencia Nominal (AC)	185 kWp
Dimensiones	1.035 m. x 0.700 m. x 0.365m.

Fuente: (Huawei).

5.2 ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS

Al momento de seleccionar los materiales que se utilizaron en la investigación se tomaron en cuenta ciertas cualidades necesarias en estos materiales. Estas cualidades siendo el albedo del material, su disponibilidad, su emisividad y su precio.

La emisividad de un material se define como su capacidad de liberar energía en forma de calor a través de ondas de radiación. Ya que los paneles se ven afectados negativamente por el calor estamos buscando materiales con un bajo índice de emisividad. Esta se mide en un rango de 0 a 1 (Garcia, 2016).

Con la durabilidad nos referimos a la vida útil del material y que tan rápido el material se deteriora o ensucia. Esto es muy importante ya que es necesario que el material mantenga su rendimiento en lo más alto posible ya que los paneles tienen una vida útil de 20 a 25 años y dependiendo de la vida útil del material utilizado este tendrá que ser reemplazado para mantener la generación.

La disponibilidad es importante ya que aun encontrando el material perfecto este no sirve si es un material no accesible o escaso. El material debe tener disponibilidad suficiente para poder cubrir toda la planta y comprar extras en caso de tener que reemplazar material.

El coste es la cualidad que define si el proyecto generara una ganancia de la inversión. Se tiene que tomar en cuenta el costo individual del material y el costo de mantenimiento para realizar los cálculos de inversión.

5.2.1 NYLON

El nylon es un material termoplástico con una decente resistencia y rigidez. Es un material con una gran variedad de usos en piezas mecanizadas y en el hogar gracias a que es un material atóxico con una alta resistencia al desgaste.

Este tipo de material está disponible en ferreterías comunes en forma de rollo plástico. Tiene una buena durabilidad, es fácil de cortar y utilizar. Se puede encontrar en varias formas y colores variados, para nuestro caso escogimos utilizar el color blanco.



Ilustración 26 – Rollo de nylon blanco.

Fuente: (SunView).

Según Alexander (2019) el Nylon que se eligió tiene una durabilidad promedio de 6 años y es de los más utilizados debido a su bajo costo.

Entre sus desventajas se puede mencionar que el material es fácil de dañar al momento de manejarlo y puede romperse fácilmente al momento de la instalación. En el caso de su mantenimiento dependiendo del montaje este material puede terminar acumulando una gran cantidad de sucio y agua de las lluvias por lo cual sería necesario limpiarlo y drenarlo.

Tabla 6 – Descripción del nylon utilizado en el proyecto.

Color	Blanco
Unidad	Yd
Precio/Unidad	16 Lps.
Emisividad	0.89
Albedo	0.51

Fuente: (Elaboración propia).

5.2.2 GRAVA

La grava es un conjunto de piedras pequeñas comúnmente utilizado en obras de construcción y reparaciones. Esta puede ser utilizada para reparar calles, mezclarse con asfalto, rellenar sitios de construcción y se puede usar como componente de otros materiales de construcción como tubos y ladrillos. Su disponibilidad es muy alta ya que es un material fácil de manufacturar, se puede

comprar en empresas bloqueras y ferreterías dependiendo de la cantidad necesaria. La grava puede ser creada de varios diferentes materiales por lo cual se pueden encontrar varios tipos dependiendo del material base. El tipo que escogimos es la grava $\frac{3}{4}$ la cual es del tipo más utilizado en obras.



Ilustración 27 – Grava $\frac{3}{4}$.

Fuente: (Elaboración propia).

La grava tiene el beneficio de que es fácil de instalar, no requiere materiales extras además de los necesarios para transportarla y no necesita mantenimiento. También se puede descartar la necesidad de reemplazarla ya que raramente es necesario realizarle cambios o reparaciones.

Tabla 7 – Parámetros de la grava.

Color	Natural
Unidad	m ³
Precio/Unidad	285 Lps.
Emisividad	0.28
Albedo	0.72

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 LÁMINAS DE ZINC

Las láminas de zinc son un recurso comúnmente utilizado en proyectos de construcción y en edificaciones. Estas laminas son más baratas que otros tipos de láminas de acero, pero con una resistencia similar y buena conducción del calor. Ya que para los techos el peso del material es importante estas laminas son muy livianas, además de muy resistentes a factores como el cambio climático. Gracias a su peso liviano son fáciles de instalar.



Ilustración 28 – Lamina de zinc

Fuente: Elaboración propia

La durabilidad de estas laminas varía dependiendo de la localización y el espesor de la lámina. Las láminas que estamos utilizando tienen una duración estimada de 10 años antes de ser necesario reemplazarlas. (Wanzhi steel, n.d.).

En el caso del mantenimiento estas requieren limpieza por cualquier tipo de sucio que puedan acumular para mantener su rendimiento. Estas laminas se pueden encontrar en ferreterías y su precio depende de las medidas de la lámina.

Tabla 8 – Características de la lámina utilizada.

Color	Natural
Unidad	Láminas de 6 pies
Precio/Unidad	100 Lps.
Emisividad	0.25
Albedo	0.54

Fuente: Elaboración propia

5.3 MONTAJE DE ALBEDOS

En esta sección, se detallará cada paso que se realizó para el montaje de cada uno de los escenarios, desde la medición de las áreas o cadenas a utilizar, obtención de los materiales, hasta cada paso que se realizó para montar cada uno de los materiales. Entre otros detalles se mencionará la cantidad de material utilizada y el total en costos para cada material.

El montaje se realizará utilizando una selección de cadenas del parque, la cual está conectada a la estación inteligente de distribución 1. Se utilizarán los strings número 3, 4 y 5 del inversor 11. Dejando libres el resto de strings, de los cuales uno de ellos será utilizado para realizar la comparación con los distintos escenarios montados en los strings.

Cada uno de los strings tiene una medida de 46 m de largo, con 2.308 metros de ancho, el cual es la medida del largo de los paneles, obteniendo un área total de 105 m².

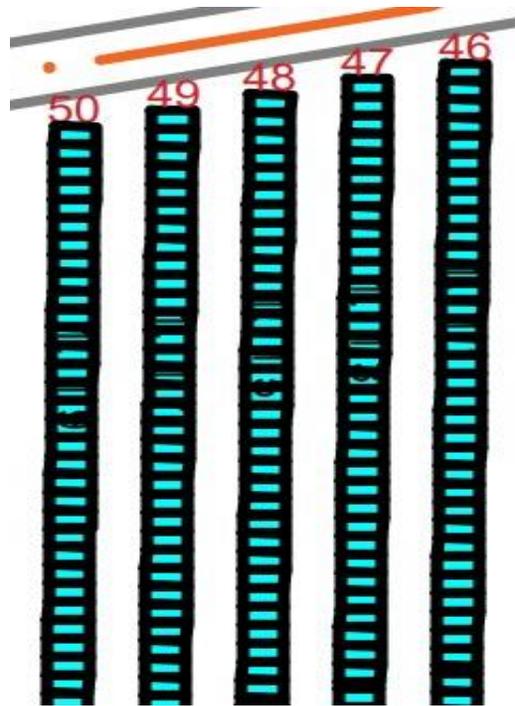


Ilustración 29 – Diagrama de cadenas del inversor 11.

Fuente: (Sunergy, 2021).

5.3.1 MONTAJE DEL NYLON

Para realizar el montaje del nylon se utilizará la parte sur de la mesa 48 del parque, la cual contiene el string número 4 del inversor 11.

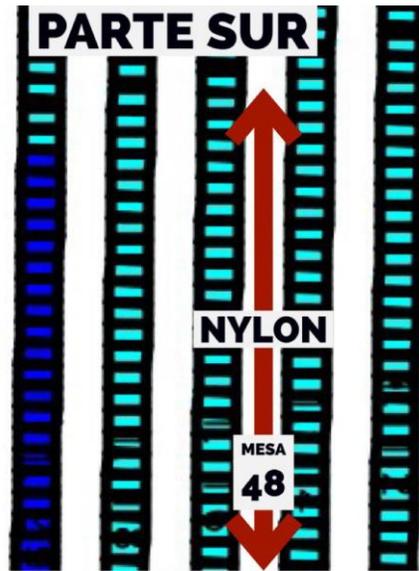


Ilustración 30 – Diagrama colocación del nylon.

Fuente: (Elaboración propia).

El nylon que fue obtenido para el montaje del albedo, es vendido en yardas, y tiene como medida aproximadamente 1.8 m de ancho. Este material es vendido con un dobléz, el cual fue cortado por la mitad para poder abarcar el total del área. Se utilizó un total de 55 yardas de nylon para cubrir un área total de 50m² de nylon. Este cálculo se obtuvo con la medida del largo del string en metros convirtiéndolo a yardas.

$$46 \text{ m.} \times \frac{1.094 \text{ yd.}}{0.9144 \text{ m.}} = 55 \text{ yd.}$$

Formula 1: conversión de metros a Yardas

El precio de cada yarda de nylon, el cual fue comprado a precio de mayoreo gracias al descuento que ofrece el proveedor de L. 1.50 por cada yarda, fue de 14.5 por cada yarda.

$$55 \text{ yd} \times L. \frac{14.50}{\text{yd}} = L. 797.50$$

Formula 2: Cálculo de descuento de precio.



Ilustración 31 – Medición y corte del nylon.

Fuente: (Elaboración propia).

Para la fijación del material en el suelo se utilizaron estacas y clavos, donde debido a los fuertes vientos que soplan en el lugar, se tuvo que colocar una cantidad de 14 estacas en cada uno de los 4 cortes largos de nylon, los cuales tienen una medida de 7 m. cada uno, y 8 estacas en los 2 cortes pequeños para un sostenimiento estable de las lonas de nylon. Se utilizó un total aproximado de 72 estacas en el montaje del string, lo cual es equivalente a la cantidad de clavos utilizada, 72 clavos. Cada estaca se obtuvo a un precio aproximado de L.8 cada una.

$$72 \text{ estacas} \times L. 8.33 = L. 600.00$$

Formula 3: cálculo de gasto en estacas.

