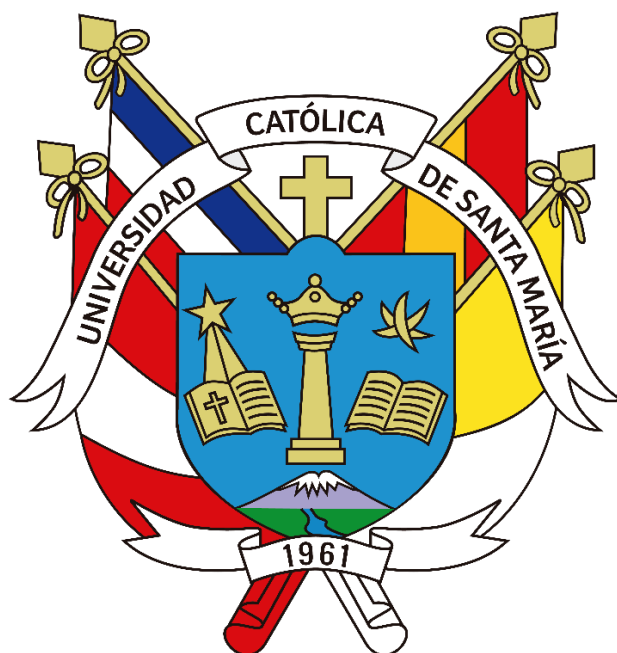


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO  
PARA UNA EMPRESA LÁCTEA UBICADA EN AREQUIPA”**

Tesis presentada por el bachiller:

**Pinares Rodríguez, Luis Alonso**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor:

Ing. Rivera Acosta, Víctor Gonzalo

**Arequipa - Perú**

**2022**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 02 de Agosto del 2022

**Dictamen: 003467-C-EPIMMEM-2022**

Visto el borrador del expediente 003467, presentado por:

**2015601921 - PINARES RODRIGUEZ LUIS ALONSO**

Titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTÁICO PARA UNA EMPRESA LÁCTEA  
UBICADA EN AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO****1470 - CASTILLO CACERES CESAR PIO  
DICTAMINADOR****1530 - FERNANDEZ BARRIGA CAMILO GRIMALDO  
DICTAMINADOR****1828 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**

### **Dedicatoria**

A mis padres Jorge Pinares y Nelly Rodríguez por el apoyo incondicional y todo el esfuerzo que realizaron para que yo saliera adelante, así como agradezco todas sus enseñanzas que me ayudaron a alcanzar mis metas. A mi abuelo Jorge por estar siempre dándome alientos. A mis hermanas Ariana y Anna, por ser mi motivación más grande.



## Agradecimientos

A mis padres por todo el apoyo que siempre me brindaron.

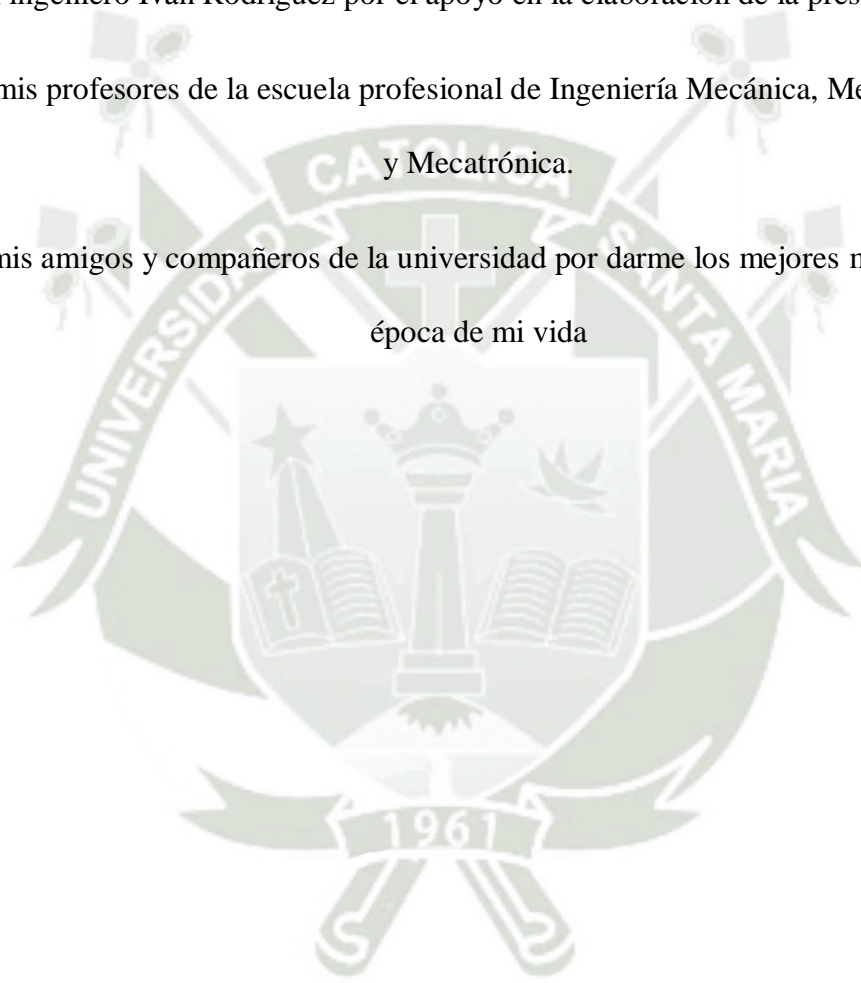
A mis hermanas por motivarme a lograr mis metas.

A mi abuelo por darme el apoyo para seguir adelante.

Al ingeniero Iván Rodríguez por el apoyo en la elaboración de la presente tesis.

A todos mis profesores de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica  
y Mecatrónica.

A todos mis amigos y compañeros de la universidad por darme los mejores momentos de esta  
época de mi vida



## Resumen

En el proyecto desarrollado a continuación, se realizó el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red de 1 MW de potencia para el abastecimiento de una planta láctea ubicada en el departamento de Arequipa. La radiación promedio anual de la zona donde se ubicará el proyecto es de  $6.86 \text{ kWh/m}^2$ , lo cual hace de esta ubicación un lugar ideal para aprovechar la energía solar.

Para realizar el diseño de este proyecto se estudió la teoría, así como las aplicaciones y mejoras recientes dentro de la tecnología de los sistemas solares fotovoltaicos, recopilando información de varias fuentes; además se utilizó softwares modernos para la simulación y se recopiló datos reales del recurso solar de la zona mediante softwares libres.

Luego con los datos reales sobre el consumo eléctrico de la planta láctea en cuestión, se realizó el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red que satisface la demanda energética de la planta en gran medida utilizando un sistema descentralizado de 7 grupos cada uno con 360 módulos fotovoltaicos distribuidos en 15 cadenas de 24 módulos cada una; cubriendo la mayor parte de la demanda.

Por último, mediante una evaluación económica se determinó que el proyecto es factible evaluando el costo de la inversión y el tiempo de recuperación de la inversión.

**Palabras clave:** Energía solar, Conexión a red, Sistema fotovoltaico, Energías renovables, generación eléctrica.

### Abstract

In the project developed below, the design of a photovoltaic generation system connected to the network of 1 MW of power was carried out to supply a dairy plant located in the department of Arequipa. The annual average radiation of the area where the project will be located is 6.86 kWh/m<sup>2</sup>, which makes this location an ideal place to take advantage of solar energy.

To carry out the design of this project, the theory was studied, as well as the applications and recent improvements within the technology of photovoltaic solar systems, compiling information from various sources; In addition, modern software was used for the simulation and real data of the solar resource of the area was collected through free software.

Then, with the real data on the electricity consumption of the dairy plant in question, the design of a photovoltaic generation system connected to the network was carried out that satisfies the energy demand of the plant to a large extent using a decentralized system of 7 groups each with 360 photovoltaic modules distributed in 15 strings of 24 modules each; covering most of the demand.

Finally, through an economic evaluation it was determined that the project is feasible by evaluating the cost of the investment and the recovery time of the investment.

**Keywords:** Solar energy, Grid connection, Photovoltaic system, Renewable energies, electricity generation.

## Tabla de Contenidos

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos .....	iv
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Tabla de Contenidos.....	vii
Lista de Tablas .....	x
Lista de Figuras.....	xii
1. Introducción y Planteamiento Metodológico del Problema de Investigación .....	1
1.1. Descripción del Problema .....	1
1.2. Delimitación de la Investigación .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos específicos .....	2
1.4. Alcances .....	3
1.5. Justificación.....	4
2. Marco Teórico.....	5
2.1. Energía .....	5
2.2. Energías Renovables .....	7
2.3. Energía Solar .....	8
2.3.1. Espectro electromagnético .....	10

2.3.2. Tipos de radiación solar .....	12
2.3.3. Irradiancia e irradiación .....	13
2.3.4. Horas de sol pico .....	15
2.3.5. Geometría solar.....	16
2.3.6. Tecnologías de Aprovechamiento Solar .....	18
2.4. Sistema de Generación Fotovoltaico .....	20
2.4.1. Célula Fotovoltaica.....	20
2.4.2. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos .....	25
2.5. Componentes de un Sistema de Generación Fotovoltaico .....	29
2.5.1. Módulo Fotovoltaico.....	29
2.5.2. Regulador de Carga .....	39
2.5.3. Baterías o Acumuladores de Carga.....	41
2.5.4. Inversor .....	41
3. Estudios Técnicos Básicos.....	43
3.1. Ubicación de la Planta.....	43
3.2. Estudio Solar.....	44
3.2.1. Orientación del Arreglo Fotovoltaico .....	44
3.2.2. Niveles de Radiación para Majes .....	45
3.3. Requisitos del Diseño.....	47
4. Ingeniería del Proyecto.....	49
4.1. Dimensionamiento del Arreglo Fotovoltaico .....	49

4.1.1. Selección de Módulos Fotovoltaicos .....	49
4.1.2. Selección del Inversor .....	50
4.1.3. Elección de la Configuración de los Módulos Fotovoltaicos .....	51
4.1.4. Factores de Pérdidas en la Planta.....	54
4.1.5. Producción Energética de la Planta FV.....	57
4.2. Simulación en HelioScope .....	60
4.3. Evaluación Económica.....	64
4.3.1. Consumo Energético Mensual de la Planta de Evaporación .....	64
4.3.2. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico .....	69
4.3.3. Rentabilidad del Proyecto .....	70
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	73
5.1. Conclusiones.....	73
5.2. Recomendaciones .....	74
Referencias .....	75
Anexos.....	77
Anexo I: Ficha técnica inversor SMA Sunny Highpower Peak3 .....	78
Anexo II: Ficha técnica módulo fotovoltaico Trinasolar Vertex .....	80
Anexo III: Reporte de Datos Mensuales de Irradiación (PVGIS).....	82
Anexo IV: Reporte de Sombras (Software Helioscope) .....	83
Anexo V: Reporte de Producción Anual de Energía (Software Helioscope) .....	85
Anexo VI: Planos .....	87

### Lista de Tablas

Tabla 1: Energía de los Fotones del Espectro Solar.....	11
Tabla 2: Condiciones STC y NOCT .....	31
Tabla 3: Irradiación Global Promedio Mensual sobre el Terreno .....	47
Tabla 4: Parámetros Eléctricos del Módulo Trina Vertex 500W .....	50
Tabla 5: Parámetros Eléctricos del Inversor SMA Sunny Highpower Peak3 .....	51
Tabla 6: Posibles Configuraciones de Cada Subgrupo del Campo FV .....	52
Tabla 7: Efecto de la Irradiación y Temperatura sobre cada Subgrupo FV .....	54
Tabla 8: Rango de Valores Técnicos de Factores de Pérdidas .....	55
Tabla 9: Rendimiento Parcial .....	55
Tabla 10: Rendimiento Global del Sistema Fotovoltaico .....	56
Tabla 11: Producción Energética Mensual de la Planta FV .....	57
Tabla 12: Producción Energética en 25 Años .....	59
Tabla 13: Resumen de Datos del SFV .....	63
Tabla 14: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- I.....	64
Tabla 15: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- II .....	65
Tabla 16: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- III .....	66
Tabla 17: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – I.....	67
Tabla 18: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – II.....	68
Tabla 19: Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – III.....	69
Tabla 20: Presupuesto el Sistema Fotovoltaico Diseñado.....	70
Tabla 21: Flujo de Dinero Aproximado del Ahorro Energético I.....	71

Tabla 23: Flujo de Dinero Aproximado del Ahorro Energético II ..... 72



## Lista de Figuras

Figura 1: Clasificación de las Fuentes Energéticas.....	6
Figura 2: Porcentaje de Electricidad Producida Mediante Renovables .....	8
Figura 3: Distribución de la Energía Solar Incidente en la Tierra .....	9
Figura 4: Espectro Electromagnético .....	10
Figura 5: Componentes de la radiación solar .....	13
Figura 6: Irradiancia e Irradiación .....	14
Figura 7: Horas Solares Pico .....	16
Figura 8: Ángulos Relativos de la Posición Solar .....	17
Figura 9: Carta Solar Cilíndrica de Puno .....	18
Figura 10: Principio de Funcionamiento de una Célula Fotovoltaica.....	21
Figura 11: Células Monocristalinas y Policristalinas.....	23
Figura 12: Estructura de la Célula de Silicio Amorfo.....	24
Figura 13: Ejemplos de Módulos Monocristalinos, Policristalinos y Amorfos. ....	24
Figura 14: Configuración de un Sistema Aislado DC-AC.....	26
Figura 15: Configuración de un Sistema Conectado a la Red .....	27
Figura 16: Configuración de un Sistema Híbrido.....	28
Figura 17: Partes de un Módulo Fotovoltaico .....	30
Figura 18: Curva I-V y P-V Representando los Parámetros Eléctricos de un Módulo Fotovoltaico .....	32
Figura 19: Efecto de la Irradiancia en los Módulos Fotovoltaicos .....	33
Figura 20: Efecto de la Temperatura en los Módulos Fotovoltaicos .....	35

Figura 21: Efecto del Sombreado Representado en las Curvas I-V y P-V.....	36
Figura 22: Funcionamiento de los Diodos de Paso.....	37
Figura 23: Tipos de Estructuras de Soporte. ....	39
Figura 24: Configuración de los Controladores PWM y MPPT.....	40
Figura 25: Ubicación del Espacio Disponible .....	43
Figura 26: Distribución de Radiación en Perú.....	46
Figura 27: Rendimiento Garantizado .....	58
Figura 28: Disposición de los Grupos de Módulos.....	60
Figura 29: Vista 3D de la Planta Fotovoltaica.....	61
Figura 30: Efectos del Sombreado en el Arreglo FV .....	62
Figura 31: Factores que Ocasionan Pérdidas en el SFV .....	63

## Capítulo I

### 1. Introducción y Planteamiento Metodológico del Problema de Investigación

#### 1.1. Descripción del Problema

En la actualidad, la electricidad se ha vuelto parte importante de nuestro día a día, tanto que este tipo de energía puede darnos una mejor calidad de vida; así como puede darles a las industrias la capacidad de crecer y avanzar tecnológicamente. Por lo tanto, debemos aprender a darle la debida importancia al consumo eficiente de cualquier tipo de energía.

El ahorro energético es un tema muy debatido en la actualidad debido a aspectos negativos como la contaminación ambiental, calentamiento global, agotamiento de combustibles fósiles, entre otros. En nuestro país, así como muchos en Latinoamérica y en el mundo la mayor parte de la generación de electricidad se realiza a través de la quema de combustibles fósiles, los cuales liberan grandes cantidades de gases de efecto invernadero que contribuyen al aumento del calentamiento global; por lo cual el uso de energías renovables y limpias como la eólica y solar, ayudaría en la reducción de los impactos ambientales y contribuiría a responder ante los efectos del calentamiento global y el cambio climático, que en la actualidad ya se están manifestando y son devastadores. Además del impacto positivo en el medio ambiente reduciría en gran medida los costos de consumo energético.

La planta láctea de una empresa arequipeña del sector lácteo, ubicada en el distrito de Majes, provincia de Caylloma, en el departamento de Arequipa a una cota de 1420 m.s.n.m., es uno de los principales centros de acopio de leche fresca de los distritos de Majes, La Joya y otros más. Cabe resaltar que, en la planta también se realizan procesos de evaporación y pretratamiento de la leche recolectada, para su posterior despacho a otras plantas que se encuentran en el país.

La planta actualmente se encuentra utilizando gas natural mediante un suministro virtual, ha podido reducir en gran medida sus costos de consumo de combustible en las calderas. Por lo cual sería provechoso el uso de la energía solar, debido a que la radiación en la zona puede ser aprovechada en la generación de energía eléctrica y así poder reducir aún más los costos de consumo energético.

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

En el presente estudio se realizará el diseño y la evaluación económica de un sistema fotovoltaico para una planta láctea ubicada en el distrito de Majes en el departamento de Arequipa; además se realizará la simulación del proyecto en el software Helioscope que permitirá determinar la eficiencia y la viabilidad técnica del diseño. Junto con el desarrollo, se presentará fichas técnicas de los componentes más esenciales para el funcionamiento del sistema de generación fotovoltaico, los reportes generados por el software validando el diseño realizado y planos referenciales de las estructuras de soporte de los paneles, así como de la distribución de los paneles sobre el terreno.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Realizar un diseño de un sistema de generación fotovoltaico, basado en datos reales de consumos de energía eléctrica de una empresa muy importante del sector lácteo, ubicada en el distrito de majes en el departamento de Arequipa, para así poder aprovechar la alta radiación solar de la zona y reducir los costos de consumo energético.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Proponer un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para una planta láctea considerando su demanda energética.