Mientras que cada clavo fue obtenido a un precio de L. 0.80 cada uno con un total de 72 comprados para el montaje.

$$72 \text{ clavos} \times L. 0.80 = L. 57.60$$

Formula 3: cálculo de gasto en clavos.

Para realizar el montaje se pagó a dos personas L.400 a cada uno para realizar el trabajo. Se tomó el tiempo en el cual se instalaba el material en el string, que consto de aproximadamente 2 horas.



Ilustración 32 – Fijación del nylon en el suelo.

Fuente: (Elaboración propia).

Tabla 9 – Tabla resumen totales del montaje del nylon.

Descripción	Cantidad	Precio	Precio Total
Nylon	55 yardas	L. 14.50	L. 797.50
Estacas	72	L. 8.33	L. 600.00
Clavos	72	L. 0.80	L. 64.00
Mano de Obra	2	L.400	L. 800.00
		Total Final	L. 2,261.50

Fuente: (Elaboración propia).

5.3.2 MONTAJE DE LA GRAVA

Para el montaje del escenario 2 de la grava, se utilizó la mesa 49 del parque solar, el cual obtiene el string 2 del inversor 11.

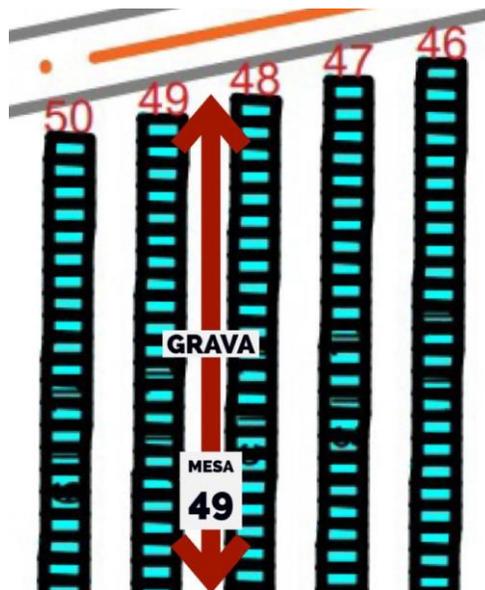


Ilustración 33 – Diagrama montaje de la grava.

Fuente: (Elaboración propia).

La grava es vendida en metros cúbicos (m³). Por lo tanto, se calculó cuantos metros cúbicos de grava se necesitaban para cubrir 100 m² de terreno.

Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$Area (m^2) = \frac{Cantidad\ de\ Grava (m^3)}{Espesor (m)}$$

Formula 4: cálculo de cantidad de grava.

En donde área es igual a 100 m², y espesor es igual a 0.07 m.

Para esta fórmula, se tuvo que despejar para cantidad de grava, lo cual da como resultado:

$$Cantidad\ de\ grava (m^3) = Area (m^2) \times Espesor (m) = 100 \times 0.07 = 7 m^3$$

Formula 5: despeje de la fórmula 4.

En total, se utilizaron 7 m³ de grava ^¾ con un grosor de 0.7 m para cubrir el área debajo de los paneles.

El costo de la grava fue de L. 285.00 por cada metro cubico, más el costo por el flete de la volqueta que la transporte hasta el parque solar, que fue de L. 1,500.00.



Ilustración 34 – Montaje de la grava.

Fuente: (Elaboración propia).

El costo de la grava fue de L. 285.70 por cada metro cubico, más el costo por el flete de la volqueta que la transporte hasta el parque solar, que fue de L. 1,500.00.

Se colocó la grava con un ancho de 8 pies por debajo de los paneles. Se pagó a dos trabajadores el día por la colocación de la grava. El tiempo aproximado para la colocación de la grava fueron de 3 a 4 horas, que es aproximadamente medio día de trabajo.

Tabla 10 – Tabla resumen del montaje de la grava

Descripción	Cantidad	Precio	Precio Total
Grava	7 m ³	L. 285.70	L. 2,000.00
Flete	1	L. 1,500.00	L. 1,500.00
Mano de Obra	2	L.400	L. 800.00
		Total Final	L. 4,300.00

Fuente: (Elaboración propia).

5.3.3 MONTAJE DE LAS LÁMINAS DE ZINC

Para el montaje del último escenario, donde se colocaron las láminas de zinc, se utilizó el string número 3 del inversor 11.

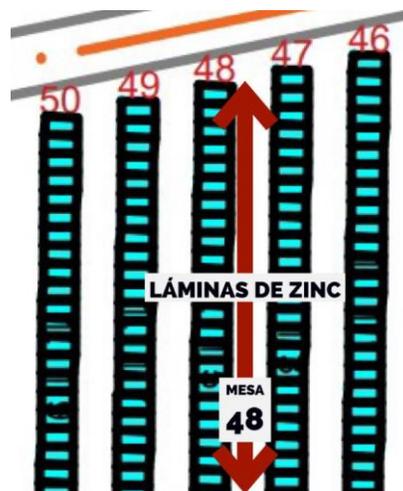


Ilustración 35 – Diagrama de montaje de láminas de zinc.

Fuente: (Elaboración propia).

Debido al alto precio de las láminas de zinc, se utilizó otro parámetro para cubrir el área debajo de los paneles, en donde se estableció el uso de una lámina por panel, para mantener costos

bajos, pero gracias a sus propiedades altas de albedo y emisividad, podemos tomar el riesgo de no cubrir toda el área. Las dimensiones de las láminas son de 1.82 m. x 0.81 m.

Cada una de las láminas de zinc se obtuvo a un precio de L. 99.44 cada una. Con un total de 35 láminas compradas para el montaje. Para transportarlas se utilizó transporte personal.

Para el montaje de las láminas, se utilizaron estacas y tornillos punta de broca para mantener las láminas con un sostenimiento fuerte al piso, debido a que en el lugar corren fuertes vientos que podían moverlas en caso de que no estuvieran bien sostenidas.

Se colocaron 4 estacas con 4 tornillos, colocando una en cada esquina de la lámina, y taladrando el tornillo por encima de la lámina para que quedara fuertemente sostenida en la estaca que esta clavada en el piso.



Ilustración 36 - Sostenimiento de las láminas.

Fuente: (Elaboración propia).

Para realizar el trabajo se pagó el día a dos trabajadores para que realizaran el trabajo. Se tomó el tiempo en el cual realizaron el trabajo donde se colocaron las 35 láminas en aproximadamente 1 hora.



Ilustración 37 – Colocación de las láminas.

Fuente: (Elaboración propia).

Tabla 11 – Tabla resumen del montaje de las láminas.

Descripción	Cantidad	Precio	Precio Total
Láminas de zinc	35 unidades	L. 99.44	L. 4,002.46
Tornillos punta de broca	140	L. 1.20	L. 164.00
Estacas	140	L. 8.33	1,166.20
Mano de Obra	2	L.400	L. 800.00
		Total Final	L. 6,132.66

Fuente: (Elaboración propia).

5.4 EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO DE LOS ESCENARIOS

Al finalizar los procedimientos de los montajes de nylon, grava y láminas, donde se aseguró un montaje seguro donde los materiales que cuentan con una menor garantía de fijación, tales como el nylon y las láminas, se procedió a dejar los montajes por una semana, en donde gracias a los softwares y controladores de la caseta de control, se realizó un registro de parámetros importantes de rendimiento en los strings utilizados para la experimentación.

Los registros de datos fueron monitoreados por el software NetEco, donde se registraron los diferenciales de voltaje y corriente entre los distintos strings con sus respectivos montajes de albedo.

El parque solar cuenta con un horario de encendido y apagado, donde cada día se enciende a las 5:25 a.m. y se apaga a las 6:35 pm. Con un total de 13 horas y 10 minutos de funcionamiento diario.

El monitoreo y registro de datos se realizó desde el 12-08-2022 hasta el 18-08-2022.

Para el muestreo de los resultados y el comportamiento de los strings en cuanto a potencia, se utilizó el día 15-08-2022, el cual presento un registro de datos altos, y el día 17-08-2022, el cual fue el día con el registro de datos con cantidades más bajas. Esto con el objetivo de mostrar los resultados con brevedad.

Los registros de generación de energía serán presentados en totalidad por día.

5.4.1 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESCENARIO NYLON VS GRAMA

Para el escenario donde se compara el escenario del albedo con montaje de nylon y el escenario actual, que consiste en grama natural, se refleja un patrón equitativo del voltaje generado por el nylon (PV12), en comparación al escenario de grama natural (PV16), pero donde el string el nylon genera un mayor voltaje.