- Describir la base teórica del desarrollo de un sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, la importancia del aprovechamiento de la energía solar y sus principales aplicaciones industriales.
- Diseñar una propuesta de suministro eléctrico amigable con el medio ambiente desde la generación hasta el punto de consumo, considerando variaciones reales de radiación en la zona.
- Realizar un dimensionamiento y selección adecuada de los componentes eléctricos necesarios para la instalación del sistema de generación fotovoltaica.
- Realizar una evaluación económica para poder determinar la viabilidad de la propuesta de implementación.

#### 1.4. Alcances

El proyecto realizado abarca los siguientes puntos:

- Acercamiento a los conceptos, características y aplicaciones de generación mediante energía solar, así como a las tecnologías usadas para la generación eléctrica fotovoltaica.
- Descripción del funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica y de los equipos utilizados en él.
- Diseño de un sistema solar fotovoltaico desde la generación de energía eléctrica hasta el punto de suministro.
- Selección de equipos y accesorios necesarios para un sistema de generación fotovoltaica.
- Simulación mediante software Helioscope del sistema fotovoltaico desarrollado en el proyecto.

- Evaluación económica del sistema de generación fotovoltaica diseñado en la planta láctea para determinar la prefactibilidad del proyecto.

### **1.5. Justificación**

La industria láctea consume energía, no solo en forma de combustible utilizado en calderas que lo utilizan, sino también en forma de energía eléctrica, que se utiliza fundamentalmente para los procesos de producción y en menor medida para iluminar la planta.

El consumo de energía representa gran parte de los costos operativos de las empresas lácteas, por lo que se buscan constantemente mejoras para aumentar la eficiencia energética. Por tanto, es necesario impulsar la investigación, el desarrollo y la innovación para mejorar la eficiencia energética del sector y así reducir los costos de consumo energético.

Actualmente, gran parte de la empresa láctea puede estar sujeta a cambios en las instalaciones o en los procedimientos de trabajo, contribuyendo así a mejorar la eficiencia energética y el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía.

Mediante el siguiente proyecto se busca evaluar técnica y económicamente una alternativa energética aprovechando la fuerte radiación solar que se presenta en la zona donde está ubicada la planta para generar energía eléctrica; utilizando la energía generada como suministro secundario en la fábrica, para así reducir costos en consumo de energía eléctrica y contribuir con el medio ambiente con el uso de energías renovables y limpias.

## Capítulo II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Energía

La energía es aquella capacidad que tiene la materia o un sistema de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros. Es decir, que la energía es un atributo de los objetos y sustancias, que se reflejan en variados cambios que ocurren en la naturaleza.

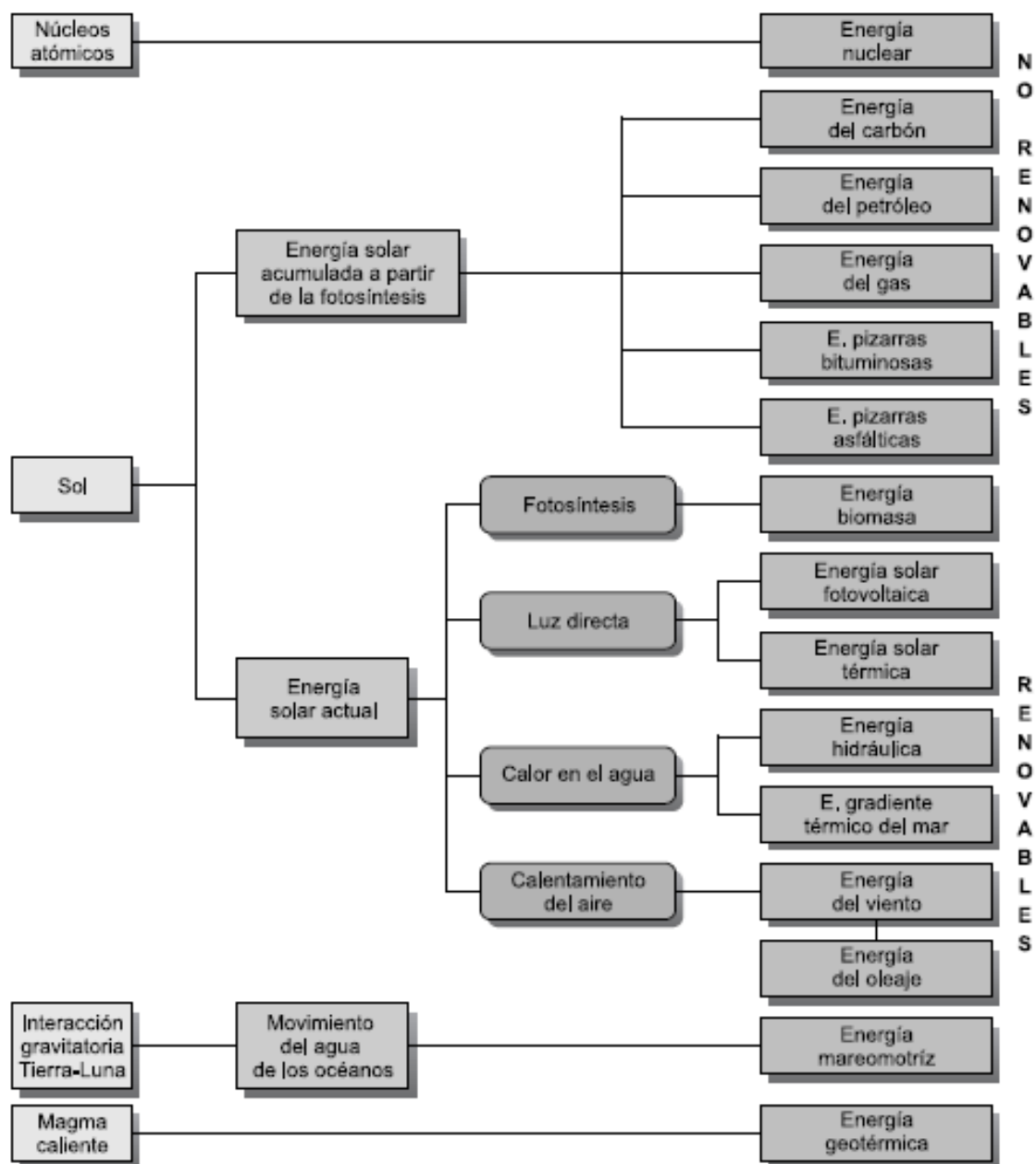
“En la Tierra, la principal fuente de energía es la nuclear (la contenida en los núcleos de la materia que la conforma), seguida de la electromagnética (la que llega desde el Sol en forma de radiación) y finalmente la gravitacional (debida a la interacción Tierra-Luna-Sol).” (Carta González et al., 2009)

De las energías disponibles mencionadas anteriormente, la mayor parte de ellas provienen del Sol, ya que este produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, entre otros. Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas indispensables para el desarrollo de los vegetales y de los animales, cuyos restos, con el paso de los siglos, originaron los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. (Schallenberg et al., 2008)

Tal cual se muestra en la Figura 1, podemos observar las fuentes energéticas disponibles en el planeta Tierra clasificadas por tipos y por duración, así como el detalle de su origen.

**Figura 1**

*Clasificación de las Fuentes Energéticas.*



Nota. Reproducida de Clasificación de las Fuentes Energéticas, de Carta Gonzales et al., 2009, Centrales de Energías Renovables.

Uno de los indicadores más confiables que mide el grado de desarrollo de una sociedad es el consumo energético de la misma. Actualmente, los sectores industriales y domésticos son los que tienen la mayor demanda de energía eléctrica; sin embargo, el avance en la tecnología

automotriz, con el desarrollo de vehículos eléctricos, está marcando una tendencia de un sector que tendrá una demanda importante en los próximos años.

Sin embargo, la generación de energía eléctrica se produce en su mayoría por la combustión de combustibles fósiles, que traen una serie de problemas como la escasez de los mismos y la contaminación ambiental producida por la emisión de los gases de efecto invernadero.

Las dificultades mencionadas exigen soluciones creativas e innovadoras respecto a la gestión y producción de energía eléctrica para satisfacer el consumo energético de la sociedad. Por lo cual, en la última década, la tecnología ha permitido un mayor aprovechamiento de energías no convencionales que nos permitirán dejar la dependencia de los recursos no renovables.

## **2.2. Energías Renovables**

Dentro de todos los tipos de energía disponibles en nuestro planeta, se considera renovables a aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que sus recursos son infinitos; como consecuencia en su mayor parte de la radiación solar o en menor medida de la atracción gravitatoria de la Luna. (Schallenberg et al., 2008)

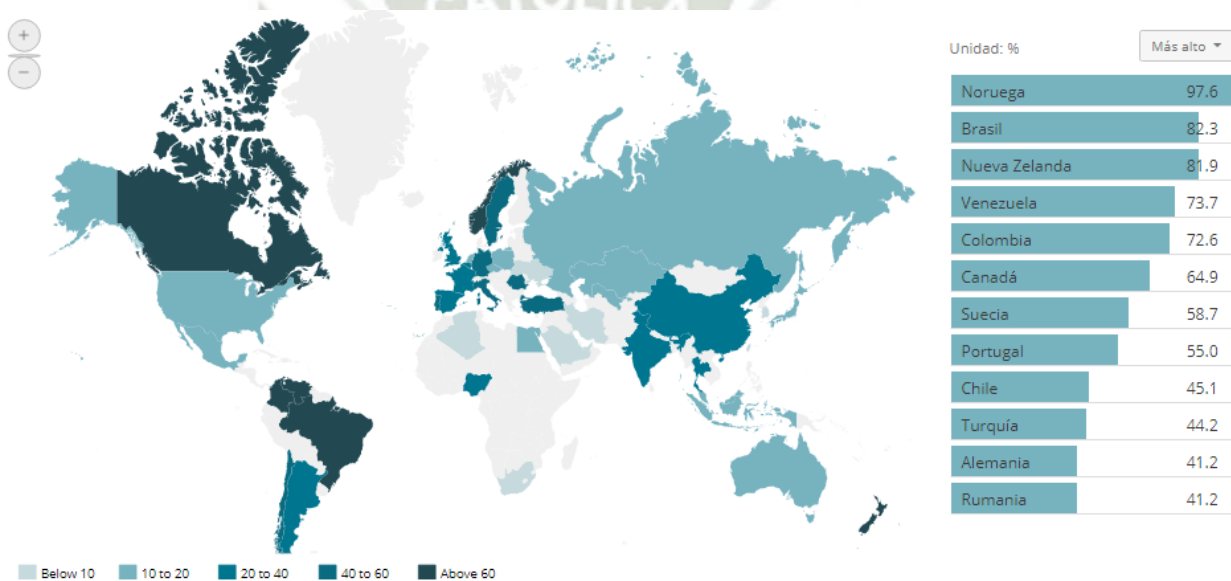
En la figura 1, se menciona que la energía solar tiene mucha influencia en las energías renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica) debido a que su energía provoca las diferencias de presión atmosféricas que originan los vientos, fuente de la energía eólica. También provoca la evaporación del agua que luego precipita para formar ríos, los que permiten obtener energía hidráulica. Las plantas y algas se sirven del sol para realizar la fotosíntesis, origen de toda la materia orgánica (o biomasa) de la Tierra. Por último, el sol se aprovecha directamente como energía solar, tanto térmica como fotovoltaica. (EPEC, 2004)

Como se puede observar, estas fuentes son inagotables a escala humana, aunque en el caso de la biomasa, esto es así siempre que se respeten los ciclos naturales. (EPEC, 2004)

Alrededor del mundo se muestra una tendencia al alza den la producción de electricidad mediante recursos renovables, en la Figura 2 se muestra claramente los países con mayor porcentaje de producción eléctrica mediante estos recursos.

**Figura 2**

*Porcentaje de Electricidad Producida Mediante Renovables*



Nota. Las cantidades expresadas en la leyenda se encuentran en porcentaje. Adaptado de Cuota de Energías Renovables en la Producción de Electricidad, 2019 (<https://datos.enerdata.net/energias-renovables/produccion-electricidad-renovable.html>)

### 2.3. Energía Solar

El Sol, la estrella de nuestro sistema solar, nos brinda una gran cantidad de energía que da a lugar diversos fenómenos en el mundo, tanto en la atmósfera, en el agua y en la tierra; que son indispensables para la vida en la Tierra desde la producción de oxígeno por parte de las plantas hasta la producción de distintos tipos de energía que luego pueden ser convertidas y aprovechadas en energía eléctrica.

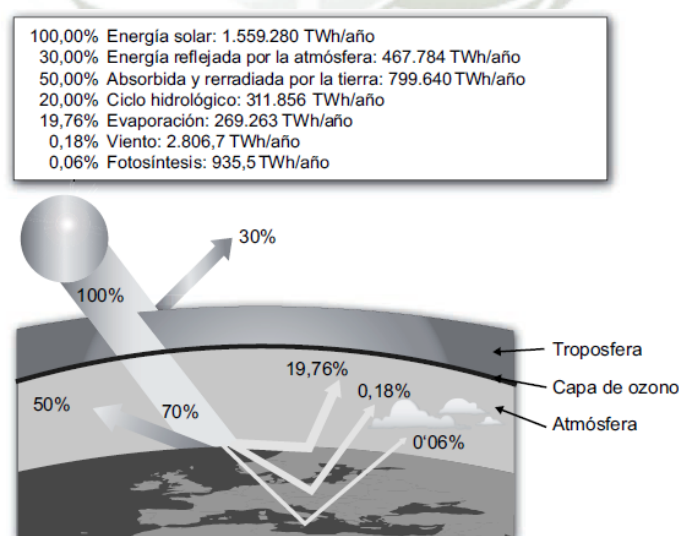
Anualmente el Sol proporciona cerca de 1.559.280 TWh de energía, lo cual es aproximadamente 15.000 veces más que la consumida (en la actualidad) en todo el planeta en ese mismo período de tiempo. (Carta González et al., 2009)

De la cual, el 30% se refleja al espacio y no llega a la superficie terrestre; el 50% se aprovecha calentando la superficie terrestre y siendo irradiada de nuevo al espacio. El 20% restante alimenta el ciclo hidrológico, 19.76% usado en la evaporación el agua, 0.18% origina los vientos, una parte de este viento se transfiere a la superficie de las aguas formando las olas, y el 0.06% que queda, alimenta los mecanismos de fotosíntesis del que en último extremo dependen todos los combustibles fósiles, los cuales constituyen una pequeñísima porción de este 0,06% y es la única energía solar incidente que queda retenida en la tierra temporalmente. (Carta González et al., 2009)

A continuación, en la Figura 3, se muestra la distribución de la energía solar que incide sobre el planeta Tierra.

**Figura 3**

*Distribución de la Energía Solar Incidente en la Tierra*



Nota. Reproducido de Clasificación de las Fuentes Energéticas, de Carta Gonzales et al., 2009, Centrales de Energías Renovables.

Esta explicación nos muestra claramente el potencial energético que nos brinda la energía solar, ya que no solo nos brinda energía en forma de luz o rayos, sino que también nos proporciona una gran energía térmica.

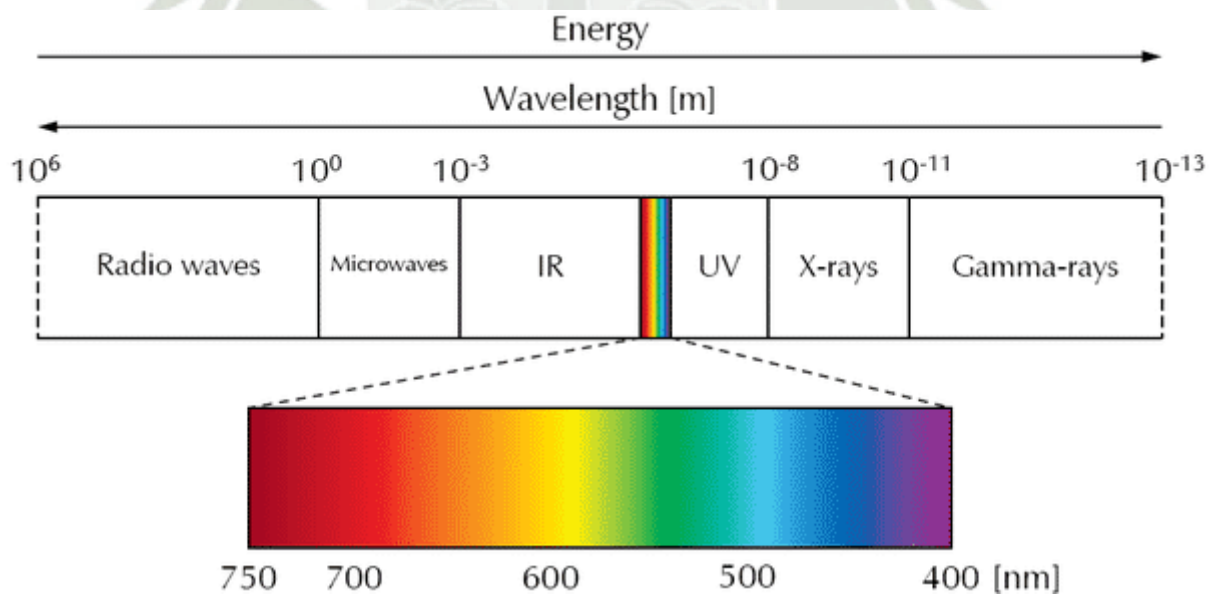
### 2.3.1. Espectro electromagnético

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. La energía recibida desde el Sol llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, con un espectro que abarca longitudes de onda,  $\lambda$ , desde 1 mm hasta  $0.1 \mu\text{m}$ ; a este fenómeno comúnmente se le llama luz solar.