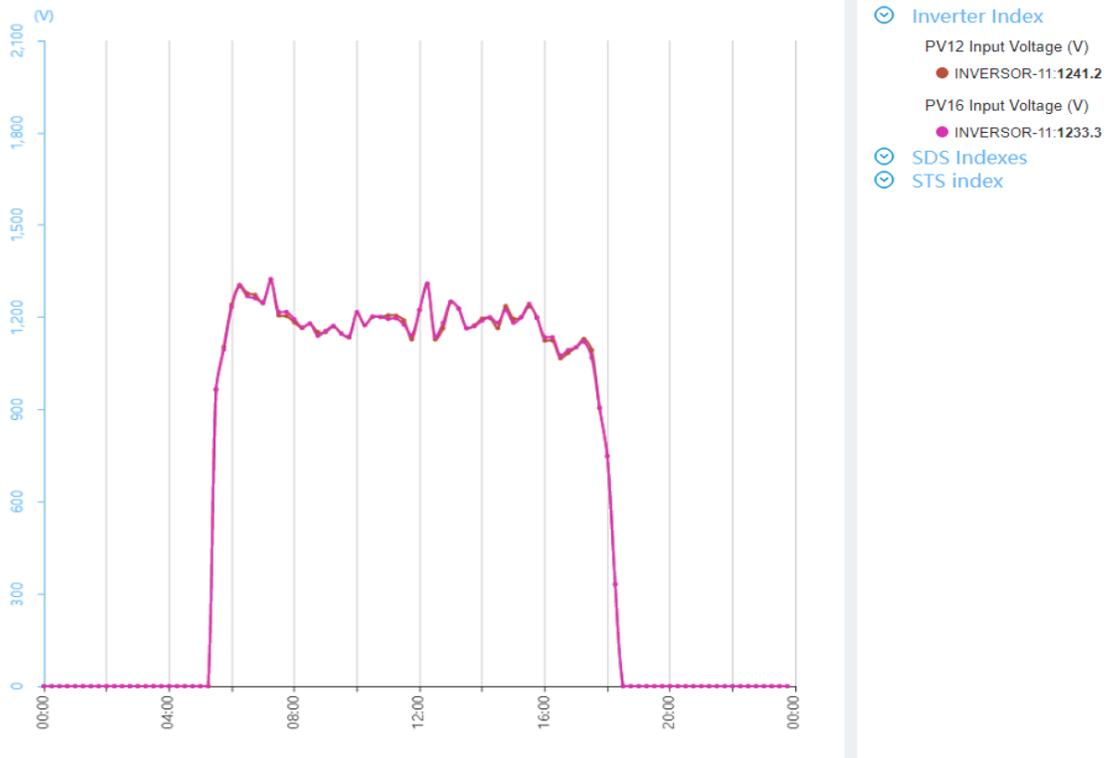


Gráfico 3- Comparación de voltaje del escenario Nylon vs Grama.

Fuente: (Sunergy, 2022).

El comportamiento de las corrientes, es casi equitativo igual que en el comportamiento de los voltajes, con la diferencia que es horas específicas, el comportamiento de corrientes del escenario de nylon (PV12), registra picos más altos de amperaje en comparación al escenario de grama natural (PV16).

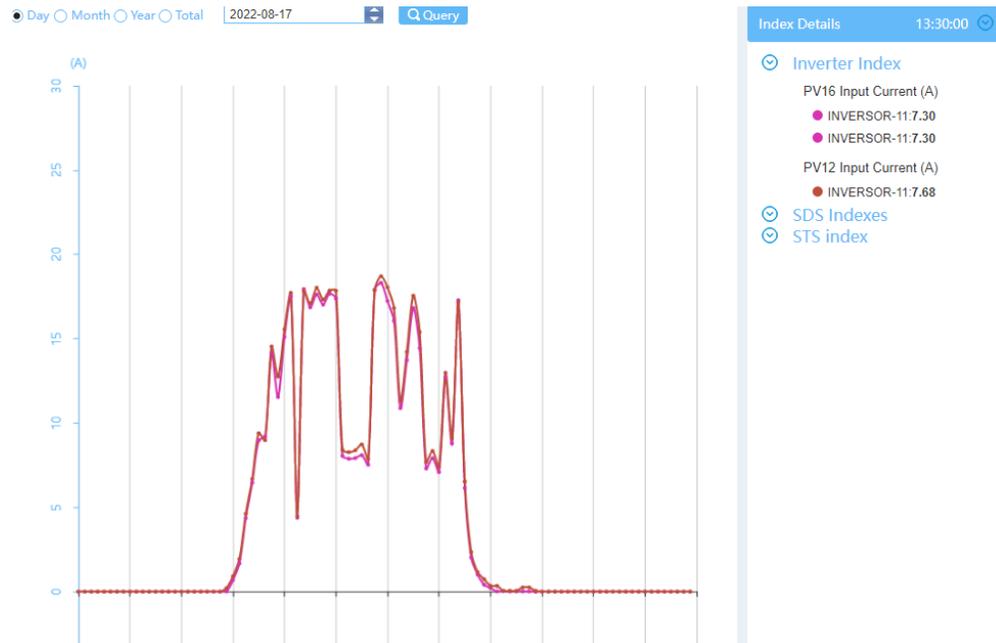


Gráfico 4 – Comparación de corrientes del escenario nylon vs grama.

Fuente: (Sunergy, 2022).

En el registro del comportamiento del mejor día de generación, el escenario del montaje del nylon, refleja una diferencia notable en cuanto a potencia, en donde el pico más alto de potencia del nylon fue de 243.70 kW, mientras que el pico más alto de potencia del escenario con grama fue de 240.50 kW.

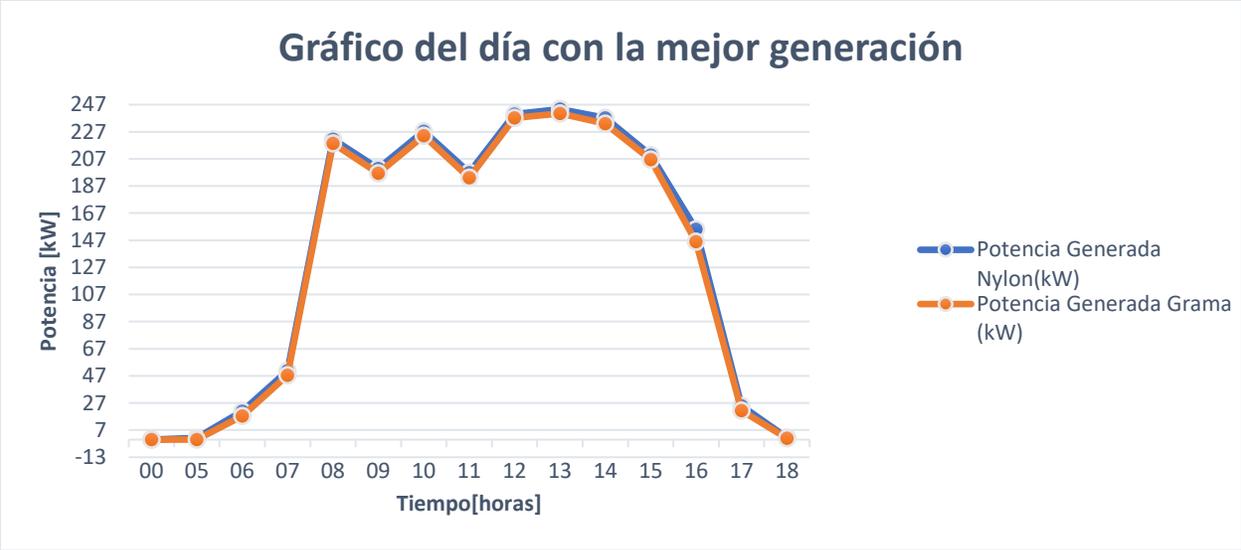


Grafico 5 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario nylon vs grama.

Fuente: (Elaboración propia).

En el peor caso, el comportamiento del escenario del montaje de nylon, presento un pico de potencia de 201.417 kW, mientras que el pico más alto del escenario con la grama fue de 196.55 kW.

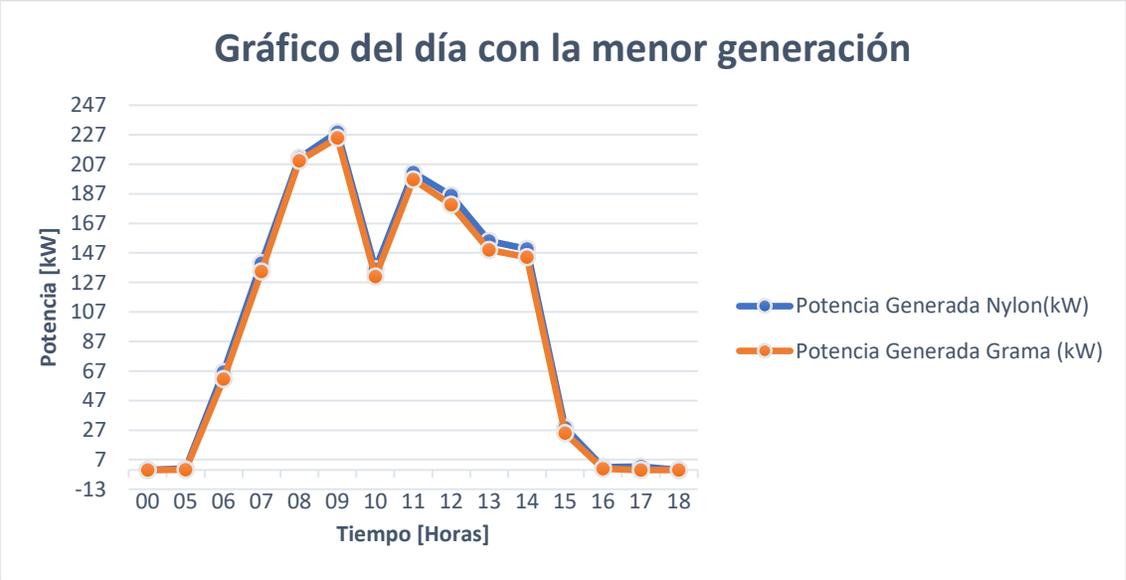


Grafico 6 – Grafico comportamiento peor caso del escenario nylon vs grama.

Fuente: (Elaboración propia).

5.4.2 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESCENARIO GRAVA VS GRAMA

En el escenario donde se compara el string de grava (PV14) y el de grama (PV16) se puede notar que en ciertos puntos del día el string de grama genera una cantidad de voltaje similar a la que genera la grava excepto en ciertos picos durante el día en el que la grava cae por debajo de la generación de voltaje de la grama.

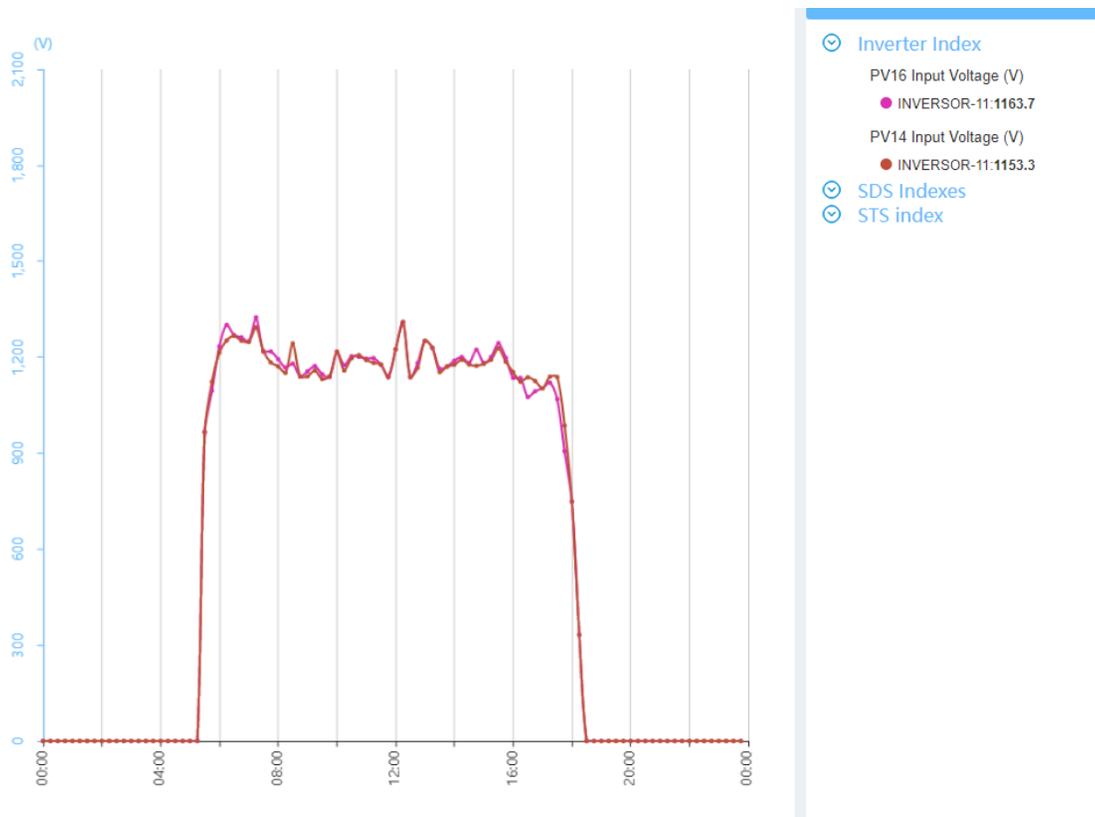


Gráfico 7 - Comparación de voltaje del escenario Grava vs Grama.

Fuente: (Sunergy, 2022).

En el caso del amperaje se presentan comportamientos similares a los del voltaje. La grava(PV14) durante los aumentos o reducciones de amperaje la grava mantiene un número igual que el de la grama(PV16), pero no logra alcanzar el punto más alto de generación de esta.

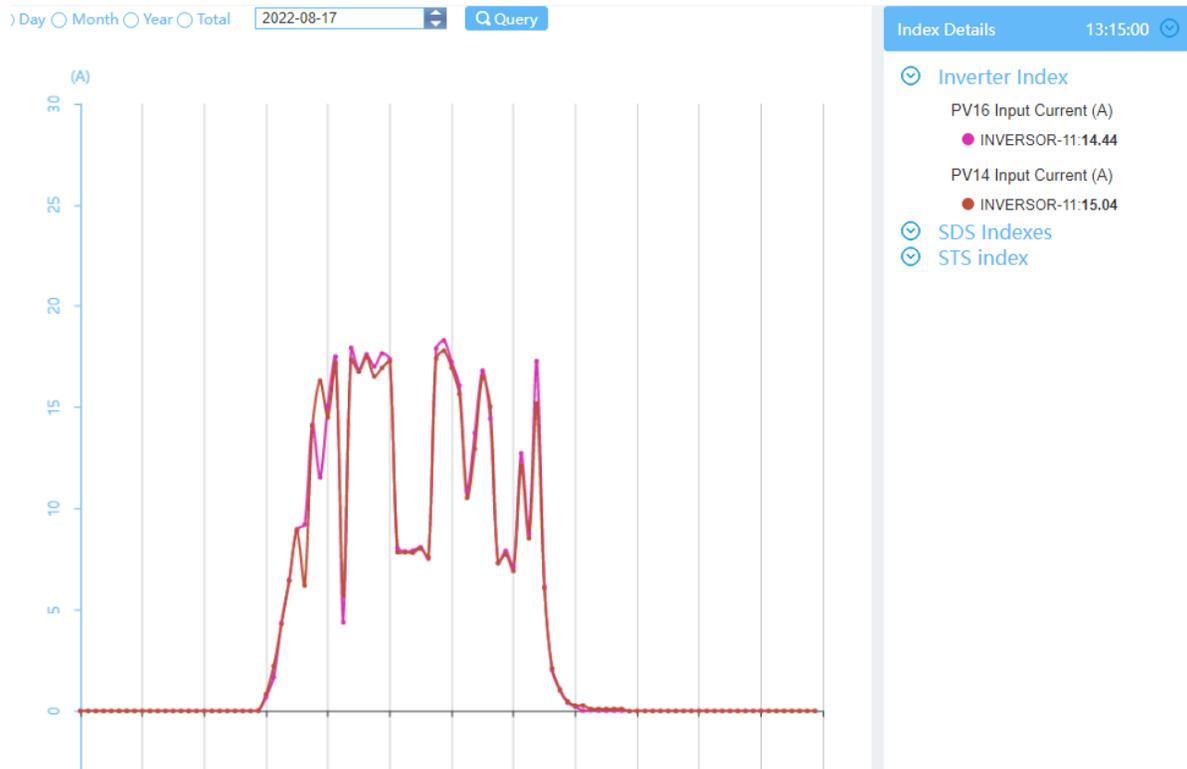


Gráfico 8 - Comparación de amperaje del escenario Grava vs Grama.
Fuente: (Sunergy, 2022).

Al igual que con el escenario del nylon, utilizando el registro de datos de los voltajes y las corrientes, se realizó el cálculo de la potencia generada durante el día.

En el registro del comportamiento del mejor día de generación, el escenario del montaje de la grava, refleja una diferencia notable en cuanto a potencia, en donde el pico más alto de potencia de la grava fue de 232.80 kW, mientras que el pico más alto de potencia del escenario con grama fue de 240.50 kW.

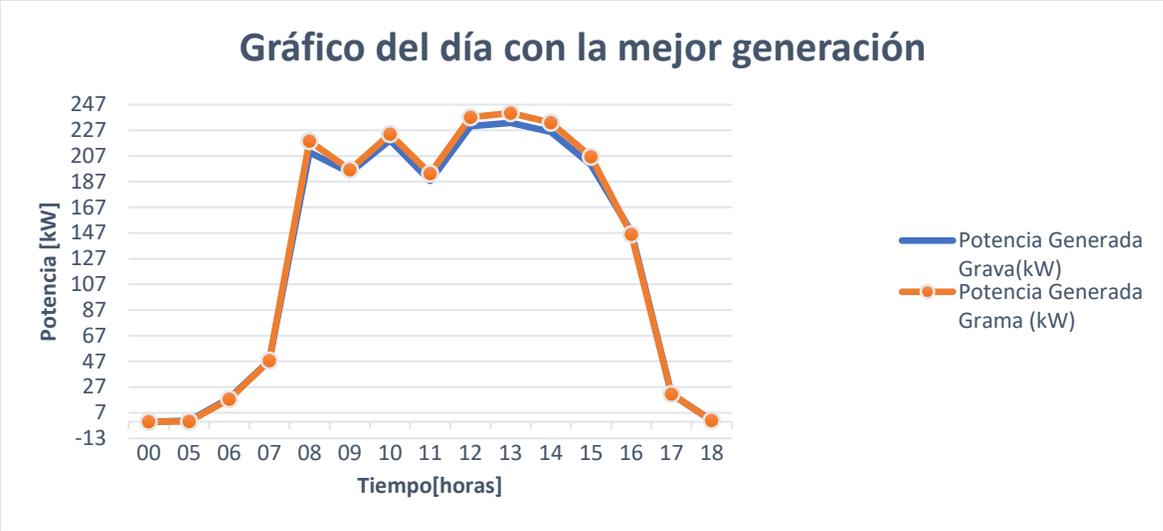


Grafico 9 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario grava vs grama.

Fuente: (Elaboración propia).

En el peor caso del escenario grava vs grama, la grava presento un pico de 218.12 kW y el pico de potencia de la grama fue 224.89 kW.