En la figura 4, se puede observar el espectro electromagnético con sus respectivas longitudes de onda.

**Figura 4**

*Espectro Electromagnético*



Nota. Se muestra la relación inversamente proporcional de la energía respecto de la longitud de onda.

Es importante establecer que la luz que nuestros ojos observan, llamado el espectro del visible, solo abarca un intervalo muy pequeño del espectro de las ondas electromagnéticas,

siendo su rango desde 0.4  $\mu\text{m}$  hasta 0.7  $\mu\text{m}$ . Así, al considerar el rango de longitudes de onda que forman a la energía solar, se puede establecer que ésta se compone de ondas electromagnéticas dentro del rango del ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR). (Sanchez Juarez et al., 2017)

La energía contenida en los fotones el espectro solar mencionados está dada por la siguiente formula llamada la relación Plank-Einstein o relación de frecuencia y energía:(Energía Del Fotón / PVEducation, n.d.)

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:

$E$ : Energía el fotón (eV)

$h$ : Constante de Plank ( $6.626 \times 10^{-34}$  J·s)

$c$ : Velocidad de la luz ( $2.998 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$ : Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )

Por lo cual podemos resumir los resultados en la Tabla 1 mostrada a continuación.

**Tabla 1**

*Energía de los Fotones del Espectro Solar*

Fotón	Longitud de onda	Energía
Infrarrojo	1 mm – 0.7 $\mu\text{m}$	0.001 eV – 1.77 eV
Luz visible	0.7 $\mu\text{m}$ – 0.4 $\mu\text{m}$	1.77 eV – 3.11 eV
Ultravioleta	0.4 $\mu\text{m}$ – 0.1 $\mu\text{m}$	3.11 eV – 12.4 eV

Como se puede observar existe una relación inversamente proporcional, ya que, a mayor longitud de onda del fotón, este transporta menor cantidad de energía la cual no siempre

podrá ser aprovechada en la generación de energía eléctrica en el caso de un sistema solar fotovoltaico.

### **2.3.2. Tipos de radiación solar**

El sol emana radiación hacia todas direcciones en el espacio; fuera de la atmósfera terrestre se dice que la radiación solar fuera de la atmósfera está compuesta de rayos por lo que se le asigna un carácter directo, es decir, viaja directamente del foco emisor al captador, recibiendo el nombre de radiación directa normal. (Sanchez Juarez et al., 2017)

La radiación solar que incide en el límite superior de la atmósfera sufre una serie de reflexiones, dispersiones y absorciones durante su ingreso a la Tierra debido a las partículas suspendidas en el aire y las fluctuaciones climáticas que se presentan en el entorno. (Aparecida Faria Amaral Fadigas, 2004)

Por lo mencionado en el párrafo anterior, el 47,5% de la radiación que ingresa al planeta y llega efectivamente a la superficie de la Tierra incide sobre los cuerpos en ella mediante tres componentes directa, difusa y reflejada. (Carta González et al., 2009)

**2.3.2.1. Radiación directa.** Es aquella que llega directamente del Sol hacia los objetos iluminados en la superficie de la Tierra sin haber sufrido en su dirección y sin haber tenido interacción con nada. (Espinoza Paredes et al., 2017)

**2.3.2.2. Radiación difusa.** Es aquella que incide indirectamente, como reflejo de la radiación solar que es absorbida por el polvo y el aire (es la radiación típica de los días nublados). La difusión se produce al desviarse los rayos solares, debido a las partículas sólidas y las moléculas, como el vapor de agua, que existen en la atmósfera. (Carta González et al., 2009)

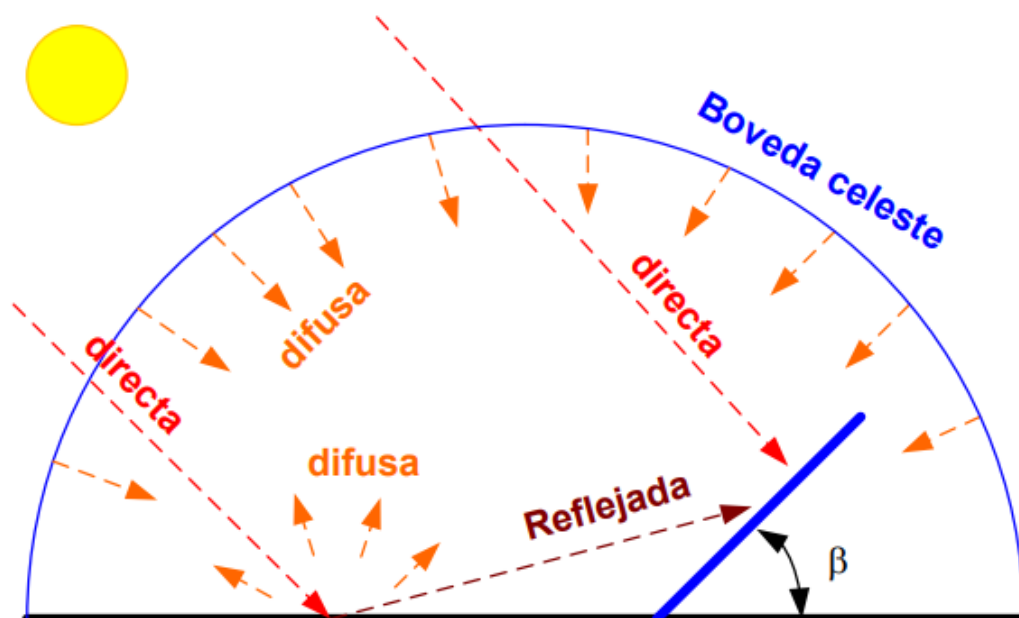
**2.3.2.3. Radiación reflejada.** Es la fracción de radiación que proviene de la reflexión de la radiación directa en las superficies que se encuentran en el entorno. Cabe resaltar que el

albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates. (Espinoza Paredes et al., 2017)

A la suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada, que se muestran en la Figura 5, se le conoce como radiación global, dicha radiación es la usada primordialmente en el diseño.

**Figura 5**

*Componentes de la radiación solar*



### 2.3.3. Irradiancia e irradiación

Para medir la radiación solar se utilizan dos magnitudes muy importantes, la intensidad de radiación solar o irradiancia y la irradiación.

**2.3.3.1. Intensidad de radiación solar o irradiancia.** Es la energía radiante por unidad de área por unidad de tiempo que atraviesa una superficie imaginaria de área  $S$ , perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La relación de las magnitudes anteriores está dada por la ecuación (Sanchez Juarez et al., 2017):

$$G = \frac{P}{S}$$

Donde:

$G$ : Irradiancia ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$P$ : Potencia (W)

$S$ : Área ( $\text{m}^2$ )

**2.3.3.2. Irradiación.** Es la densidad de energía acumulada o recibida en la unidad de tiempo, es decir, es la irradiancia acumulada sobre la superficie en la unidad de tiempo. La relación de las magnitudes anteriores está dada por la ecuación (Sanchez Juarez et al., 2017):

$$H_s = G \cdot t$$

Donde:

$H_s$ : Irradiación ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ )

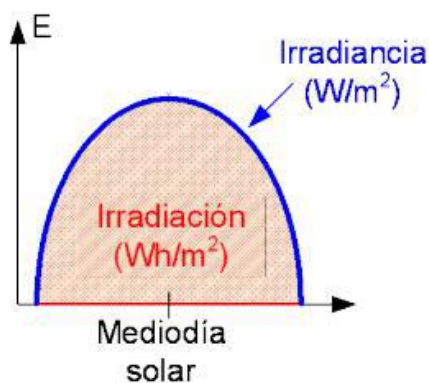
$G$ : Irradiancia ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$t$ : Tiempo (h)

Una forma de representar la irradiancia y la irradiación es en un gráfico respecto de las horas del día, como se muestra en la Figura 6, siendo la irradiancia la curva y la irradiación el área debajo de esta.

**Figura 6**

*Irradiancia e Irradiación*



Un concepto importante es la constante solar que representa a la cantidad de energía solar medida sobre un plano perpendicular a la dirección de propagación de los rayos solares ubicado fuera de la atmósfera terrestre. Por lo tanto, la potencia recibida por la radiación solar en los límites de la atmósfera tiene un valor aproximado de  $1367 \text{ W/m}^2$ . (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

Debido a que la incidencia de radiación es variable en toda la superficie terrestre dependiendo de la latitud, la altitud, las condiciones climáticas, las estaciones del año, hasta en las diferentes horas del día; es necesario realizar una medición constante durante largos periodos de tiempo para poder conseguir valores confiables de las magnitudes mencionadas anteriormente.

Por lo tanto, para realizar diseños utilizando energía solar se utiliza software que nos permite acceder a una base de datos importante sobre irradiancia, irradiación, temperatura, entre otros parámetros necesarios para el diseño.

#### **2.3.4. Horas de sol pico**

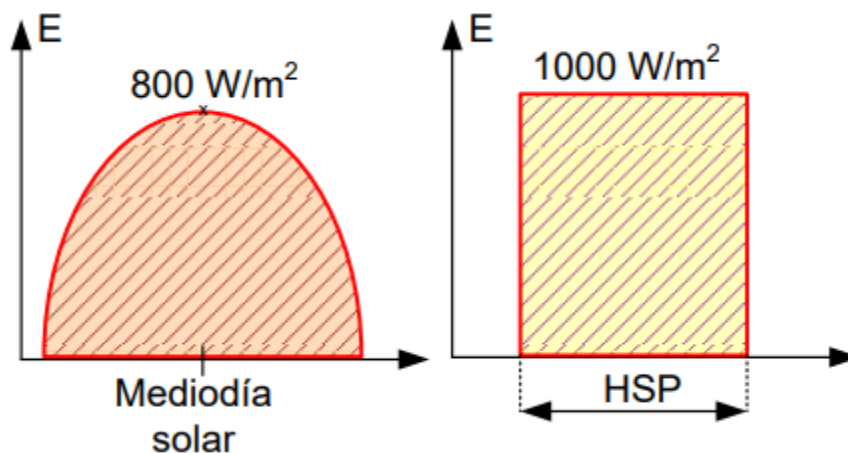
La radiación que ingresa por a la Tierra sufre una serie de efectos que se manifiestan en pérdidas que disminuyen el valor de la irradiancia que incide en la parte superior de la atmósfera hasta que llega a la superficie. Por tal motivo, se considera que al medio día, con un cielo claro sin nubes, la radiación máxima que puede incidir sobre la superficie es de  $1000 \text{ W/m}^2$ ; a este valor se le llama pico de radiación solar, representada por  $G_p$ .

Los ingenieros que se dedican a la investigación y aplicación de la energía solar han tomado como convención que, bajo las condiciones anteriores, el valor para la máxima irradiancia directa que puede recibir un módulo fotovoltaico sea de  $1000 \text{ W/m}^2$ ; por lo cual, este es un parámetro de diseño universal que pertenece a las condiciones estándar de medida o STC por sus siglas en inglés. (Sanchez Juarez et al., 2017)

Entonces, como se muestra en la Figura 7, se puede entender como hora de sol pico (HSP) como la cantidad de energía que una superficie recibiría con una irradiancia constante con el valor del pico de radiación solar, es decir  $1000 \text{ W/m}^2$ . Una hora de sol pico tendría un valor de  $1.00 \text{ kWh/m}^2$ .

### Figura 7

#### *Horas Solares Pico*



Nota. Las áreas debajo de las curvas son iguales, por ende, la irradiación también es igual en ambos casos.

#### 2.3.5. Geometría solar

El estudio del movimiento solar es imprescindible para la realización de un correcto diseño en un proyecto de aprovechamiento de energía solar, debido a que la intensidad de radiación solar es variable dependiendo de la posición relativa del Sol respecto al punto de captación. Por lo tanto, un buen diseño requiere el mayor tiempo exposición a la radiación solar.

Las relaciones geométricas entre los rayos solares, que varían de acuerdo con el movimiento aparente del Sol y la superficie terrestre, son escritas a través de varios ángulos; sin embargo, los más relevantes para el proyecto actual son (Tavares Pinho & Galdino, 2014):

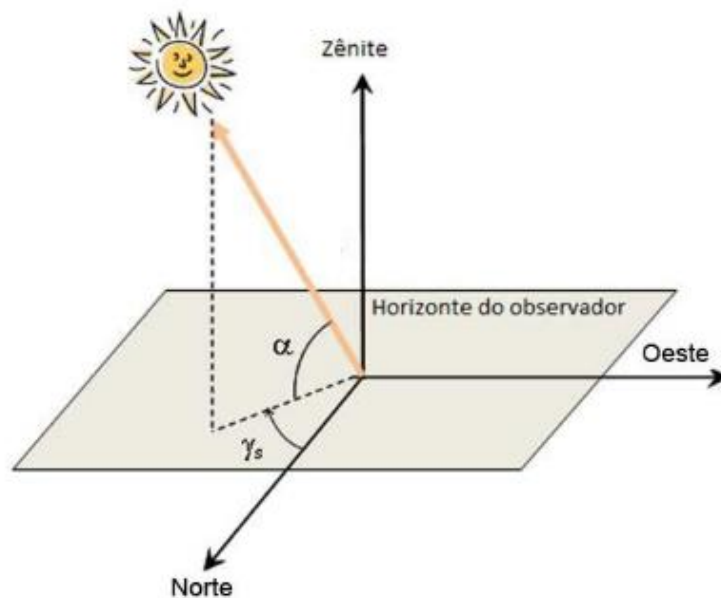
**Ángulo acimutal o azimut.** Es el ángulo formado por la proyección sobre la superficie horizontal del lugar, de la recta sol-Tierra, con respecto a la recta Norte-Sur terrestre. (Carta González et al., 2009)

**Ángulo de elevación o altura solar.** Es el ángulo formado por la recta Sol-Tierra respecto al plano que contiene a la superficie del lugar. (Carta González et al., 2009)

La Figura 8 muestra gráficamente los ángulos mencionados anteriormente.

### Figura 8

#### *Ángulos Relativos de la Posición Solar*



Nota. Adaptada de ilustración de los ángulos  $\theta_z$ ,  $\alpha$  y  $\gamma_s$  representando la posición del Sol en relación del plano horizontal, de Tavares Pinho et al., 2014, Manual de Ingeniería para Sistemas Fotovoltaicos.

Una de las herramientas más importantes para realizar el análisis solar es la carta solar que es una representación bidimensional de la trayectoria del sol; la cual considera las horas del día y los meses del año. Dicha herramienta nos permite representar la posición del Sol en

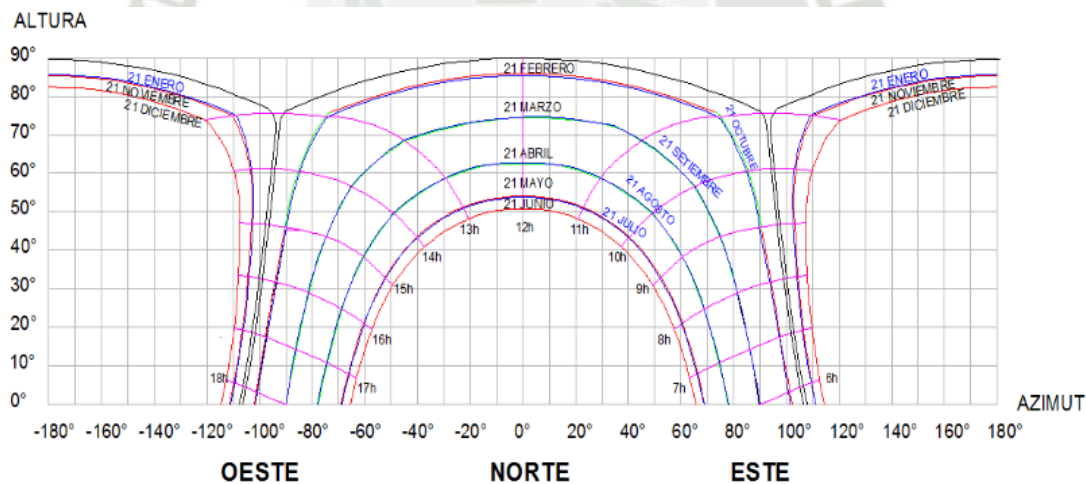
cualquier momento, lo cual nos permite realizar un análisis de sombras para así poder optimizar el aprovechamiento de la radiación solar.

Cabe resaltar que existe una carta solar diferente para cada lugar del mundo, debido a que la latitud es un factor muy importante que modifica la posición relativa de Sol respecto del punto de diseño.

La carta solar más usada es la cilíndrica en el diseño de sistemas solares fotovoltaicos ya que permite un mejor estudio de las sombras producidas por objetos que se encuentren en el horizonte, permitiendo así un análisis más detallado. Por ejemplo, en la Figura 9 se muestra la carta solar cilíndrica de Puno.

**Figura 9**

*Carta Solar Cilíndrica de Puno*



Nota. Reproducida de Carta solar cilíndrica de Puno, latitud 15.83°S y longitud 70° O, de Espinoza Paredes et al., 2017, La Ingeniería Fotovoltaica.

### **2.3.6. Tecnologías de Aprovechamiento Solar**

A lo largo del capítulo se ha ido mencionando que la energía solar es madre de la mayoría de energías renovables, a excepción de la energía geotérmica y mareomotriz; sin embargo, el aprovechamiento directo de la radiación solar para su conversión en energía

eléctrica se puede realizar principalmente de dos maneras, mediante plantas solares térmicas y plantas solares fotovoltaicas.