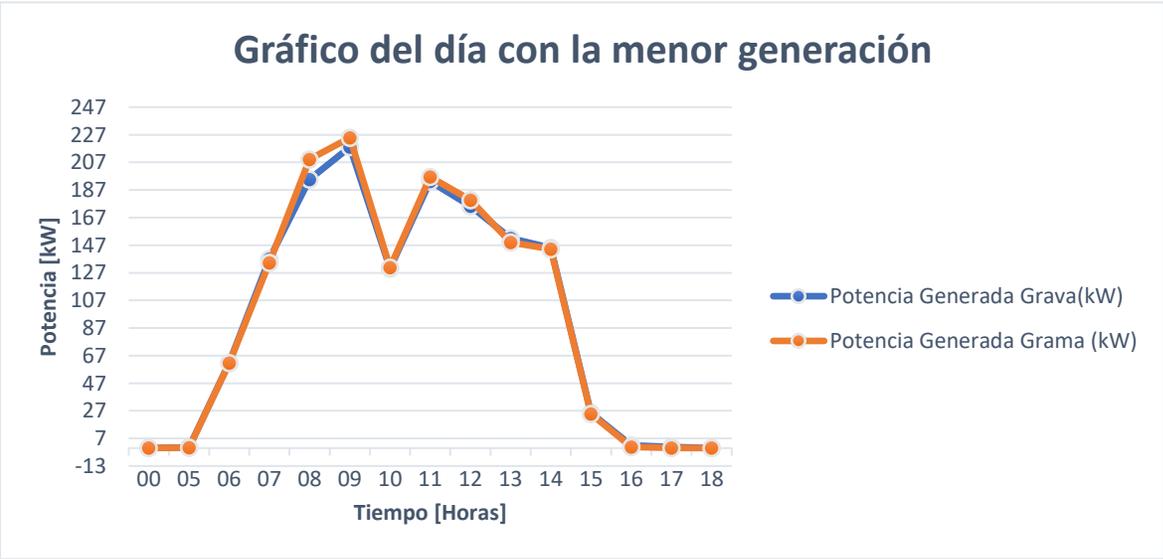


Grafico 10 – Comportamiento de potencia del peor caso del escenario grava vs grama.

Fuente: (Elaboración propia).

5.4.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESCENARIO LAMINAS VS GRAMA

En el escenario donde se compara el string de las láminas (PV10) y el de grama (PV16) la cantidad de voltaje generado por ambos casos es casi pareja por lo cual no se puede notar mucha diferencia en el gráfico.

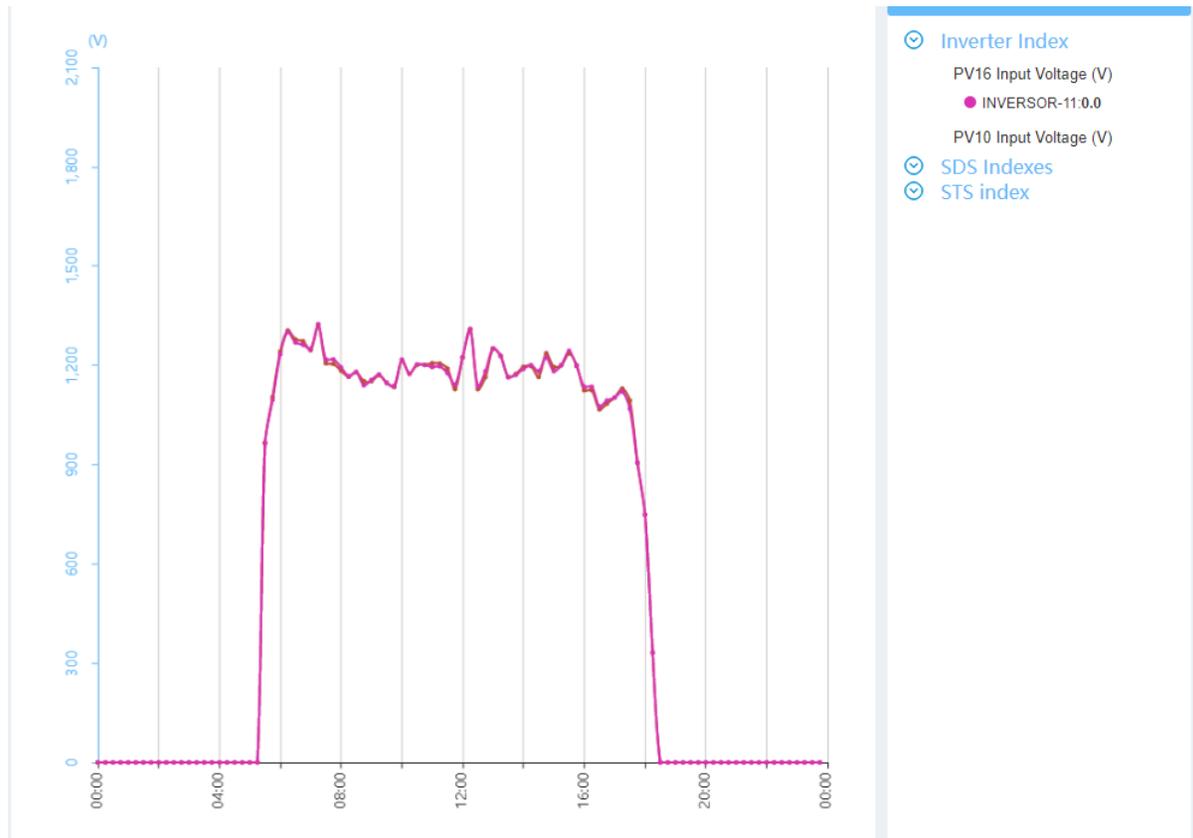


Gráfico 11 - Comparación de voltaje del escenario laminas vs Grama.

Fuente: (Sunergy, 2022).

En la generación de amperaje del escenario laminas (PV10) vs grama (PV16) en varios picos del día las láminas tienen un mayor amperaje que la grama aun en puntos de baja generación.

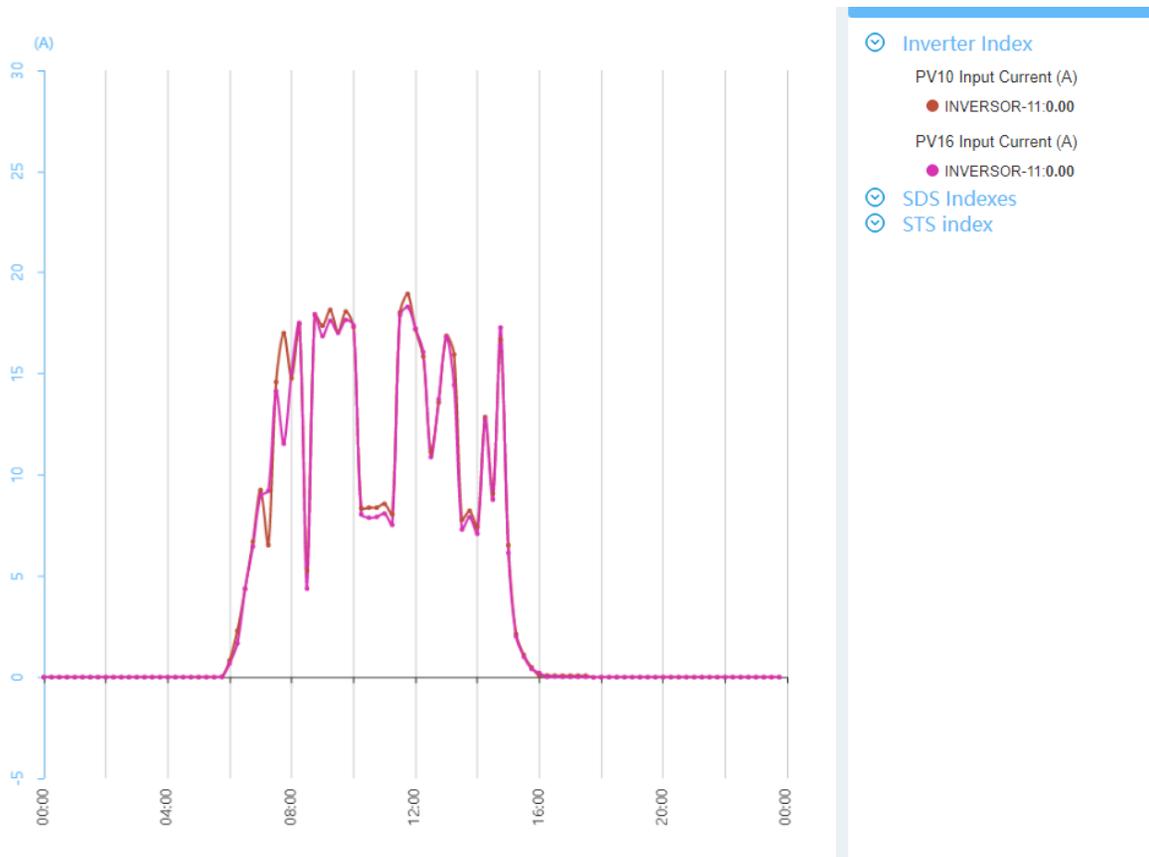


Gráfico 12 - Comparación de amperaje del escenario laminas vs Grama.
 Fuente: (Sunergy, 2022).

En el caso de la potencia generada, la generación de las láminas es levemente mayor que la generación de la grama. El pico más alto de generación de las láminas fue de 245.8 kW comparado a los 240.5 kW de la grama.

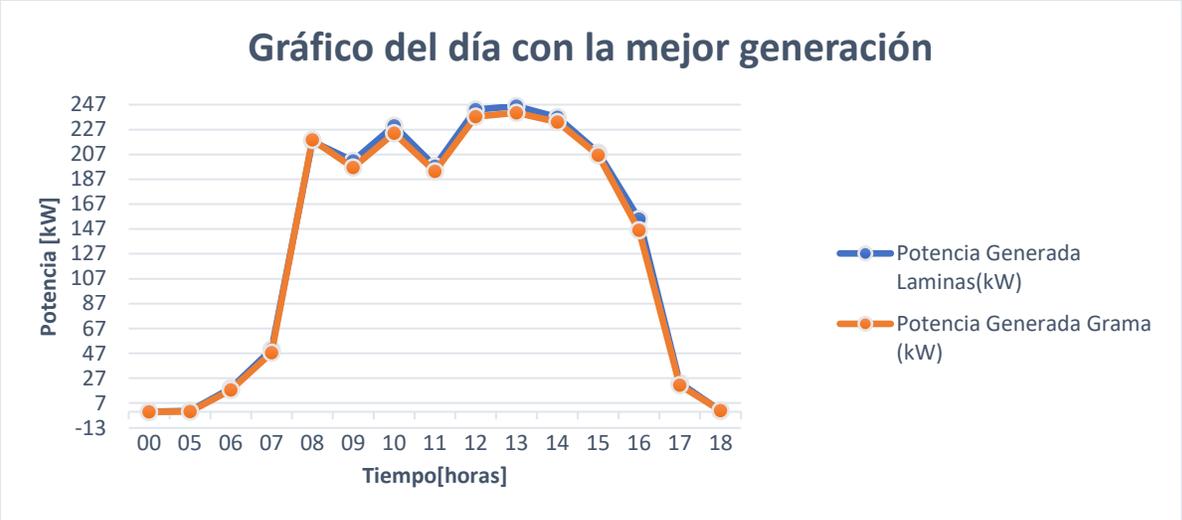


Grafico 13 – Comportamiento de potencia del mejor caso del escenario laminas vs grama.
Fuente: (Elaboración propia).