**2.3.6.1. Plantas solares térmicas.** Si bien existen diferentes formas de aprovechar la energía solar térmica, su principal aplicación es la generación de energía eléctrica mediante la aplicación de tecnologías que nos permiten aprovechar la temperatura que produce la radiación solar en las plantas termosolares de potencia eléctrica. En la actualidad, existen principalmente tres tipos de tecnologías de concentración solar las cuales son: El canal parabólico, la torre central y el disco parabólico. (Arancibia Bulnes & Best y Brown, 2010)

**2.3.6.2. Plantas solares fotovoltaicas.** La producción de energía actual mediante el uso de energías renovables continua en aumento. Debido a ello el aprovechamiento de la energía solar cobra gran importancia; y la tecnología fotovoltaica, que consiste en la transformación directa de la radiación solar hacia energía eléctrica, se ha vuelto un sector muy atractivo en los campos económico, de la investigación y la producción de energía eléctrica. (Díaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010)

La generación eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que es la base de la tecnología mencionada, es la forma más versátil y prometedora de convertir la radiación solar. Además posee varias características que la hacen competitiva en el mercado.

Si bien es una opción que requiere una gran inversión inicial, aunque los costos de los equipos continúan en descenso, tiene un corto pay-back de la energía; como también no requiere mantenimiento costoso, ya que no tiene elementos móviles y la confiabilidad de estos productos es muy alta alcanzando garantías de producción de hasta 30 años. (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002)

Otra característica resaltante es que la producción de energía puede ser variable dependiendo de la zona y del clima; sin embargo, el avance de la tecnología, ha permitido

incrementar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos permitiéndoles adaptarse a diferentes condiciones de operación. Además, su modularidad la vuelve una tecnología muy versátil y adaptable a cualquier necesidad de generación.

## **2.4. Sistema de Generación Fotovoltaico**

La energía solar puede ser aprovechada de distintas maneras, en este trabajo nos centraremos en la tecnología fotovoltaica para la generación de energía eléctrica. A diferencia de otras aplicaciones, la tecnología mencionada se basa en la conversión de la radiación proveniente del Sol en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotovoltaico que se da en las celdas fotovoltaicas.

### **2.4.1. Célula Fotovoltaica**

El componente más básico y principal de esta tecnología es la célula o celda fotovoltaica que a lo largo del tiempo, se ha ido perfeccionando, aumentando su eficiencia y obteniendo mejoras a raíz de los avances tecnológicos. Al principio eran muy caras de producir, por lo cual su principal aplicación era en la industria aeroespacial suministrando energía a los satélites.

**2.4.1.1. Efecto fotovoltaico.** El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, ya que observó que algunos materiales podían producir electricidad cuando eran expuestos a iluminación. Sin embargo, se necesitaron a partir de aquí todavía más de 100 años para que la tecnología solar fotovoltaica alcanzase un grado de desarrollo que permitiese su uso en aplicaciones prácticas. (Carta González et al., 2009)

En la década del 50, fueron fabricadas por los laboratorios Bell, en Estados Unidos, las primeras células fotovoltaicas con los avances en la tecnología de los semiconductores. Estas células fueron fabricadas a partir de silicio cristalino y tenían una eficiencia muy baja de 6%. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

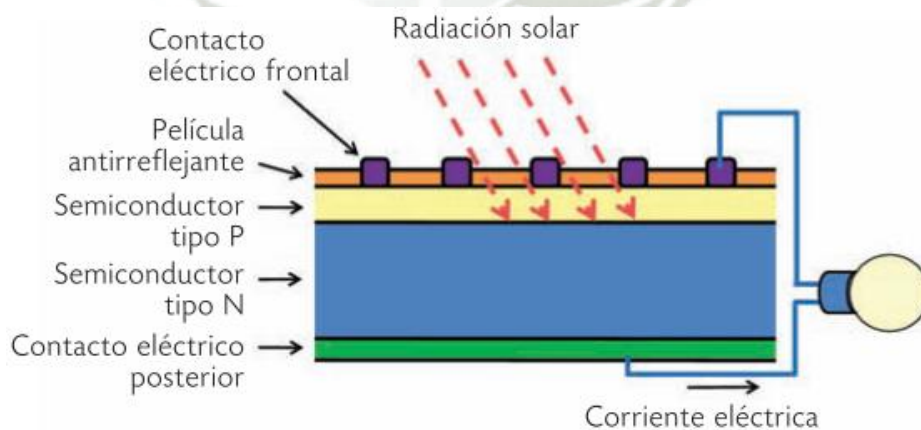
Actualmente, el efecto fotovoltaico se basa en el uso de semiconductores. Estos materiales se caracterizan por tener una conductividad entre la de un conductor metálico y un aislante; sin embargo, la propiedad más importante es que al ser iluminados mejoran su capacidad para conducir la electricidad, ya que al ser iluminados los electrones obtienen una mayor capacidad para moverse y así generar una corriente eléctrica. (Rodríguez Rosales et al., 2020)

Para que exista una corriente que alimente una carga es necesario que aparezca una diferencia de potencial que mueva los electrones en una dirección preferencial; para lograr esto se unen dos materiales semiconductores de características diferentes: uno de ellos tipo N, que es capaz de ceder electrones con facilidad, y uno tipo P, que debe aceptar fácilmente electrones adicionales. (Arancibia Bulnes & Best y Brown, 2010)

En la siguiente Figura 10, se muestra el principio de funcionamiento y la estructura de una celda o célula fotovoltaica.

### Figura 10

#### *Principio de Funcionamiento de una Célula Fotovoltaica*



Nota. Reproducido de Estructura básica de una celda fotovoltaica, de Arancibia Bulnes et al., 2010, La Energía del Sol, Revista Ciencia.

**2.4.1.2. Tipos de células fotovoltaicas.** Existen distintos tipos de células fotovoltaicas en el mercado que se diferencian por su composición, su forma o sus materiales de fabricación. Sin embargo, en la actualidad las más usadas de ellas son las células de silicio monocristalino, de silicio policristalino y las de silicio amorfo.

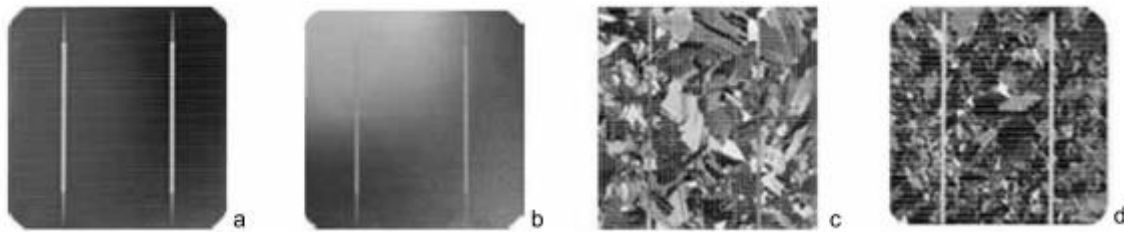
***Silicio monocristalino.*** Esta tecnología es la más utilizada para la conversión de energía solar en electricidad. Estas células están hechas de cristales de silicio orientados en la misma forma, obteniendo así color azul o negro generalmente. Su principal característica, es que posee una eficiencia alta hasta de 27%; además presenta un espesor de hasta 200  $\mu\text{m}$ .

Si bien la cantidad de material utilizado y el elevado consumo de energía en su producción son barreras importantes para la reducción de costos, sus características competitivas hacen de estas células las más utilizadas en el mercado.

***Silicio policristalino.*** Estas células son fabricadas con un silicio de menor costo, lo cual se refleja en una reducción de su eficiencia que llega a 16%; sin embargo, el costo por kW es menor. La superficie de estas células tiene un patrón aleatorio de cristalización a comparación de las monocristalinas.

Este tipo de células fotovoltaicas son usadas en plantas solares de gran tamaño por sus características; por lo mismo fueron las principales protagonistas de la expansión fotovoltaica.

La Figura 11 muestra la diferencia de las superficies de las células monocristalinas y policristalinas.

**Figura 11***Células Monocristalinas y Policristalinas*

Nota. Reproducido de Silicio monocristalino (a y b) y policristalino (c y d), Carta Gonzales et al., 2009, Centrales de energías renovables.

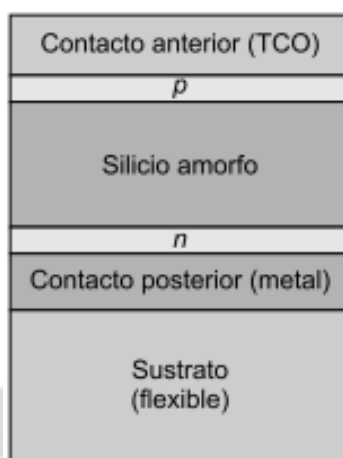
**Silicio amorfo.** En este tipo de célula no existe la formación de una red cristalina, utiliza capas delgadas de material semiconductor y puede llegar a tener un espesor de hasta  $2 \mu\text{m}$ , por lo cual su costo de producción se reduce. A pesar de tener una eficiencia reducida de hasta 9%, dentro de sus características más importantes, este tipo de células ofrece un coeficiente de absorptividad mayor en el espectro visible.

Sus características hacen de estas células ideales para lugares con presencia alta de polvo y elevada radiación difusa, además presenta una buena respuesta a la temperatura. Sin embargo, su defecto más grande es el hecho que necesita una estabilización inicial, lo que significa que estas células sufren una degradación debido a la luz al iniciar su operación.

La estructura de una celda de silicio amorfo se muestra a continuación en la Figura 12.

## Figura 12

### *Estructura de la Célula de Silicio Amorfo*



Nota. Reproducido de Célula de silicio amorfo, Carta Gonzales et al., 2009, Centrales de energías renovables.

Si bien existen algunos tipos además de los nombrados anteriormente, estos son los más comerciales y usados en la actualidad; por sus características y debido al costo de los módulos fabricados con estas células; en la figura 13, se puede observar módulos fabricados con las células nombradas anteriormente.

## Figura 13

### *Ejemplos de Módulos Monocristalinos, Policristalinos y Amorfos.*



Nota. Reproducido de Tipos de paneles fotovoltaicos, Serrano R, tritec-intervento.

(<https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>)

**2.4.1.3. Mejoras en células fotovoltaicas.** Como se mencionó anteriormente, con el pasar del tiempo y los avances tecnológicos se ha ido realizando mejoras a las células fotovoltaicas para mejorar sus eficiencias, reducir sus costos de producción o permitir que estas se adapten a distintas condiciones de operación.

Las mejoras que se han realizado en los últimos años, han permitido que la generación de energía eléctrica mediante la tecnología fotovoltaica se vuelva más y más competitiva; ya que se redujeron los precios tanto de la fabricación de sus componentes, así como se produjo un aumento importante en su eficiencia.

Dentro de las principales mejoras que se han realizado hasta la actualidad tenemos: Mejoras en los procesos productivos de las células fotovoltaicas para la reducción de costos, mejoras en la geometría de los colectores (grid-lines y bus-bars), así como el aumento en la cantidad de los mismos, capas antireflexivas y texturizado de las células para menor reflexión de la luz solar y las tecnologías de células bifaciales, medias células y PERC (Passivated Emitter Rear Cell) que permiten un aumento en la eficiencia de las células fotovoltaicas.

#### **2.4.2. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos**

Las condiciones de operación que se presentan alrededor del mundo, para un sistema fotovoltaico, son muy amplias y variadas; por lo que dependiendo de la configuración del sistema fotovoltaico (SFV) se puede distinguir entre tres tipos principales de SFV: aislados, de conexión a red y sistemas híbridos. (Jäger et al., 2014)

La utilización de cada uno de estos tipos de configuraciones viene dada por la aplicación o la disponibilidad de los recursos energéticos de la localidad en donde se va a situar el sistema fotovoltaico.

**Sistemas aislados.** Los sistemas autónomos dependen únicamente de la energía solar. Estos sistemas pueden consistir en módulos fotovoltaicos y una carga solamente o pueden

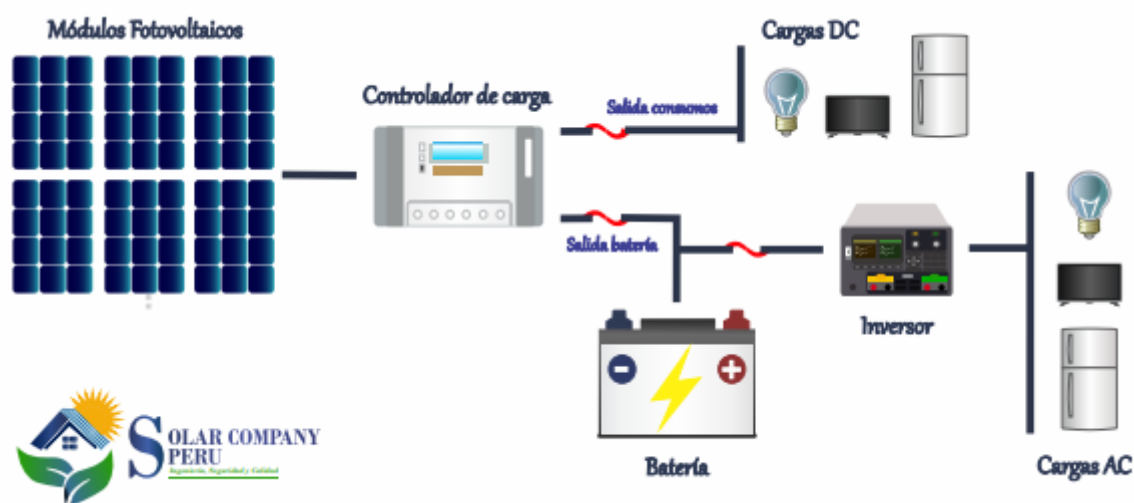
incluir baterías para almacenamiento de energía, que deben tener la capacidad suficiente para almacenar la energía producida durante el día para ser utilizada por la noche y durante períodos de mal tiempo. (Jäger et al., 2014)

En aquellos países, donde la red eléctrica no está muy extendida, los sistemas aislados cobran mucha importancia en las zonas rurales donde hacer llegar el tendido eléctrico puede resultar inviable; por lo cual muchas personas ven en estos sistemas la única posibilidad de acceder a la electricidad. (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002)

En la Figura 14 se muestra la configuración de un sistema aislado o comúnmente llamado autónomo.

**Figura 14**

*Configuración de un Sistema Aislado DC-AC*



Nota. Reproducida de Con Bus DC-AC, Solar Company Peru, Brochure Sistemas Aislados (<https://www.solarcompanyperu.com/servicios/>)

**Sistemas de conexión a red.** Este tipo de sistema se basa principalmente en un arreglo fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. Son sistemas cuya función principal es producir energía que será consumida parcial o

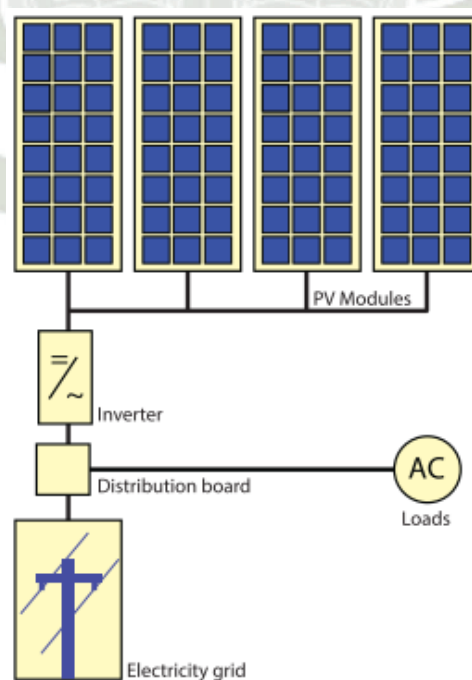
totalmente dependiendo de la carga conectada a estos arreglos fotovoltaicos según se requiera; y la energía sobrante será inyectada a la red eléctrica convencional para su distribución a otros puntos de consumo. (Perpiñan Lamigueiro, 2020)

Estos sistemas tienen una amplia gama de aplicaciones, desde pequeños arreglos de pocos kilovatios pico instalados, hasta grandes parques fotovoltaicos con varios megavatios de potencia instalados. Generalmente son instalados en zonas que disponen de red eléctrica, por lo que la energía generada se usa para el autoconsumo, generando ahorros en energía eléctrica, o directamente vendiendo la energía a la compañía de distribución eléctrica, según la legislación correspondiente. (Schallenberg et al., 2008)

La Figura 15 muestra el esquema de una instalación de un SFV conectado a la red o también llamado de autoconsumo.

### Figura 15

*Configuración de un Sistema Conectado a la Red*

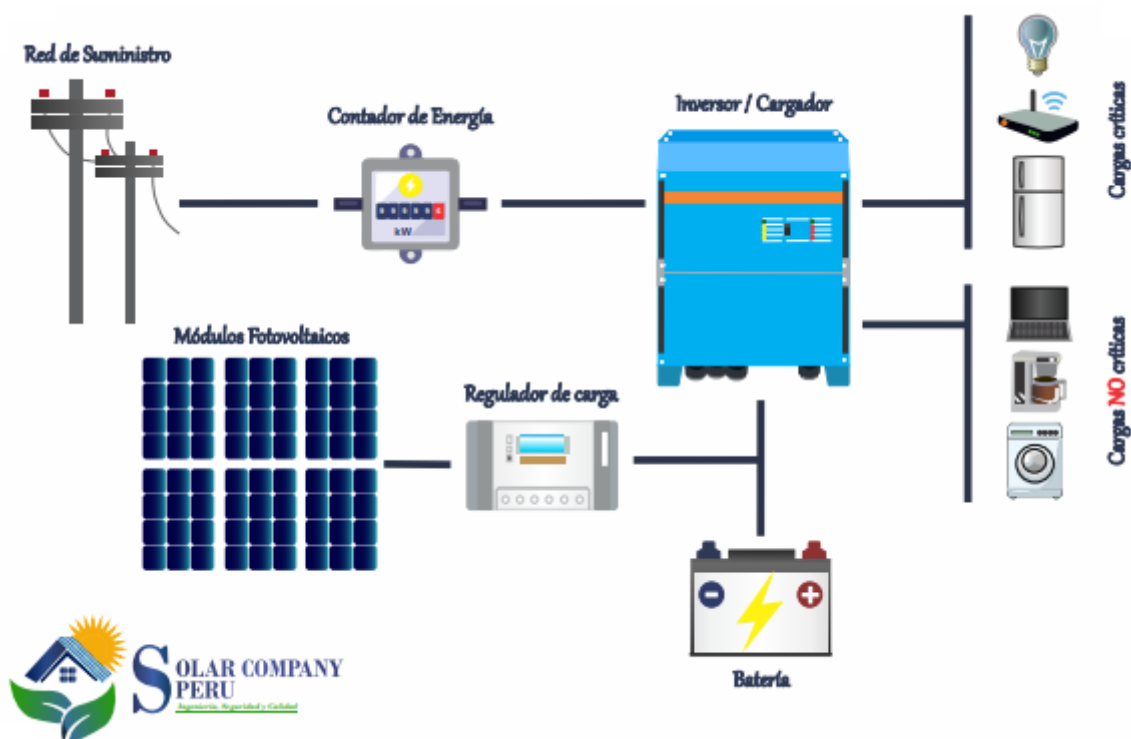


Nota. Reproducido de Representación esquemática de un SFC conectado a la red, Jäger et al., 2014, Solar Energy.

**Sistemas híbridos.** Los sistemas híbridos son aquellos que consisten en una combinación de los módulos fotovoltaicos y otra fuente de generación energética como aerogeneradores, grupos electrógenos, entre otros; inclusive se suele usar la red eléctrica de suministro como respaldo energético. El esquema de un sistema híbrido se muestra en la Figura 16. (Jäger et al., 2014)

**Figura 16**

*Configuración de un Sistema Híbrido.*



Nota. Reproducida de Con Bus DC-AC, Solar Company Peru, Brochure Sistemas Aislados (<https://www.solarcompanyperu.com/servicios/>)

Como se puede observar tanto en los sistemas aislados y los sistemas híbridos, se necesita algún tipo de almacenamiento de energía. Normalmente se emplean baterías cuando se desea utilizar aparatos eléctricos en los periodos donde no haya producción fotovoltaica; en otras aplicaciones, se almacena la energía eléctrica en forma energía hidráulica en tanques elevados cuando se requiere un sistema de bombeo solar, o también en forma de aire

comprimido en plantas industriales para su uso en los procesos de producción. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

## **2.5. Componentes de un Sistema de Generación Fotovoltaico**

Un sistema fotovoltaico, independiente de la configuración que posea, contiene diferentes componentes que van más allá de los módulos fotovoltaicos. Para un correcto diseño de un SFV es necesario entender que son y la función que cumplen estos componentes.

Los elementos generales que componen un SFV son los módulos fotovoltaicos, el regulador de carga, la batería y el inversor. Los sistemas de acumulación o baterías son necesarios para almacenar la energía eléctrica producida que no se utiliza inmediatamente o cubrir la demanda energética en ausencia de producción. El regulador de carga es el elemento que controla el estado de la batería ante posibles problemas de sobrecargas excesivas o descargas. El inversor o convertidor de corriente continua a alterna transforma la corriente continua a una corriente alterna adecuada para el consumo.

### **2.5.1. Módulo Fotovoltaico**

Una célula fotovoltaica genera una corriente y un voltaje muy pequeños para alimentar cargas convencionales; por lo cual se debe asociar varias células solares en serie o en paralelo para incrementar el voltaje o la corriente respectivamente para la utilización práctica de la energía. A esta asociación de celdas se le conoce como módulo fotovoltaico o panel solar; que además de proteger físicamente las células de la intemperie, las aísla eléctricamente del exterior y brinda rigidez mecánica al conjunto. (Sanchez Juarez et al., 2017)

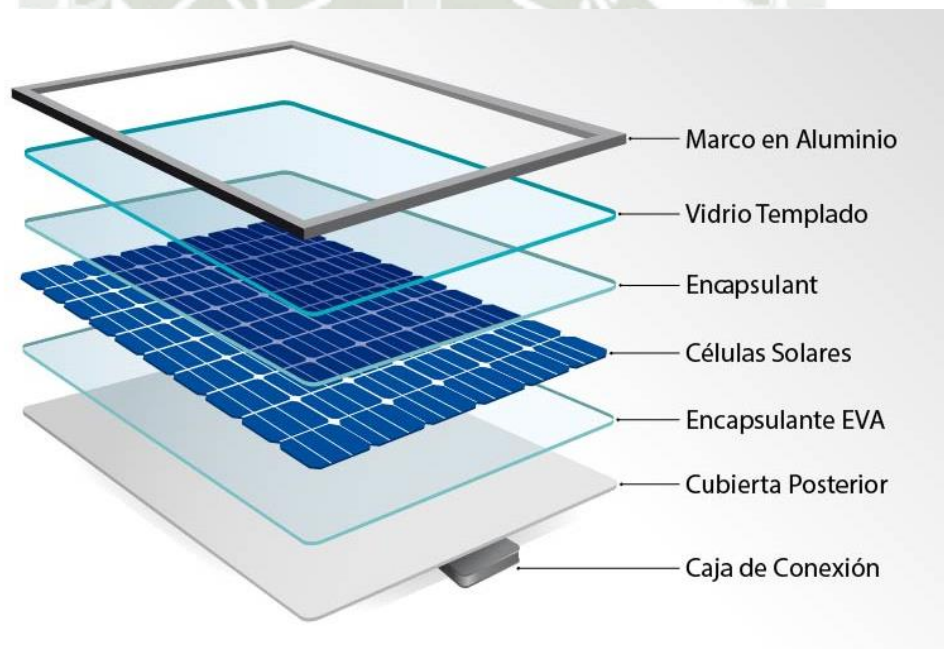
En la actualidad existen multitud de módulos diferentes que se diferencian por su configuración eléctrica, sus características estéticas y estructurales, sus materiales y hasta por la tecnología que emplean. En general, un panel solar está formado por un conjunto de células interconectadas entre sí que son encapsuladas en dos capas de EVA entre una lámina de vidrio

y una capa de un polímero termo-plástico, comúnmente Tedlar, u otra lámina de cristal, en el caso de células bifaciales. Normalmente este conjunto es enmarcado en una estructura de aluminio anodizado con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte. (Perpiñan Lamigueiro, 2020)

En la Figura 17, se muestra un esquema con los componentes que generalmente se usan en la producción de módulos fotovoltaicos.

### Figura 17

#### *Partes de un Módulo Fotovoltaico*



Nota. Reproducido de ¿Qué partes componen un panel solar?, INELDEC (<https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>)

**Parámetros de estandarización.** En la actualidad, la fabricación de módulos fotovoltaicos se realiza siguiendo normas internacionales y parámetros de estandarización con los que se determinan la curva característica I-V y otros parámetros, necesarios para conocer el comportamiento eléctrico del módulo.

Normalmente se utilizan las condiciones estándar de medida (STC, por sus siglas en inglés); y las condiciones de temperatura de operación nominal de la célula (NOCT, por sus siglas en inglés).

Los parámetros brindados en base a las condiciones STC informan las características técnicas del módulo fotovoltaico en condiciones ideales o condiciones de laboratorio; en cambio las condiciones NOCT se evalúan bajo condiciones de operación normales. En la Tabla 2 se muestran los parámetros mencionados.

**Tabla 2***Condiciones STC y NOCT*

	STC	NOCT
Irradiancia	1000 W/m <sup>2</sup>	800 W/m <sup>2</sup>
Distribución espectral	AM 1.5	AM 1.5
Temperatura ambiente	25 °C	20 °C
Velocidad del viento		1 m/s

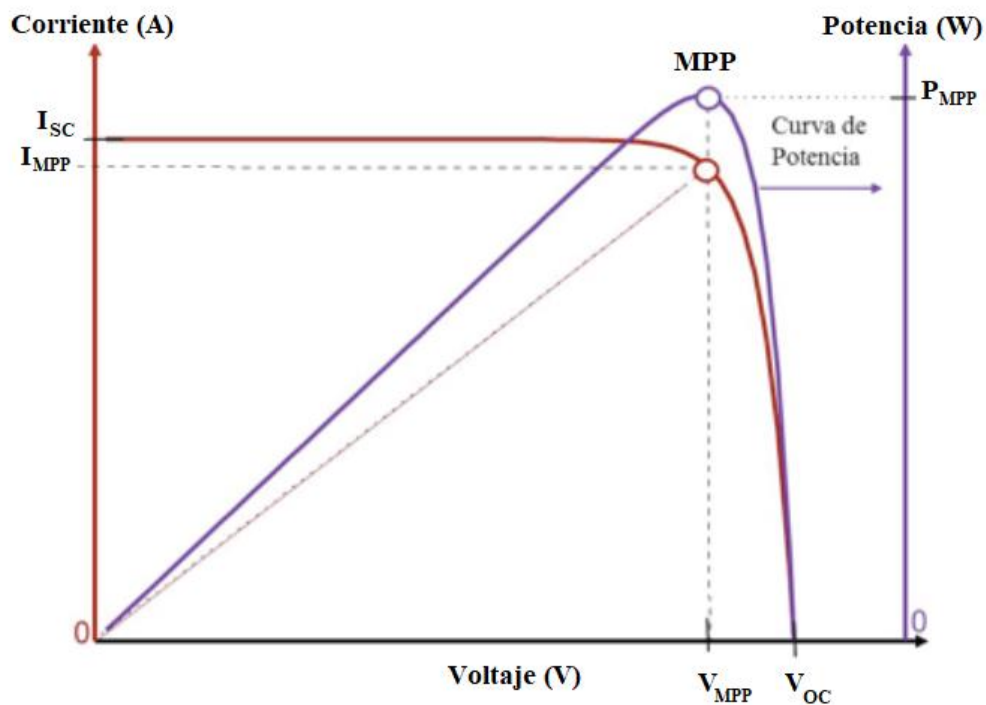
**Parámetros eléctricos de un módulo.** La célula fotovoltaica es un generador de corriente continua que se comporta como una fuente de tensión y una fuente de corriente; por lo cual a partir de estas dos magnitudes se define el comportamiento eléctrico de los módulos mediante las curvas de corriente versus voltaje (I-V) y potencia versus voltaje (P-V) que lo caracteriza.

El trazado de la curva característica I-V es uno de los ensayos que se realizan para determinar las características eléctricas de un panel fotovoltaico; para esto el módulo es sometido a las condiciones STC mencionadas en el apartado anterior. A cada punto de la curva le corresponde le corresponde una potencia genera bajo las condiciones STC, con lo cual se

construye a su vez la curva P-V, como se muestra en la Figura 18. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

### Figura 18

*Curva I-V y P-V Representando los Parámetros Eléctricos de un Módulo Fotovoltaico*



Nota. Adaptado de Curvas I vs V y P vs V identificando los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico, Sánchez et al., 2017, Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial.

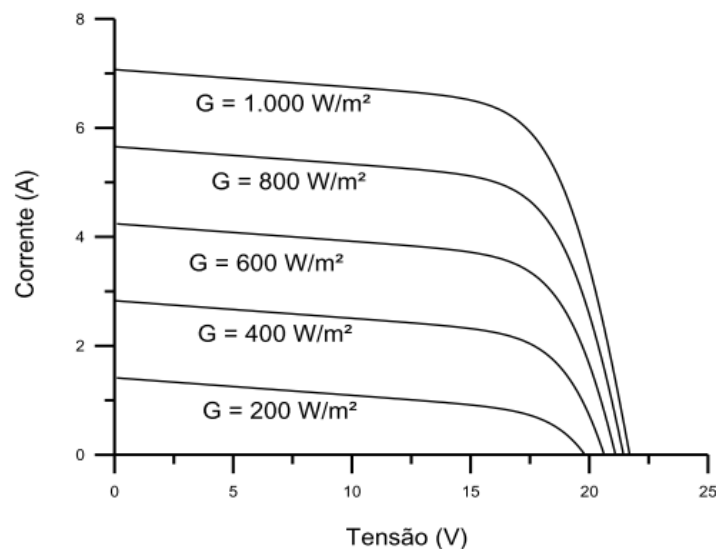
En la curva P-V, se identifica el punto con el máximo valor, al cual se le conoce como punto de máxima potencia (MPP), al cual le corresponde una potencia  $P_{MPP}$ , una corriente  $I_{MPP}$  y una tensión  $V_{MPP}$ . Así como, en la curva I-V, se identifica los parámetros de corriente de corto circuito  $I_{SC}$  y la tensión de circuito abierto  $V_{OC}$ . Estas características son necesarias para el diseño de un sistema fotovoltaico.

**Efecto de la radiación.** Debido a que el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica proviene principalmente de la radiación solar que incide en los módulos fotovoltaicos; es esta la magnitud que afecta fundamentalmente el desempeño de los paneles.

Los cambios en la magnitud de la irradiancia producen cambios en la corriente eléctrica generada por el módulo; por lo que la corriente de corto circuito muestra un aumento lineal con la irradiancia como se muestra en la Figura 19. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

### Figura 19

*Efecto de la Irradiancia en los Módulos Fotovoltaicos*



Nota. Reproducido de Efecto causado por la variación de la irradiancia solar sobre la curva característica I-V para un módulo fotovoltaico de 36 células de silicio cristalino, Tavares Pinho et al., 2014, Manual de ingeniería para sistemas fotovoltaicos.

Se puede observar que la irradiancia tiene una relación directamente proporcional a corriente generada, por lo cual mediante una regla de tres simple se puede saber el valor de la corriente para una irradiancia cualquiera. Por ende, se cumple la siguiente ecuación.

$$I_{SC}^* = I_{SC_{STC}} \cdot \frac{G^*}{1000 \text{ W/m}^2}$$

Donde:

$G^*$ : Irradiancia de operación ( $\text{W/m}^2$ )

$I_{SC_{STC}}$ : Corriente de corto circuito bajo condiciones STC (A)

$I_{SC}^*$ : Corriente de corto circuito de operación (A)

**Efecto de la temperatura.** La incidencia de la radiación solar y la variación de la temperatura ambiente producen una variación en las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos; lo cual afecta principalmente al voltaje generado por las células fotovoltaicas.

Para realizar el cálculo de la temperatura de las células, es necesario conocer la temperatura de operación nominal de la célula que es la temperatura que alcanzan las células al experimentar los parámetros de las condiciones NOCT mostradas en la Tabla 2. Lo cual se expresa en la siguiente fórmula.

$$T_{cell} = T_{amb} + (NOCT - 20 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot \frac{G}{800 \text{ W/m}^2}$$

Donde:

$G$ : Irradiancia de operación ( $\text{W/m}^2$ ).

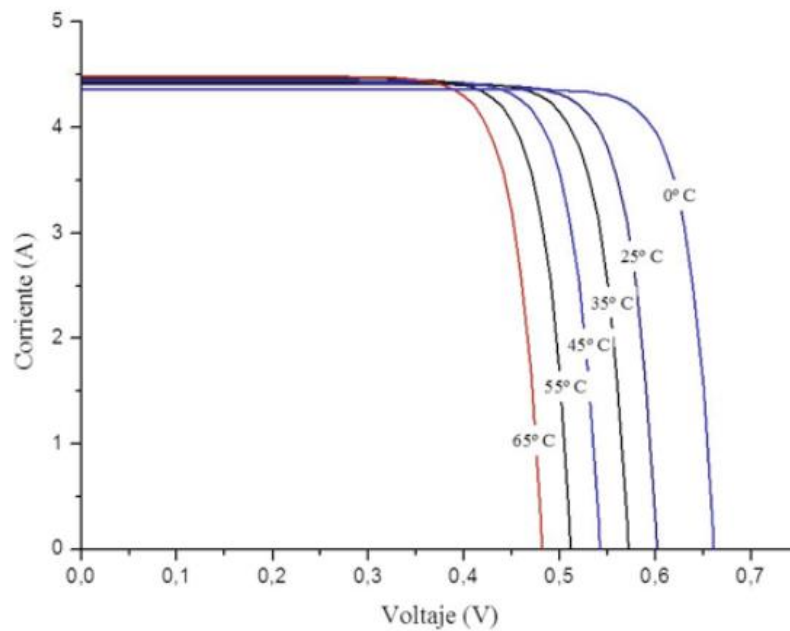
$NOCT$ : Temperatura bajo condiciones NOCT ( $^\circ\text{C}$ ).

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente ( $^\circ\text{C}$ )

En la Figura 20, se puede observar el comportamiento eléctrico simulado de una célula fotovoltaica en función de la temperatura de la celda.

**Figura 20**

*Efecto de la Temperatura en los Módulos Fotovoltaicos*



Nota. Reproducido de Efecto de la temperatura sobre los parámetros eléctricos de la celda solar, Sánchez et al., 2017, Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial.

La variación de los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico considerando la variación de temperatura y radiación en su operación, viene dado por las siguientes ecuaciones.

$$V_{OC_{T_{cell}}} = V_{OC_{STC}} \cdot (1 + \beta \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C))$$

$$I_{SC_{T_{cell}}} = I_{SC_{STC}} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C)) \frac{G}{1000 W/m^2}$$

$$P_{MPP_{T_{cell}}} = P_{MPP_{STC}} \cdot (1 + \gamma \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C)) \frac{G}{1000 W/m^2}$$

Donde:

$V_{OC_{STC}}$ : Tensión de circuito abierto bajo condiciones STC (V).