En el peor caso, el comportamiento del escenario del montaje de láminas, se presentó un pico de potencia de 228.28 kW, mientras que el pico más alto del escenario con la grama fue de 224.89 kW. Puede notarse que en ciertos puntos la grama logro una generación mayor que la de las láminas.

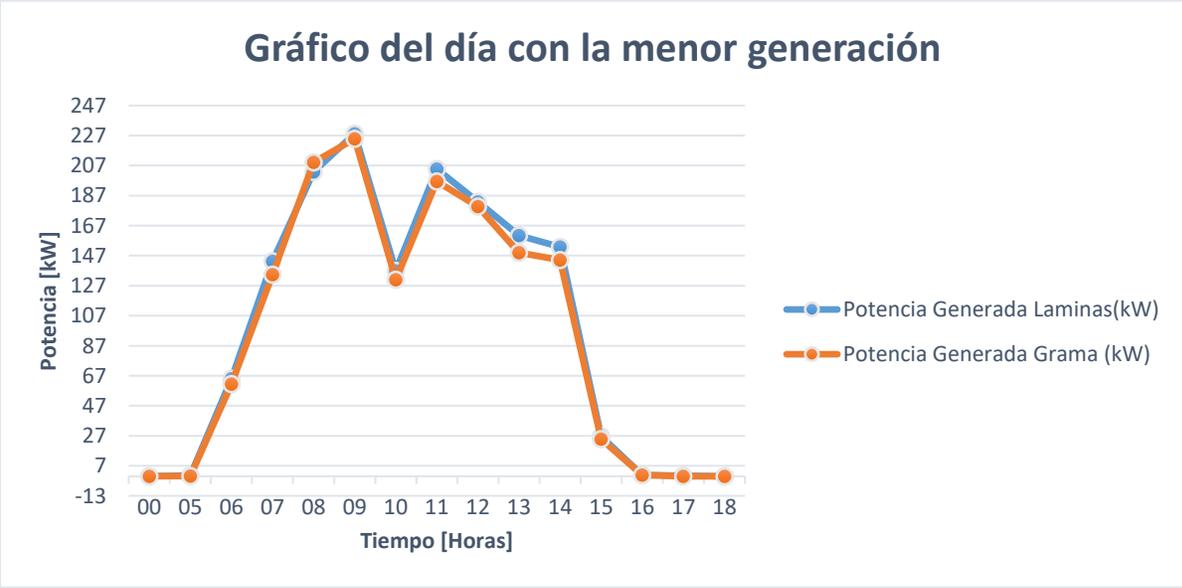


Grafico 14 – Comportamiento de potencia del peor caso del escenario laminas vs grama.
Fuente: (Elaboración propia).

5.5 ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE CADA ESCENARIO

Con los datos obtenidos de generación de voltaje y amperaje se realizaron cálculos para graficar la generación de potencia de cada escenario a lo largo de los días con la mayor y menor generación.

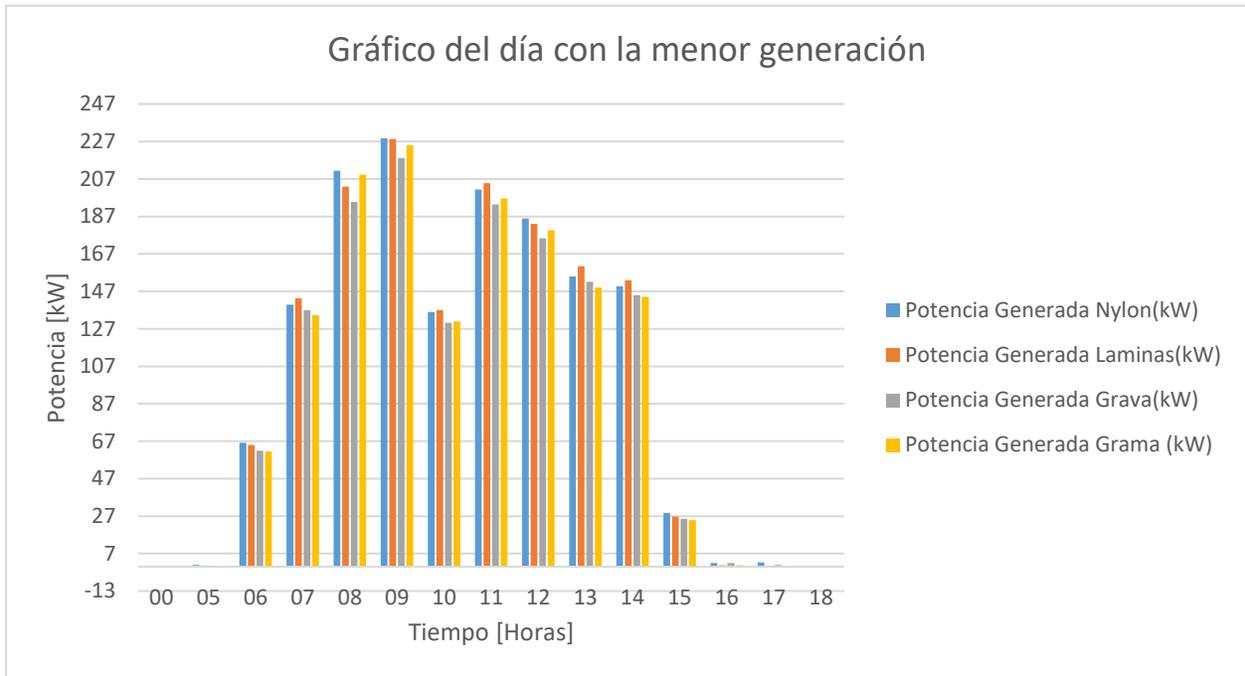


Gráfico 15 – Día con la menor generación

Fuente: (Elaboración propia).

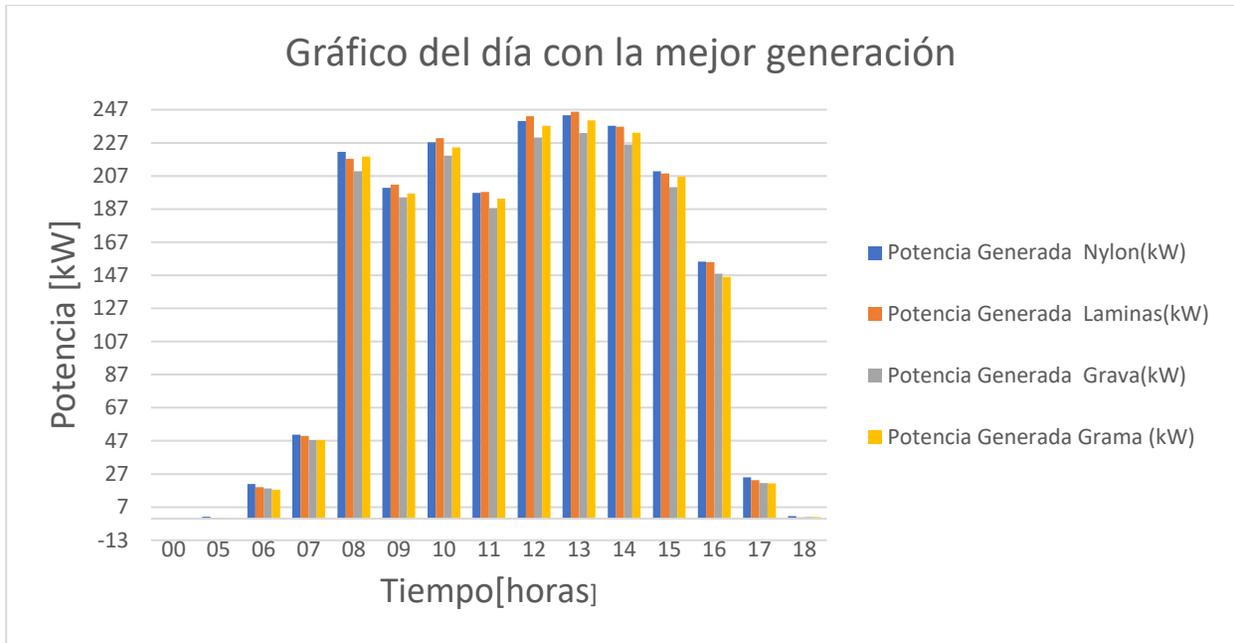


Gráfico 16 – Día con la mejor generación
Fuente: (Elaboración propia).