$I_{SC_{STC}}$ : Corriente de corto circuito bajo condiciones STC (A)

$P_{MPP_{STC}}$ : Potencia máxima bajo condiciones STC (W)

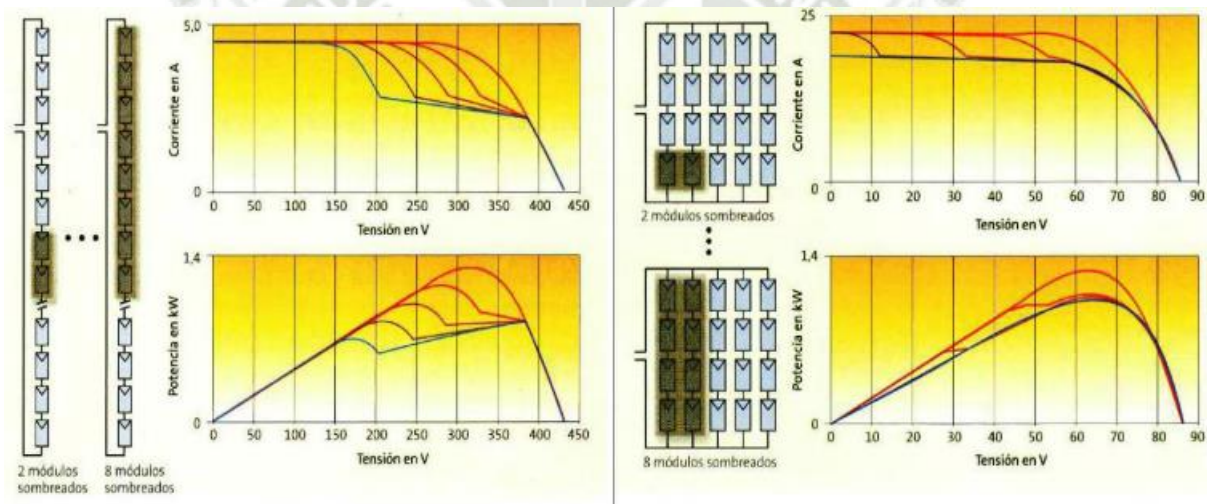
$T_{cell}$ : Temperatura de la célula ( $^{\circ}C$ )

$\alpha, \beta, \gamma$ : Coeficientes de variación de temperatura brindados por el fabricante ( $\%/^{\circ}C$ )

**Efecto del sombreado.** Un aspecto importante a considerar es el sombreado en los módulos fotovoltaicos, ya que esto puede producir que algunas celdas estén generando y otras consumiendo potencia, limitando así la potencia generada como se muestra en la Figura 21.

**Figura 21**

*Efecto del Sombreado Representado en las Curvas I-V y P-V*



Nota. Reproducido de Efecto de sombreado, Espinoza Paredes et al., 2017, La ingeniería fotovoltaica.

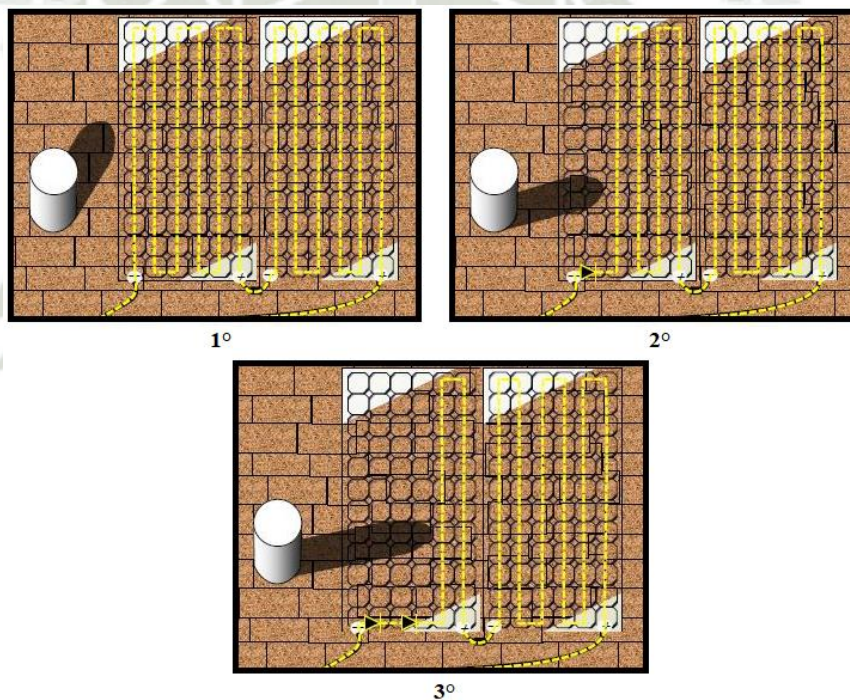
Además de la pérdida de potencia en el generador fotovoltaico, existe un riesgo de daño al módulo parcialmente sombreado; ya que, al no poder disipar la energía generada hacia los consumos, se produce un fenómeno en la célula sombrada llamada “punto caliente” que produce desde un calentamiento de la célula afectada hasta ruptura del vidrio del módulo o fusión de los polímeros y metales. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

Para evitar los problemas en el funcionamiento de los paneles mencionados, se inserta un diodo de paso después de cada cierta cantidad de células conectadas en serie que provee un camino alternativo para que la potencia generada por otras células no se vea afectada por sombreado o alguna falla en las células de una rama. (Espinoza Paredes et al., 2017)

En la Figura 22 se muestra el funcionamiento de los diodos de paso que se activan al avanzar la sombra un objeto a lo largo del día.

**Figura 22**

*Funcionamiento de los Diodos de Paso*



**Estructuras de soporte.** Los módulos deben montarse en estructuras que permitan orientar su superficie perpendicularmente hacia los rayos solares para así aprovechar la mayor cantidad de energía posible, además de permitirle a la instalación una mayor disponibilidad de luz solar; para esto es necesario orientar los módulos mirando hacia el Ecuador siempre que sea posible.

Debido a que las instalaciones solares fotovoltaicas son muy versátiles, estas se pueden instalar se pueden instalar en edificios, en infraestructuras urbanas o en campo abierto dependiendo de su aplicación. Por lo cual, la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos depende de la latitud del lugar donde se van a instalar, de la tipología de la instalación, es decir si es conectada o aislada de la red eléctrica y del terreno donde se instalará. (Schallenberg et al., 2008)

Según el tipo de orientación, las estructuras de soporte se pueden clasificar en estructuras fijas y estructuras móviles.

**Estructuras fijas.** Son aquellas que mantienen una sola posición adecuada a los módulos durante toda su vida útil, por lo cual la orientación y el ángulo de inclinación es de suma importancia en el diseño del SFV. Una regla practica para escoger el ángulo de inclinación de los módulos para maximizar la generación de la energía es la siguiente.

$$\begin{array}{ll} \text{VERANO} & \beta = L - 15^\circ \\ \text{INVIERNO} & \beta = L + 15^\circ \end{array}$$

Donde

$\beta$ : Ángulo de inclinación.

$L$ : Latitud.

**Estructuras móviles.** Debido a que la mayor captación de energía se realiza cuando los rayos inciden de manera perpendicular a los módulos, estas estructuras mediante un sistema de seguimiento del Sol (tracking) permiten una mayor captación de los rayos solares aumentando la producción hasta en un 50% a comparación de las estructuras fijas; esto permite que los inversores trabajen mayor tiempo a su máxima potencia por lo que aumenta el rendimiento global del sistema. (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002)

Sin embargo, algunos puntos negativos de este tipo de estructuras son que el costo de la instalación aumenta, sin personal especializado para su operación su confiabilidad disminuye y el costo de mantenimiento también se eleva. Por lo cual se requiere un correcto análisis técnico económico para la elección de un correcto tipo de estructuras. (Sanchez Juarez et al., 2017)

En la figura 23, se muestran los tipos de estructura tanto fijas como móviles.

**Figura 23**

*Tipos de Estructuras de Soporte.*



Nota. Se muestra arreglos fotovoltaicos con (a) estructuras fijas y (b) estructuras móviles.

### **2.5.2. Regulador de Carga**

Los reguladores de carga, también llamados controladores, son dispositivos que se encuentran en la mayoría de SFV aislados y contribuyen en generar las condiciones de operación adecuadas de la batería para protegerla de cargas y descargas excesivas; aumentando así la vida útil de los bancos de baterías, cobrando importancia puesto que los daños en las baterías suelen ser irreversibles. (Espinoza Paredes et al., 2017)

Si bien existen varios tipos de controladores de carga, en la actualidad se utilizan mayormente los controladores tipo PWM y MPPT.

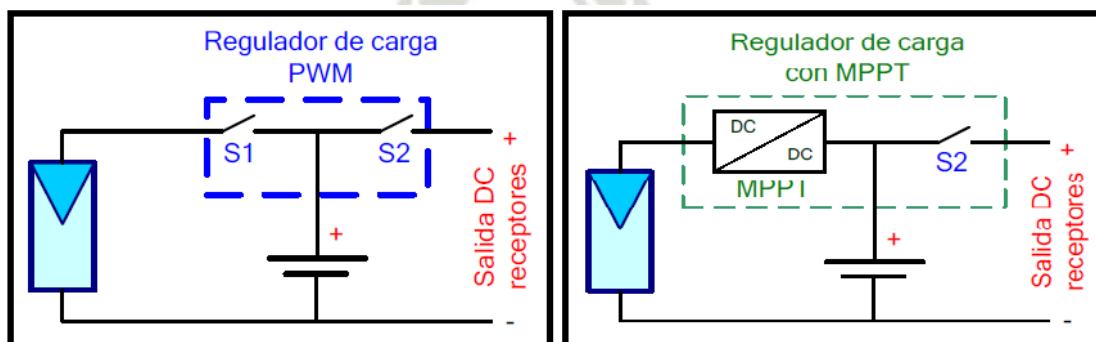
**Controlador de carga de 3 - 4 estados.** Este tipo de controladores convencionales están limitados para sistemas que alimenten cargas pequeñas de hasta 200 Wp. En los sistemas modernos son equipamientos de electrónica de potencia con microprocesadores que utilizan el algoritmo denominado PWM (pulse with modulation, modulación por ancho de pulso) y efectúan la carga de baterías en 3 estados y da opción a un 4to estado opcional para mantenimiento de las baterías. (Espinoza Paredes et al., 2017)

**Controlador de carga MPPT (Multi Point Power Tracking).** Estos son los controladores más complejos y completos que existen en la actualidad, ya que disponen estrategias de seguimiento del punto de máxima potencia del arreglo fotovoltaico, lo cual permite un incremento en la eficiencia del sistema. En este caso el equipo opera con una tensión más elevada en el punto de entrada que los de tipo PWM e incluye un conversor CC – CC como primer estado, de forma de alcanzar un mejor balance entre la curva I-V del módulo y las baterías. (Espinoza Paredes et al., 2017)

En la figura 24 se muestra la configuración de ambos controladores, así como sus componentes.

**Figura 24**

*Configuración de los Controladores PWM y MPPT*



### **2.5.3. Baterías o Acumuladores de Carga**

Debido a que la energía solar es una fuente energética dependiente del clima, estación y hora del día; es necesario, para algunas aplicaciones, implementar algún tipo de almacenamiento de energía, ya sea en forma de energía eléctrica, térmica u otras, para su uso posterior en procesos o actividades en los horarios en los que no se genera energía eléctrica desde los módulos fotovoltaicos. (Nandwani, 2005)

En los sistemas fotovoltaicos autónomos e híbridos, es común usar baterías para el almacenamiento de energía eléctrica para atender la demanda en los periodos en los que la generación es nula o insuficiente. Por eso parte de la energía generada durante el día es utilizada para llenar las baterías para así atender la demanda en otros momentos. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

Una batería es un conjunto de células o vasos electroquímicos, conectados en serie o paralelo, que son capaces de transformar y almacenar la energía eléctrica en forma de energía química mediante un proceso de oxidación y reducción que ocurre en su interior. (Tavares Pinho & Galdino, 2014)

Muchos tipos de baterías son utilizadas en las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos, actualmente las más utilizadas son las baterías de plomo – ácido (Pb-ac); sin embargo, las baterías de litio están convirtiéndose en una gran alternativa con muchas ventajas respecto de las anteriores.

### **2.5.4. Inversor**

Los inversores son dispositivos electrónicos imprescindibles en una instalación solar fotovoltaica, ya que son los encargados de transformar la energía eléctrica generada por los módulos, que se encuentra en corriente continua (c.c.) a corriente alterna (c.a.), para así

alimentar las cargas que funcionen con este tipo de energía y además permitir un correcto acoplamiento con la red eléctrica según se requiera.

Algunos inversores también pueden funcionar como cargadores realizando el proceso de transformación a la inversa, ya que permiten la carga de las baterías en algunos tipos de sistemas híbridos cuando no solo se utiliza la generación mediante los módulos fotovoltaicos.

En algunos países, existen regulaciones por las cuales se permite la inyección del excedente de energía eléctrica generada hacia la red eléctrica de distribución, por lo cual los inversores deben poder satisfacer los parámetros eléctricos necesarios para tener sincronía con la tensión de la red para su conexión y apropiado funcionamiento en la interacción con la red. (Espinoza Paredes et al., 2017)

Cuando no se permite la inyección de energía a la red, los inversores deben ser capaces de garantizar un funcionamiento automático, el seguimiento del punto de máxima potencia y actuando como controlador permanente de aislamiento para la conexión–desconexión automática de la instalación. (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002)

## Capítulo III

### 3. Estudios Técnicos Básicos

#### 3.1. Ubicación de la Planta

El proyecto se realizará en una planta de evaporación que se encuentra ubicada en el distrito de Majes, el cual es uno de los veinte distritos que conforman la provincia de Caylloma del departamento de Arequipa.

En la Figura 25 se muestra un área, de aproximadamente tres hectáreas, que estaría disponible para la elaboración del proyecto en color verde, donde se colocaría el arreglo fotovoltaico que serviría para cubrir la demanda energética de la planta para así reducir los costos de consumo eléctrico.

#### Figura 25

*Ubicación del Espacio Disponible*



Nota. Reproducido de Google Earth

### 3.2. Estudio Solar

Como se mencionó en el capítulo dos, el estudio del movimiento del sol respecto de la tierra es de vital importancia para maximizar el aprovechamiento de la radiación solar por parte de los módulos fotovoltaicos aumentando así tanto la eficiencia como la disponibilidad del arreglo fotovoltaico.

Las principales magnitudes que afectan el desempeño de los sistemas fotovoltaicos son la orientación de los módulos, el nivel de radiación que incide sobre los mismos y la temperatura ambiente de la zona de estudio; para esto utilizaremos el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS), el cual nos permite obtener datos históricos mediante su herramienta de irradiación solar sobre cualquier lugar de África, América, Asia y Europa sobre niveles de irradiación, irradiancia, temperatura, entre otros.

#### 3.2.1. Orientación del Arreglo Fotovoltaico

Los ángulos de orientación o azimut y de inclinación son parámetros de vital importancia para el diseño de un sistema de generación fotovoltaico; donde el ángulo de azimut es aquel que presentan los módulos respecto del norte y el de inclinación, aquel que presentan los mismos respecto del terreno.

Debido a que el terreno disponible se encuentra en un lugar abierto y sin obstáculos que produzcan sombra, podemos elegir un ángulo de azimut de  $0^\circ$ , es decir que orientaremos los módulos hacia el norte para maximizar la captación de energía.

Para las características de este proyecto se eligió estructuras fijas para el montaje de los módulos, debido a que así se abaratan los costos tanto de instalación, mantenimiento y operación; por lo cual utilizaremos una regla práctica que nos permite escoger el ángulo de

inclinación óptimo para maximizar la captación de energía durante una época determinada, como se muestra en las fórmulas siguientes.

$$VERANO \quad \beta = L - 15^\circ$$

$$INVIERNO \quad \beta = L + 15^\circ$$

Donde:

$\beta$ : Ángulo de inclinación.

$L$ : Latitud.

El terreno se encuentra ubicado a una latitud aproximada de  $16^\circ$  hacia el sur; esta latitud la reemplazaremos en las fórmulas anteriores lo cual nos da una inclinación óptima de  $1^\circ$  para la estación de verano y de  $31^\circ$  para la estación de invierno.

Estos valores se utilizarían según el tipo de trabajo que se realiza dentro de la planta o según el tipo de aplicación que tendría el sistema solar fotovoltaico; en el caso de este proyecto la producción no depende de factores estacionales, es decir que se realiza durante todo el año sin interrupción, por lo cual hay que realizar la elección de un ángulo que favorezca niveles de irradiación constantes durante todo el año.

### 3.2.2. Niveles de Radiación para Majes

El elemento base de un sistema fotovoltaico es el aprovechamiento de la radiación solar; ya que, mediante módulos o también llamados paneles solares, se permite la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Por lo cual, a mayor nivel de radiación solar, es posible generar mayor cantidad de electricidad.

En la figura 26 se muestra la distribución de radiación solar en el territorio peruano, se puede observar que en la zona sur del Perú hay niveles de radiación muy altos por lo cual es una zona ideal para su aprovechamiento energético.