5.6 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN EN RENDIMIENTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

En la siguiente tabla se reflejan las cantidades totales de energía generada por cada uno de los albedos en los strings:

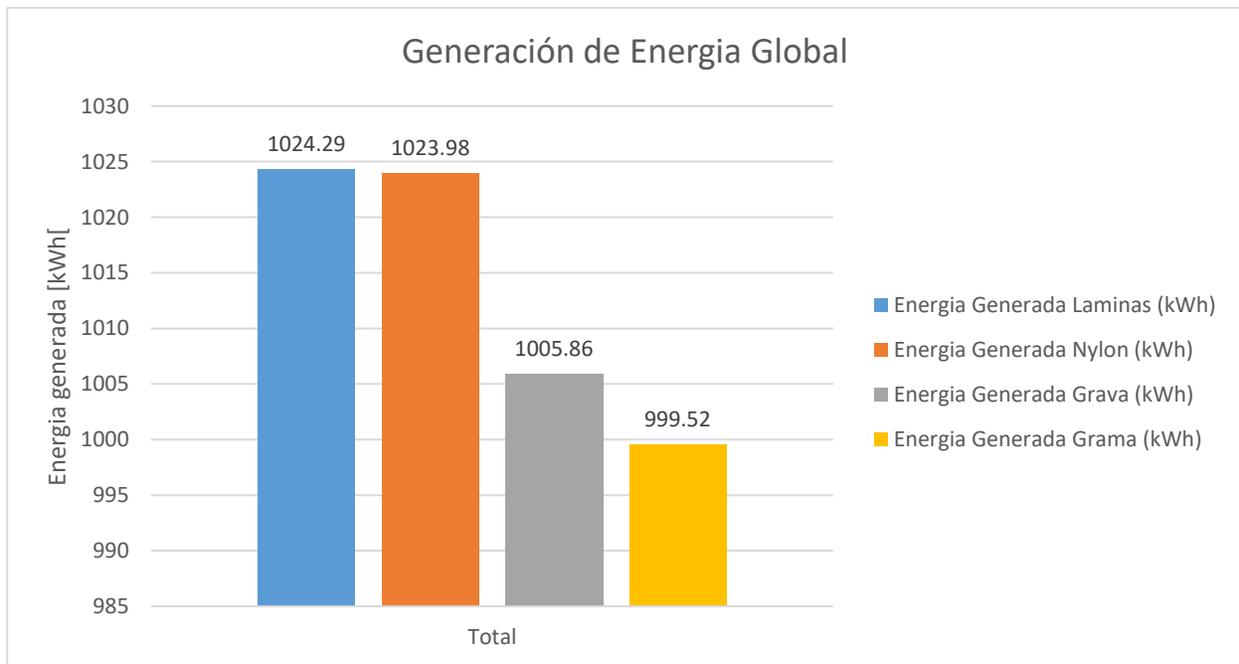


Gráfico 17 – Generación de energía total del monitoreo con cada albedo.
Fuente: (Elaboración propia).

Como se proyectaba, los montajes de los albedos reflejaron un efecto positivo en comparación al escenario actual de la planta, el cual refleja la cantidad de energía generada más baja.

Con el objetivo de entender el comportamiento de la generación de los strings, en la siguiente tabla se reflejan los efectos que estos materiales tuvieron en los strings cada uno de los días:

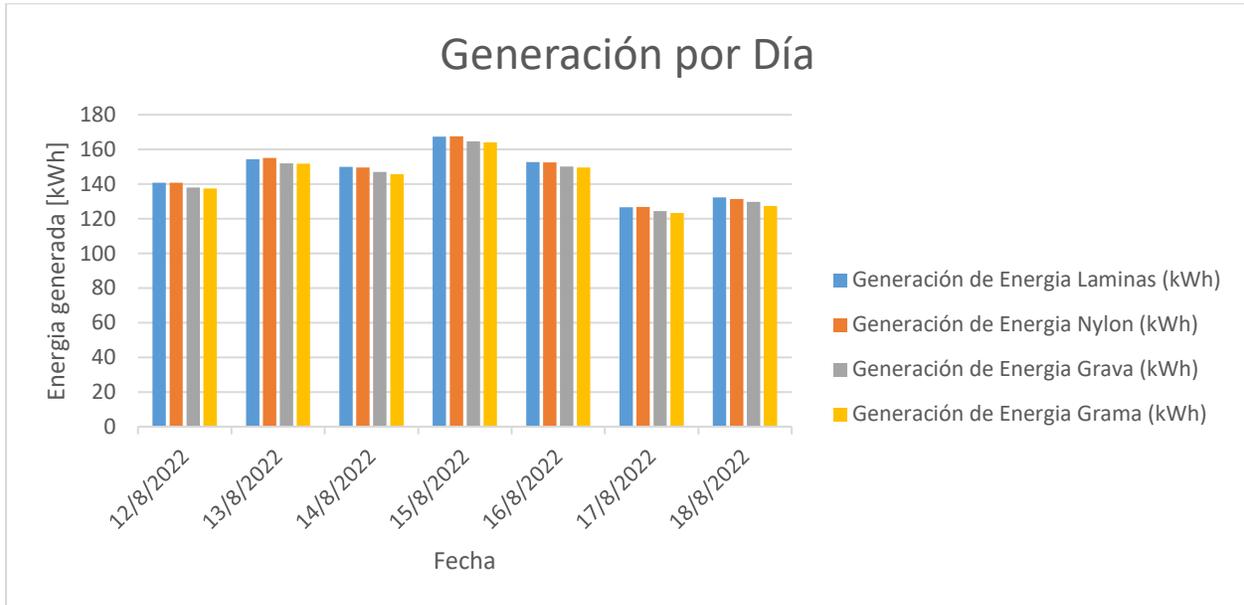


Gráfico 18 – Generación de energía por día con cada albedo.

Fuente: (Elaboración propia).

La tabla refleja la diferencia de cada uno de los días, en donde el 15/8/22 fue el día con más generación mientras que el día 17/8/22 fue el día con menos generación, los cuales fueron utilizados de referencia anteriormente, para realizar las comparaciones de los comportamientos de los strings con sus respectivos albedos.

Es importante realizar el desglose por cada uno de los días, debido a las diferencias de generación de energía que existe en cada uno de los días monitoreados. Esto es un indicio de lo importante que es realizar el monitoreo por periodos extensos de día, debido a que los días del recurso solar u otros factores, afectan el rendimiento de los paneles, y de la cantidad de reflexión de cada uno de los materiales.

En la siguiente tabla, se resumen las cantidades de energía que se generó por día.

Tabla 12 – Generación total de la energía por día.

Etiquetas de fila	Generación de Energía Grama (kWh)	Generación de Energía Grava (kWh)	Generación de Energía Nylon (kWh)	Generación de Energía Laminas (kWh)
12/8/2022	137.44	138.07	140.84	140.78
13/8/2022	151.77	151.93	155.18	154.38
14/8/2022	145.78	146.96	149.59	149.89
15/8/2022	164.13	164.71	167.58	167.44
16/8/2022	149.66	150.08	152.48	152.76
17/8/2022	123.39	124.35	126.84	126.66
18/8/2022	127.35	129.76	131.47	132.38
Total general	999.52	1005.86	1023.98	1024.29

Fuente: (Elaboración propia).

Con un total de 1024.29 kWh generados en los 7 días de funcionamiento de la planta solar, las láminas generan una mejora en rendimiento, mientras que el albedo montado con nylon se acerca a la cantidad generada por la laminas con una diferencia de 0.31 kWh, lo cual es mínimo, comparado a la diferencia de costos que existe entre los dos materiales. Mientras tanto la grava genero solo 6.34 kWh más que el escenario actual

En la tabla 14, que se muestra a continuación, se resumen los diferenciales entre la grama y cada uno de los albedos montados en los strings, y el porcentaje de mejora de cada uno de estos:

Tabla 13 – Diferencial de energía y mejora de rendimiento de los escenarios montados.

Escenario	Diferencial de Energía generada (kWh)	Mejora de rendimiento (%)
Nylon	24.46	2.45%
Grava	6.34	0.63%
Laminas de zinc	24.77	2.48%

Fuente: (Elaboración propia).

5.7 ANÁLISIS FINANCIERO

En este segmento del informe, se detallarán los resultados finales del análisis financiero realizado para cada uno de los albedos montados en el área.

5.7.1 ESCENARIO NYLON

A continuación, se detallan las cantidades del material y las cantidades de los otros materiales que serán necesarios para la instalación del material en todo el parque solar, más el costo de mano de obra por hora y la cantidad de horas que se requerirán para la instalación del mismo asumiendo la utilización de 8 trabajadores para la instalación del material con un costo de \$0.20 la hora por trabajador. Se detallan los años útiles del material y la cantidad de reemplazos que se realizaran durante la vida útil del montaje.

Tabla 14 – Desglose cantidades de la inversión inicial del escenario de nylon.

Costos de la inversión		
Descripción	Unidad	Cantidad
Vida útil del montaje	Años	25
Cantidad de mesas	Unidades	324
Cantidad de strings	Unidades	648
Cantidad de nylon por string	Yardas	55
Cantidad de estacas por string	Unidades	72
Cantidad de clavos por string	Unidades	72
Cantidad total de nylon	Yardas	35,640
Cantidad total de estacas	Unidades	46,656
Cantidad total de clavos	Unidades	46,656
Cantidad de trabajadores	Personal	8
Costo de mano de obra por hora	Dólares	\$2.20
Tiempo de instalación por mesa	Horas	2
Tiempo total de instalación	Horas	162
Duración de la instalación	Días	20.25
Aumento de tarifa	Porcentaje	1.00%
Vida útil del material	Años	6
Reemplazo de material en vida útil del proyecto	Reemplazos de material	3

Fuente: (Elaboración propia).

En la tabla 16, que se muestra a continuación, se especifican los datos de entrada para realizar el análisis:

En nuestros parámetros de entrada, se toma con un valor de \$0.10 cada kWh que la empresa genera con un incremento anual escalonado del 1%. Para las proyecciones de generación, se utiliza la generación anual en el peor caso, con el objetivo de realizar un análisis con ganancias aseguradas.

Tabla 15 – Parámetros de entrada para el análisis financiero del nylon.