**Figura 26***Distribución de Radiación en Perú*

Nota. Adaptado de Global Solar Atlas (<https://globalsolaratlas.info/map>)

En el apartado anterior obtuvimos que la inclinación óptima para los meses de verano sería de  $1^\circ$  y para los meses de invierno sería de  $31^\circ$ ; por lo cual en la tabla 3 se muestra los datos de irradiación global promedio para el terreno teniendo en cuenta la inclinación de los módulos en las estaciones de verano e invierno, así como una orientación de los mismos hacia el norte.

Debido a que la producción en la planta de evaporación es continua, también se considera un ángulo intermedio de  $15^\circ$  que nos permite tener niveles de irradiación medios durante todas las estaciones del año.

**Tabla 3***Irradiación Global Promedio Mensual sobre el Terreno*

Orientación	Verano		Invierno
	1°	15°	31°
Enero	<b>7.64</b>	7.15	6.23
Febrero	<b>5.96</b>	5.82	5.38
Marzo	6.25	<b>6.39</b>	6.20
Abril	6.12	6.66	<b>6.90</b>
Mayo	5.72	6.64	<b>7.28</b>
Junio	5.42	6.50	<b>7.33</b>
Julio	5.66	6.70	<b>7.47</b>
Agosto	6.31	7.09	<b>7.55</b>
Septiembre	7.29	<b>7.69</b>	7.68
Octubre	<b>7.85</b>	7.76	7.21
Noviembre	<b>8.13</b>	7.64	6.64
Diciembre	<b>8.09</b>	7.42	6.26

Nota. Datos expresados en  $kWh/m^2 \cdot día$ 

### 3.3. Requisitos del Diseño

La demanda energética de la planta es un parámetro determinante para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico, ya que dependiendo de esta podremos definir qué tipo de equipos se utilizarán y que área se necesitará para el campo fotovoltaico.

La planta a la cual alimentaremos realiza distintos procesos de tratamiento a la leche, como el enfriamiento, evaporación, calentamiento y refrigeración de la misma, desde el acopio hasta su despacho hacia otras plantas de la región o del Perú.

Por lo mencionado la planta llega a utilizar una potencia de 1 MW durante el día, para ello utilizaremos este valor para realizar el diseño del arreglo fotovoltaico; además es importante mencionar el hecho de que la planta mantiene un consumo relativamente constante

durante el año puesto que los procesos con una mayor demanda energética no se detienen en todo el día.



## Capítulo IV

### 4. Ingeniería del Proyecto

Debido a la gran cantidad de energía necesaria para este proyecto, el tipo de sistema fotovoltaico más adecuado es uno conectado a la red (On-grid) para aprovechar directamente la energía generada por los módulos sin necesidad de almacenar la misma en baterías.

Un aspecto importante a considerar es el hecho que en la legislación actual no está permitido la inyección de energía eléctrica a la red; por lo cual el sobredimensionamiento que permite maximizar la cantidad de energía disponible para el uso de la planta debe ser escogido con criterio para evitar tener gran cantidad de energía sin aprovechar, lo cual se vería en un incremento del costo del proyecto.

#### 4.1. Dimensionamiento del Arreglo Fotovoltaico

Para la elección de un proveedor de los equipos es necesario tener en cuenta la experiencia del mismo en el sector, la durabilidad y calidad de sus productos, el rendimiento técnico de sus productos, la disponibilidad, cobertura y soporte para proyectos; así como que sus productos tengan un precio y características competitivas en el mercado.

##### 4.1.1. Selección de Módulos Fotovoltaicos

En el mercado actual existe gran cantidad de oferta de módulos con tecnologías y características eléctricas diferentes como se mencionó en el capítulo 2, por lo cual se ha seleccionado el módulo fotovoltaico monocristalino Vertex 500W en la marca Trina Solar; el cual es uno de los últimos modelos de la marca mencionada que han ingresado al mercado peruano.

Se eligió el panel anterior debido a que es un modelo de alta eficiencia que está construido con tecnología PERC, célula partida y multi-busbar; esto le permite alcanzar

potencias elevadas de hasta 505 Wp, lo cual lo convierte en un excelente candidato para proyectos de grandes potencias.

En la Tabla 4, se muestran los parámetros eléctricos del panel Trina Vertex 500W que serán necesarios para el diseño del arreglo fotovoltaico.

**Tabla 4**

*Parámetros Eléctricos del Módulo Trina Vertex 500W*

Descripción	Magnitud	Unidad
Potencia Máxima - $P_{PMP}$	500.0	Wp
Voltaje de Máxima Potencia - $V_{PMP}$	51.70	V
Corriente de Máxima Potencia - $I_{PMP}$	12.28	A
Voltaje de Corto Circuito - $V_{OC}$	42.80	V
Corriente de Circuito Abierto - $I_{SC}$	11.69	A
Coefficiente de Temperatura de Corriente - $\alpha$	0.04	%/°C
Coefficiente de Temperatura de Voltaje - $\beta$	-0.26	%/°C
Coefficiente de Temperatura de Potencia - $\gamma$	-0.36	%/°C
Temperatura Nominal de Operación de la Célula - NOCT	41.0	°C

Nota. Valores obtenidos de la ficha técnica del fabricante Trina Solar.

#### 4.1.2. Selección del Inversor

Existe una gran cantidad de fabricantes reconocidos mundialmente que ponen a nuestro servicio distintos tipos de inversores, estos se adaptan a cada una de las aplicaciones que tiene la tecnología fotovoltaica; para este proyecto se eligió el inversor Sunny Highpower Peak3 de la marca SMA, el cual nos brinda una tecnología novedosa de un inversor de alta potencia que posee un solo regulador MPPT.

Este inversor descentralizado nos brinda las características de un sistema centralizado usado en grandes centrales solares sin eliminar la versatilidad de los sistemas descentralizados usados convencionalmente en aplicaciones de menor potencia.

En este proyecto usaremos siete inversores de 150 kW, los cuales nos permitirán satisfacer la demanda energética de la planta; en la tabla 5 se muestran los parámetros eléctricos del inversor Sunny Highpower Peak3 que serán necesarios para el diseño el sistema.

**Tabla 6***Parámetros Eléctricos del Inversor SMA Sunny Highpower Peak3*

Descripción	Magnitud	Unidad
Potencia Nominal de Salida - $P_{AC}$	150000	W
Potencia Máxima de Entrada - $P_{DC\_máx}$	225000	W
Voltaje Máximo de Entrada - $V_{DC\_máx}$	1500	V
Voltaje Mínimo de Entrada - $V_{DC\_mín}$	880	V
Corriente Máxima de Entrada - $I_{DC\_máx}$	180	A
Rendimiento Máximo - $\eta$	99.1	%
Factor de Potencia - $\cos \varphi$	1	

Nota. Valores obtenidos de la ficha técnica del fabricante SMA Solar.

**4.1.3. Elección de la Configuración de los Módulos Fotovoltáicos.**

La cantidad, la disposición y la conexión de los módulos están determinadas tanto por la forma y tamaño del terreno, así como por las características eléctricas de los paneles y del inversor; un correcto dimensionamiento permite la satisfacción de las necesidades energéticas de la planta de evaporación.

En este proyecto usaremos siete inversores el modelo nombrado anteriormente obteniendo así una especie de subgrupos de generación que formarían parte del sistema descentralizado que se propone, para conocer la cantidad máxima de paneles que se pueden colocar en serie y cuantas cadenas de módulos se pueden colocar conectadas un inversor se utilizan las siguientes fórmulas.

$$\#Mód.Serie_{máx} = \frac{V_{DC\_máx(Inv)}}{V_{OC(Mód)}}$$

$$\#Mód.Serie_{mín} = \frac{V_{DC\_mín(Inv)}}{V_{PMP(Mód)}}$$

$$\#Cadenas_{máx} = \frac{I_{DC\_máx(Inv)}}{I_{PMP(Mód)}}$$

Reemplazando los datos de las tablas 4 y 5 en las ecuaciones anteriores se obtiene las cantidades máximas y mínimas de módulos que se pueden utilizar para un inversor, que para este proyecto resulta que se pueden obtener como máximo 15 ramas en paralelo, dentro de las cuales pueden ir conectados en serie desde 20 hasta 29 módulos como máximo.

En la tabla 6, se muestra algunas configuraciones de arreglos fotovoltaicos que se puede elegir y los parámetros eléctricos que nos brindarían cada uno de los siete inversores a utilizar.

**Tabla6**

*Posibles Configuraciones de Cada Subgrupo del Campo FV*

Parámetros	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
<i>#Mód.Serie</i>	24	25	27	28	29
<i>#Cadenas</i>	15	14	13	12	11
$V_{OC}$ (V)	1240.8	1292.5	1395.9	1447.6	1499.3
$V_{PMP}$ (V)	1027.2	1070.0	1155.6	1198.4	1241.2
$I_{PMP}$ (A)	175.35	163.66	151.97	140.28	128.59
$P_{PMP}$ (W)	180000	175000	175500	168000	159500
<i>#Módulos</i>	360	350	351	336	319

Se ha elegido la primera configuración mostrada en la tabla 6, puesto que ella permite un buen sobredimensionamiento del 20.0 % aproximadamente otorgando 1.260 MW de potencia a la planta de evaporación, lo cual satisface la demanda energética de la misma.

En el capítulo anterior se mostró la importancia del ángulo de inclinación de los módulos, por ello se considera que el mejor ángulo para este proyecto es de 15°, que permite un aprovechamiento de la radiación casi constante durante todo el año.

Como se explicó en el capítulo 2, la variación de la irradiación y temperatura son aspectos muy importantes a considerar, ya que estos afectan directamente al funcionamiento del los módulos fotovoltaicos variando la corriente y el voltaje de la configuración elegida mediante las siguientes formulas.

$$V_{OC_{T_{cell}}} = V_{OC_{STC}} \cdot (1 + \beta \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C))$$

$$I_{SC_{T_{cell}}} = I_{SC_{STC}} \cdot (1 + \alpha \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C)) \frac{G}{1000 W/m^2}$$

$$P_{MPP_{T_{cell}}} = P_{MPP_{STC}} \cdot (1 + \gamma \cdot (T_{cell} - 25^{\circ}C)) \frac{G}{1000 W/m^2}$$

Donde:

$V_{OC_{STC}}$ : Tensión de circuito abierto bajo condiciones STC (V).

$I_{SC_{STC}}$ : Corriente de corto circuito bajo condiciones STC (A)

$P_{MPP_{STC}}$ : Potencia máxima bajo condiciones STC (W)

$T_{cell}$ : Temperatura de la célula (°C)

$\alpha, \beta, \gamma$ : Coeficientes de variación de temperatura brindados por el fabricante (%/°C)

En la tabla 7, se muestran todos los parámetros eléctricos de los arreglos fotovoltaicos de la configuración elegida bajo condiciones STC, así como los parámetros que se obtendría con la variación de irradiación y temperatura máxima y mínima obtenida durante el año.

**Tabla 7**

*Efecto de la Irradiación y Temperatura sobre cada Subgrupo FV*

Parámetros	STC	Máximo	Mínimo
$E \left( W/m^2 \right)$	1000	1040	905
$T_{Amb} \left( ^\circ C \right)$		23.84	22.87
$T_{Cell} \left( ^\circ C \right)$	25	51.10	46.60
$V_{OC} \left( V \right)$	1240.80	1156.5	1171.0
$I_{SC} \left( A \right)$	184.20	193.57	168.14
$V_{PMP} \left( V \right)$	1027.20	957.39	969.44
$I_{PMP} \left( A \right)$	175.35	184.27	160.06
$P_{PMP} \left( W \right)$	180000.00	169589.73	150217.50

Nota. Datos de irradiación y temperatura extraídos de PVGIS.

El arreglo fotovoltaico evaluado en la tabla 7, nos puede proporcionar 1.052 MWp de potencia pico en el mes de junio que es donde se registra la menor cantidad de radiación sobre el distrito de Majes, llegando a alcanzar su máxima potencia en el mes de octubre con 1.187 MWp; con lo cual queda demostrado que se puede abastecer durante todo el año la planta de evaporación.

#### **4.1.4. Factores de Pérdidas en la Planta**

El rendimiento del parque fotovoltaico está dado por distintos factores que generan pérdidas de energía desde la generación realizada en los módulos hasta el punto de consumo, de los cuales los más importantes son aquellos mostrados en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Rango de Valores Técnicos de Factores de Pérdidas*

Factor de Pérdida	Mínimo	Máximo
Suciedad	0 %	8 %
Inversor	2 %	10 %
Disparidad	2 %	5 %
Cableado	1 %	2 %
Reflexión	2 %	6 %
Transformadores	1 %	5%
Disponibilidad	1%	5 %
Tolerancia	2%	10 %

En la tabla 9 se muestra los valores elegidos para el desarrollo del diseño del parque fotovoltaico propuesto en este proyecto, así como el rendimiento parcial sin considerar pérdidas por temperatura

**Tabla 9**

*Rendimiento Parcial*

Factor de Pérdida	Pérdidas	Rendimiento Parcial
Suciedad	2 %	0.98
Inversor	2 %	0.98
Disparidad	2 %	0.98
Cableado	1 %	0.99
Reflexión	3 %	0.97
Transformadores	0 %	1.00
Disponibilidad	2%	0.98
Tolerancia	2%	0.98
<b>Total</b>	<b>13%</b>	<b>0.87</b>

En los sistemas fotovoltaicos, la mayor cantidad de pérdidas se producen en los módulos por efectos de la temperatura, ya que, al circular corriente por las celdas fotovoltaicas, estas comienzan a disipar calor por el efecto Joule producido en las mismas; lo cual causa una reducción en el voltaje generado que conlleva a una pérdida en la producción de electricidad.

En el apartado anterior se muestran las fórmulas para hallar la temperatura de la célula al variar la temperatura ambiente, por lo cual la pérdida de potencia producida por la variación de temperatura respecto de las condiciones STC (25°), se halla multiplicando dicha variación por el coeficiente de temperatura de potencia del módulo como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Rendimiento Global del Sistema Fotovoltaico*

Mes	T. Ambiente	T. Célula	Pérd. Temp.	Rend. Temp	Rendimiento
Enero	17.20	43.45	0.066	0.934	0.810
Febrero	16.60	42.85	0.064	0.936	0.812
Marzo	17.00	43.25	0.066	0.934	0.811
Abril	16.60	42.85	0.064	0.936	0.812
Mayo	15.60	41.85	0.061	0.939	0.815
Junio	15.30	41.55	0.060	0.940	0.816
Julio	14.00	40.25	0.055	0.945	0.820
Agosto	14.50	40.75	0.057	0.943	0.819
Septiembre	15.70	41.95	0.061	0.939	0.815
Octubre	15.90	42.15	0.062	0.938	0.814
Noviembre	15.70	41.95	0.061	0.939	0.815
Diciembre	16.20	42.45	0.063	0.937	0.814
Promedio	15.86	42.11	0.062	0.938	0.815

Como se observa en la tabla 10, el rendimiento promedio de todo el sistema fotovoltaico es de aproximadamente 81.5 % considerando las pérdidas por temperatura y todas aquellas nombradas en la tabla 9.

#### 4.1.5. Producción Energética de la Planta FV

Ya obtenido el valor del rendimiento de la planta fotovoltaica, se calcula la cantidad de energía que puede producir durante el año, considerando el ángulo de inclinación de 15° y la variación de la radiación solar, al multiplicar la potencia pico instalada por las horas de sol pico (HSP), el rendimiento y los días que tiene cada mes como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Producción Energética Mensual de la Planta FV*

Mes	HSP (15°)	Rendimiento	$kWh/día$	$kWh/mes$
Enero	7.15	0.810	7296.76	226199.66
Febrero	5.82	0.812	5952.77	166677.69
Marzo	6.39	0.811	6528.74	202390.90
Abril	6.66	0.812	6815.78	204473.39
Mayo	6.64	0.815	6819.15	211393.50
Junio	6.50	0.816	6683.58	200507.52
Julio	6.70	0.820	6925.31	214684.75
Agosto	7.09	0.819	7313.83	226728.61
Septiembre	7.69	0.815	7893.75	236812.52
Octubre	7.76	0.814	7967.27	246985.27
Noviembre	7.64	0.815	7844.46	235333.66
Diciembre	7.42	0.814	7601.65	235651.30

Nota. Datos de HSP expresados en  $kWh/m^2 \cdot día$

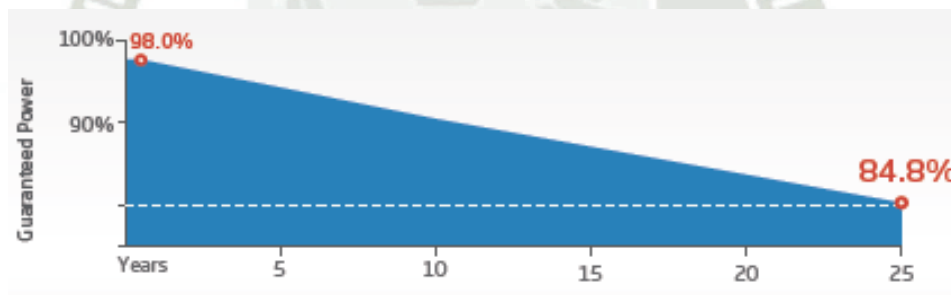
De la tabla anterior podemos observar que, sumando la producción energética mensual, al año se logra generar aproximadamente 2.608 GWh, teniendo así una producción específica de 2069.71 kWh por cada kW pico instalado.

Otro aspecto importante es la degradación anual de los módulos, que es una pérdida de rendimiento en la generación de energía eléctrica en las células a medida que pasan los años; en el caso de los módulos Trina Vertex 500W la degradación anual es de 0.55% según su ficha técnica.