Entradas	
Tarifa eléctrica [\$/kWh]	\$ 0.10
Incremento de tarifa [%]	1%
Generación primer año peor caso [kWh]	815994
Degradación anual de los paneles [%]	0.5%
Inversión en materiales [\$]	\$ 38,301.34
Costo de mano de obra [\$]	\$ 2,632.65
Total inversión inicial [\$]	\$ 40,933.99

Fuente: (Elaboración propia).

Los datos de la tarifa eléctrica y del escalonamiento, fueron provistos por la empresa Sunergy, la cual es la encargada de establecer los precios de venta de energía.

5.7.2 ESCENARIO GRAVA

Al igual que en el escenario de nylon, los parámetros de mano de obra son constantes para todos los escenarios, la variación dependerá sobre todo en la unidad y cantidades de material a utilizar y el rendimiento de instalación del material. En el caso de la instalación de la grava, como se muestra en la tabla 17, requiere menos parámetros debido a que solo es necesaria la materia prima sin necesidad de realizarle ajustes para sostenimiento.

Tabla 16 – Desglose de cantidades del escenario de grava.

Desglose de inversión		
Descripción	Unidad	Cantidad
Vida útil del proyecto	Años	25
Cantidad de mesas	Unidades	324
Cantidad de strings	Unidades	648
Cantidad de grava por string	m ³	7
Cantidad total de grava	m ³	4536
Cantidad de trabajadores	Personal	8
Precio de mano de obra por hora	Dólares	\$ 2.20
Tiempo de instalación por mesa	Horas	0.5
Tiempo total de instalación	Horas	648
Días de instalación	Días	81

Fuente: (Elaboración propia).

Para los parámetros de entrada en el análisis de este escenario, se mantienen las mismas constantes en el precio de la tarifa y el escalonamiento de la tarifa anual, con la misma proyección en la degradación de los paneles.

Tabla 17 – Parámetros de entrada para el análisis financiero de la grava

Entradas	
Tarifa eléctrica [\$/kWh]	\$ 0.10
Incremento de tarifa [%]	1%
Generación primer año peor caso [kWh]	227059.20
Degradación anual de paneles [%]	0.5%
Inversión en materiales [\$]	\$ 52,521.33
Costo de mano de obra [\$]	\$ 10,530.59
Total inversión inicial [\$]	\$ 63,051.92

Fuente: (Elaboración propia).

5.7.3 ESCENARIO LÁMINAS DE ZINC

Como en los escenarios anteriores, los costos de mano de obra y la cantidad de trabajadores siguen siendo constantes gracias a la disponibilidad de estos en el parque.

Tabla 18 – Desglose de cantidades del escenario de láminas.

Desglose de la inversión		
Descripción	Unidad	Cantidad
Vida útil del proyecto	Años	25
Cantidad de mesas	Unidades	324
Cantidad de strings	Unidades	648
Cantidad de láminas por string	Unidades	35
Cantidad de estacas por string	Unidades	140
Cantidad de tornillos por string	Unidades	140
Cantidad total de laminas	Unidades	35,640
Cantidad total de estacas	Unidades	46,656
Cantidad total de tornillos	Unidades	46,656
Cantidad de trabajadores	Personal	8
Precio de mano de obra por hora	Dólares	\$2.20
Tiempo de instalación por mesa	Horas	4
Tiempo total de instalación	Horas	81
Días de instalación	Días	4
Vida útil del material	Años	10
Reemplazos de material en la vida útil del proyecto	Reemplazos	2

Fuente: (Elaboración propia).

Se mantienen los mismos parámetros de entrada para la tarifa, el aumento escalonado anual.

Tabla 19 – Parámetros de entrada para el análisis financiero de las láminas.

Entradas	
Tarifa eléctrica [\$/kWh]	\$ 0.10
Incremento de tarifa [%]	1%
Generación primer año peor caso [kWh]	773420.4
Inversión en materiales [\$]	\$ 140,167.45
Costo de mano de obra [\$]	\$1,316.32
Total, inversión inicial [\$]	\$ 141,483.77

Fuente: (Elaboración propia).

5.8 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Para realizar el análisis costo-beneficio de cada uno de nuestros escenarios, se utilizaron los flujos de cada de cada uno de los escenarios, y se utilizó una tasa de descuento del 10% (tasa recomendada por el BCH para consumos de Energía, gas y agua) para obtener el VAN de cada uno de los escenarios, el cual nos ayudara a obtener el índice costo-beneficio de cada uno de nuestros escenarios, con el objetivo de determinar la viabilidad de cada uno de nuestros escenarios.

Tabla 20 – Resumen final del cálculo del índice costo beneficio de los escenarios.

Escenario	Suma de ingresos	Suma de egresos	Costo-Inversión	Índice C/B
Nylon	\$768,843.60	\$101,796.78	\$142,730.77	5.39
Grava	\$213,939.09	\$0	\$63,051.92	3.39
Láminas de Zinc	\$727,730.02	\$245,550.35	\$387,034.12	1.88

Fuente: (Elaboración propia).

Esta tabla detalla cada uno de los VAN calculados, con el objetivo de obtener los índices C/B que determinan que el escenario de nylon es el más viable.

VI. CONCLUSIONES

Se realizaron tres montajes de albedos utilizando nylon, grava y láminas de zinc; materiales que cumplían con los requerimientos establecidos para ser utilizados en la experimentación.

Se determinó que el nylon, la grava, y las láminas de zinc, son los materiales que cumplen con los parámetros establecidos para realizar montajes de albedos en la planta, con el objetivo de realizar un análisis de rendimiento en comparación al escenario base.

Se aceptan las tres hipótesis correlacionales, ya que los tres escenarios tienen un mejor rendimiento en comparación al escenario base.

El montaje de láminas de zinc es el escenario que presenta el mayor aumento en generación de energía solar fotovoltaica con un aumento del 2.48% de rendimiento en comparación al escenario base.

El escenario de nylon, es el más viable, debido a su alto índice costo beneficio con un índice de 5.39.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas del comportamiento de los materiales en el área, con el propósito de establecer costos de operación y mantenimiento y reemplazos de material reales.

Se recomienda realizar monitoreo de datos con periodos de tiempo mayores de alrededor de 1 año, con el objetivo de obtener una mayor cantidad de datos para proyecciones más reales.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AHPEE. (2021). Obtenido de Twitter: https://twitter.com/Ahpee_Honduras/status/1347318536662896646
- Alexander, T. (1 de Marzo de 2019). *Best Greenhouse Plastic* . Obtenido de Tunnel Vision Hoops: <https://www.tunnelvisionhoops.com/blogbest-greenhouse-plastic-comparing-through-first-hand-experience/>
- Andino, H. (2020). Obtenido de IOP Science: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/776/1/012011/meta>
- Carbonell, M. (2022). *Solar tracker: funcionamiento y orígenes*. doi:10.1109/JPHOTOV.2017.2756068
- Crabtree, G., & Lewis, N. (22 de Septiembre de 2008). *Solar Energy Conversion*. Obtenido de <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.2993729>
- CREE. (2022). *Historial de Tarifas*. Obtenido de <https://www.cree.gob.hn/historial-de-tarifas/>
- Energía Solar Termica. (s.f.). <https://www.energiasolartermica.biz/nuevo-parque-solar-lasesa/>. Obtenido de Energía Solar Termicas: <https://www.energiasolartermica.biz/nuevo-parque-solar-lasesa/>
- García, A. (2016). Análisis comparativo de materiales para diferentes tecnologías fotovoltaicas. Sevilla, España.
- Gautam, R., & Sunanda, S. (25 de Agosto de 2020). *A simulation study to evaluate and compare monofacial Vs bifacial PERC PV cells and the effect of albedo on bifacial performance*. Obtenido de Materials today: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.632>
- GSL Industrials. (2021). Obtenido de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/sistema-fotovoltaico#:~:text=Un%20sistema%20fotovoltaico%20es%20un,la%20energ%C3%ADa%20solar%20a%20el%C3%A9ctrica.>

- Gutierrez, M. (2016). Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/21442/Tesina%20Miguel%20Angel%20Hernandez%20Gutierrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hayat MB, A. D. (2018). *Solar energy—A look into power generation, challenges, and a solar-powered future*. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/er.4252>
- Hulley. (2012). *The urban heat island effect: causes and potential solutions*. Obtenido de Science Direct: <https://doi.org/10.1533/9780857096463.1.79>
- Hyde Source. (s.f.). Obtenido de <https://www.hydesource.com/post/how-does-a-bi-facial-solar-pv-panel-work>
- Lorenzo, E. (2021). *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X21001869>
- Power Technology. (2021 de diciembre de 2021). *Xitieshan Township – Solar Park, China*. Obtenido de Power Technology: <https://www.power-technology.com/marketdata/xitieshan-township-solar-park-china/>
- Sendy, A. (Junio de 2022). *Pros and cons of string inverters vs microinverters*. Obtenido de Solar Reviews: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-string-inverter-vs-microinverter>
- SICA . (2017). Obtenido de <https://www.sica.int/busqueda/Noticias.aspx?IDItem=109999&IDCat=3&IdEnt=1225&Idm=1&IdmStyle=1>
- SOLar Energias renovables. (2019). *Energía Fotovoltaica*. Obtenido de <https://solarenergias.wixsite.com/solar/energia-fotovoltaica>
- Sotysolar. (10 de septiembre de 2020). *Seguidores solares: todo lo que necesitas saber*. Obtenido de Sotysolar: <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares#:~:text=Un%20sistema%20de%20seguimiento%20solar%20es%20una%20estructura%20m%C3%B3vil%20que,paneles%20reciben%20la%20radiaci%C3%B3n%20solar.>

U.S. Energy Information Administration. (2008). Obtenido de www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrpt
Wanzhi steel. (s.f.). Obtenido de [https://wzppgi.com/es/how-long-does-galvanized-steel-roofing-
last/](https://wzppgi.com/es/how-long-does-galvanized-steel-roofing-last/)