En la Figura 27 se muestra la variación del rendimiento a lo largo de la vida útil de los módulos fotovoltaicos Trina Vertex 500 W

**Figura 27**

*Rendimiento Garantizado*



Nota. Reproducido de la ficha técnica del fabricante Trina Solar.

Como se observa, después el primer año se presenta una degradación del 2% y después de este se produce una degradación lineal hasta llegar al final de su vida útil a un 84.8% de eficiencia, por lo cual aproximando los valores el fabricante garantiza una degradación del 0.55% anual.

En la Tabla 12 se muestra la variación de la producción energética durante los 25 años de vida útil del módulo.

**Tabla 12***Producción Energética en 25 Años*

Año	Producción energética
Año 01	2607838.77
Año 02	2593495.66
Año 03	2576231.43
Año 04	2565045.66
Año 05	2550937.91
Año 06	2536907.75
Año 07	2522954.76
Año 08	2509078.51
Año 09	2495278.58
Año 10	2481554.54
Año 11	2467905.99
Año 12	2454332.51
Año 13	2440833.68
Año 14	2427409.10
Año 15	2414058.35
Año 16	2400781.03
Año 17	2387576.73
Año 18	2374445.06
Año 19	2361385.61
Año 20	2348397.99
Año 21	2335481.80
Año 22	2322636.65
Año 23	2309862.15
Año 24	2297157.91
Año 25	2284523.54

Nota. Datos de producción energética expresados en *kWh/año*

## 4.2. Simulación en HelioScope

HelioScope es un software de diseño especializado en sistemas fotovoltaicos que, con su interfaz amigable, robusto motor de diseño 3D y simulador de rendimiento de energía le permite al usuario realizar análisis de sombras completos, simplificar el proceso de ingeniería y utilizar herramientas de diseño con modelos de rendimiento.

Este software permite el diseño usando módulos e inversores fotovoltaicos reales de las marcas más competitivas del mercado, dentro de los cuales se encuentran los utilizados en este proyecto, además la simulación permite posicionar los módulos de tal manera que se maximice tanto el aprovechamiento de la radiación solar y del espacio disponible. Además, permite poder situar los inversores y ver la cantidad de cableado necesario para la instalación fotovoltaica.

En este proyecto se utilizan 105 grupos de 24 módulos fotovoltaicos cada uno, ordenados horizontalmente en filas de 8 módulos y columnas de 3 módulos, los cuales están dispuestos sobre el terreno disponible como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28**

*Disposición de los Grupos de Módulos*

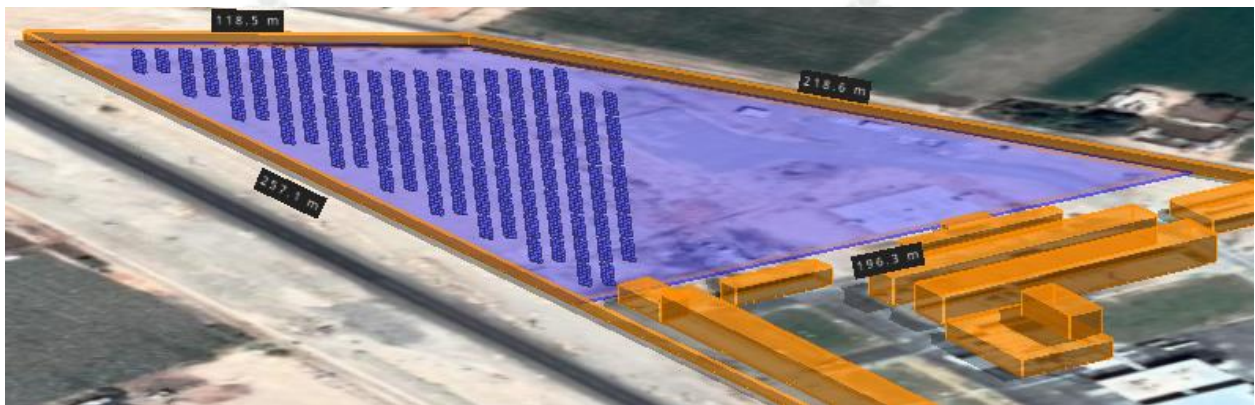


Nota. Extraído de Software HelioScope

Una de las principales características de este software es la capacidad de permitir al usuario observar la disposición en el terreno mediante su interfaz 3D, además de poder considerar los edificios colindantes para un correcto estudio de sombras, simplificando así el estudio solar del terreno como se muestra en la Figura 29.

### Figura 29

*Vista 3D de la Planta Fotovoltaica*

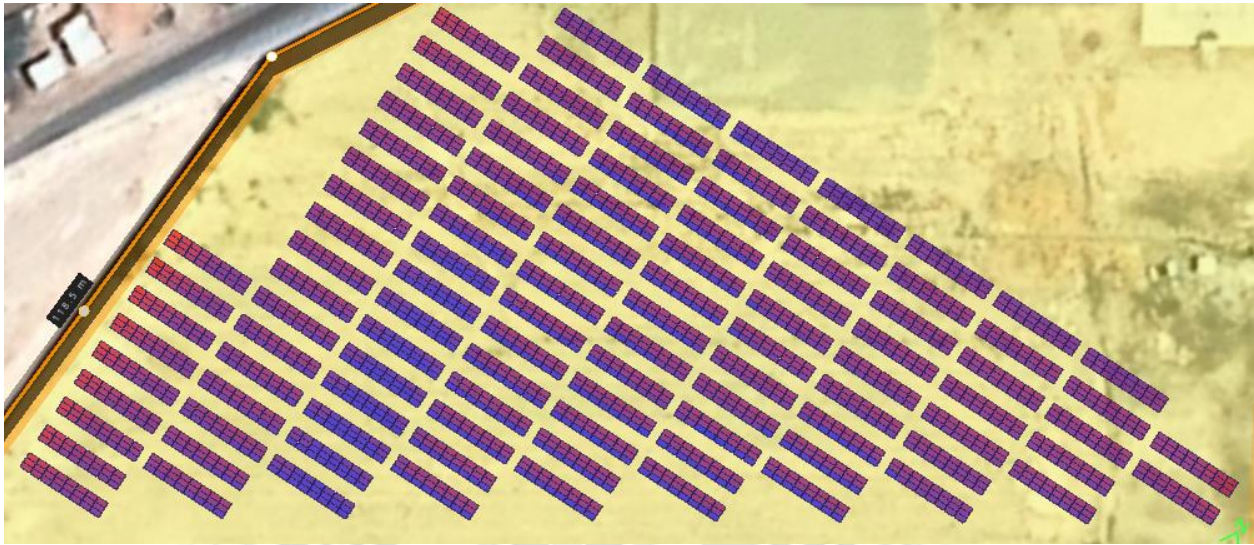


Nota. Extraído de Software HelioScope.

El análisis de sombras es de suma importancia al momento de realizar el diseño del arreglo fotovoltaico puesto que, como se ha mencionado anteriormente, la radiación solar es el parámetro que más afecta la producción eléctrica debido a su relación directamente proporcional con la corriente generada por los módulos fotovoltaicos.

Este software nos permite observar las zonas que se somborean durante el paso de las horas en el día, así como calcular el porcentaje de pérdidas que estas producen en la generación eléctrica usando parámetros reales sobre la posición solar durante el día y al transcurrir los años.

En la Figura 30 se muestra las zonas más sombreadas en los módulos de un color más oscuro y las zonas menos sombreadas de un color más claro.

**Figura 30***Efectos del Sombreado en el Arreglo FV*

Nota. Extraído de Software HelioScope.

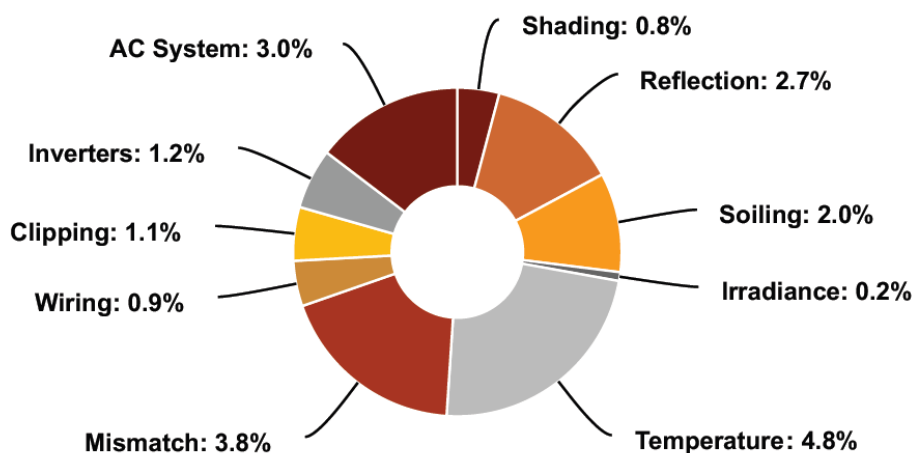
Según el cálculo del software las pérdidas representan solo el 0.8 % considerando el sombreado producido entre fila y fila de grupos de módulos lo cual es un aproximado de 2.76 GWh para la potencia pico instalada de 1.26 MWp; este porcentaje de pérdidas es muy bajo por lo cual se puede considerar que es adecuado para el arreglo fotovoltaico diseñado.

Se puede observar que la mayor cantidad de sombras son ocasionadas por los muros que limitan el terreno y aquellas ocasionadas por los mismos grupos de módulos hacia los que se encuentran detrás de ellos en la salida y la puesta de sol.

Además de las pérdidas ocasionadas por el sombreado sobre los módulos, el software considera los factores mostrados en la Figura 31 con los cuales realiza la simulación del sistema fotovoltaico, obteniendo así los datos expresados en el resumen que nos brinda el software los cuales se encuentran en la Tabla 13.

**Figura 31**

*Factores que Ocasianan Pérdidas en el SFV*



Nota. Extraído de Resumen de la Simulación de HelioScope.

**Tabla 13**

*Resumen de Datos del SFV*

Descripción	Magnitud
Potencia Instalada en Módulos	1.260 MW
Potencia Máxima de Inversores	1.050 MW
Sobrecarga de los Inversores	20 %
Producción Anual de Energía	2.539 GWh
Rendimiento de la Planta	81.3%
Producción Específica	2014.8 kWh/kWp

Nota. Extraído de Resumen de la Simulación de HelioScope.

En el cálculo realizado en el proyecto en el apartado anterior se obtuvo valores similares a los datos obtenidos por la simulación, lo cual verifica la efectividad y confiabilidad del diseño para proveer de energía limpia a la planta láctea de evaporación para así reducir costos en el consumo de energía eléctrica.

### 4.3. Evaluación Económica

Antes de comenzar cualquier proyecto es necesario demostrar que este es factible de realizar tanto técnica como económicamente; en la evaluación económica se intenta conocer la magnitud de la inversión económica necesaria y cuál es el tiempo en el que se recuperaría la misma, para así evaluar su rentabilidad para la empresa y si es conveniente o no ejecutar el proyecto, además de tener una idea clara

#### 4.3.1. Consumo Energético Mensual de la Planta de Evaporación

En la tabla 14, 15 y 16 se muestra el detalle del consumo eléctrico que tiene la planta de evaporación durante el año, el cual figura en la facturación mensual emitida en los recibos disponibles de la empresa distribuidora de energía eléctrica de la zona (SEAL).

**Tabla 14**

*Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- I*

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril
E HP	16818.97	14784.01	16962.28	14140.66
E HFP	80095.65	67426.36	70532.10	70330.50
P Dist.	12834.34	12887.86	12297.28	12643.68
P Gen.	58360.88	33798.13	35686.33	35635.55
AP	2254.02	1842.31	1687.42	1921.15
Cargo Fijo	8.4	8.56	8.58	8.79
Intereses Comp.	-	-	25.49	26.25
Mantto.	18.86	19.12	19.15	19.66
Sub Total.	170391.12	130766.35	137218.63	134456.24
IGV (18%)	30670.40	23537.94	24699.35	24202.12
Ley 28749	3617.83	3037.38	3220.58	3108.17
Total	204679.30	157341.70	165138.50	161766.60

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

**Tabla 15***Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- II*

Descripción	Mayo	Junio	Julio	Agosto
E HP	13329.55	13173.61	14704.30	15236.19
E HFP	69508.47	67241.52	73329.48	76660.18
P Dist.	12424.12	12642.26	13303.68	13661.86
P Gen.	29912.78	28619.43	36696.46	31701.07
AP	2095.81	2074.78	2049.04	2050.46
Cargo Fijo	8.81	8.91	9.06	9.20
Intereses Comp.	151.55	190.40	1494.76	-
Mantto.	19.71	19.96	20.25	20.80
Sub Total.	127450.80	123970.87	141610.03	139339.76
IGV (18%)	22941.14	22314.76	25489.27	25081.16
Ley 28749	3187.21	3092.32	3353.50	2392.59
Total	153579.10	149378.00	170449.80	167713.50

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

**Tabla 16**

*Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Actual- III*

Descripción	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
E HP	15595.21	15236.19	17643.09	16159.59
E HFP	70582.46	76660.18	82829.93	77896.50
P Dist.	11512.68	13661.86	12812.93	12652.36
P Gen.	35815.55	31701.07	61457.26	35106.66
AP	2301.52	2050.46	2580.00	1875.65
Cargo Fijo	8.28	9.20	8.39	8.40
Intereses Comp.	86.45	-	71.07	-
Mantto.	18.57	20.80	18.84	18.86
Sub Total.	135920.72	139339.76	177421.51	143718.02
IGV (18%)	24465.73	25081.16	31935.87	25869.24
Ley 28749	3336.38	2392.59	3684.51	3432.37
Total	163722.80	167713.50	213041.90	173019.70

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

Para calcular el ahorro económico que se produce por la instalación del sistema fotovoltaico propuesto en este proyecto, es necesario aproximar cuanta energía genera el arreglo y como es que esta afecta en la facturación del consumo energético; en la tabla 17, 18 y 19, se muestra como quedaría el consumo mensual de electricidad, utilizando los cargos del pliego tarifario actual, cuando el sistema fotovoltaico esté en funcionamiento, considerando los resultados mostrados en la Tabla 11, indicando también el ahorro producido frente al consumo directo de la red.

**Tabla 17***Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – I*

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril
E HP	16818.97	14784.01	16962.28	14140.66
E HFP	28638.46	28978.08	23739.32	22693.10
P Dist.	13123.35	13123.35	12490.86	12490.86
P Gen.	49213.81	47966.61	48233.17	46209.68
AP	2254.02	1842.31	1687.42	1921.15
Cargo Fijo	8.58	8.58	8.58	8.58
Intereses Comp.	-	-	25.49	26.25
Mantto.	18.86	19.12	19.15	19.66
Sub Total.	110076.03	106722.05	103166.27	97509.94
IGV (18%)	19813.69	19209.97	18569.93	17551.79
Ley 28749	3617.83	3037.38	3220.58	3108.17
Total	133507.56	128969.40	124956.78	118169.90
Ahorro	71171.75	28372.30	40181.72	43596.70

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

**Tabla 18**

*Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – II*

Descripción	Mayo	Junio	Julio	Agosto
E HP	13329.55	13173.61	14704.30	15236.19
E HFP	23482.23	23639.23	26017.62	21862.97
P Dist.	12156.40	12156.40	12546.39	12546.39
P Gen.	47394.09	46123.49	59863.79	47825.62
AP	2095.81	2074.78	2049.04	2050.46
Cargo Fijo	8.58	8.58	8.58	8.58
Intereses Comp.	151.55	190.40	1494.76	-
Mantto.	19.71	19.96	20.25	20.80
Sub Total.	98637.93	97386.46	116704.73	99551.01
IGV (18%)	17754.83	17529.56	21006.85	17919.18
Ley 28749	3187.21	3092.32	3353.50	2392.59
Total	119579.97	118008.34	141065.08	119862.79
Ahorro	33999.13	31369.66	29384.72	47850.71

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

**Tabla 19**

*Facturación Mensual del Consumo Eléctrico Considerando el SFV – III*

Descripción	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
E HP	15595.21	15236.19	17643.09	16159.59
E HFP	21149.71	17179.63	29767.91	24231.02
P Dist.	12063.72	12546.39	13123.35	13123.35
P Gen.	44233.58	47825.62	46829.57	47299.91
AP	2301.52	2050.46	2580.00	1875.65
Cargo Fijo	8.58	8.58	8.58	8.58
Intereses Comp.	86.45	-	71.07	-
Mantto.	18.57	20.80	18.84	18.86
Sub Total.	95457.33	94867.67	110042.41	102716.96
IGV (18%)	17182.32	17076.18	19807.63	18489.05
Ley 28749	3336.38	2392.59	3684.51	3432.37
Total	115976.03	115336.44	133534.56	124638.38
Ahorro	47746.77	53377.06	79507.34	48381.32

Nota. Datos expresados en Nuevos Soles.

De las tablas mostradas anteriormente, el ahorro anual aproximado que se obtendría por el uso del sistema fotovoltaico diseñado sería de 554939.18 nuevos soles, lo cual considerando el tipo de cambio actual de 4.03 nos dejaría un ahorro de 137702.03 dólares americanos.

#### **4.3.2. Presupuesto del Sistema Fotovoltaico**

Una vez que el diseño está completo, se puede empezar a calcular el costo total del proyecto para determinar la inversión necesaria para realizar la instalación. Los precios que se muestran en la Tabla 19 son los precios actuales que se encuentran en el mercado nacional.

**Tabla 20**

*Presupuesto el Sistema Fotovoltaico Diseñado*

	Descripción	Cantidad	Precio un.	Total
Paneles FV	Trina Vertex 500W	2520	183.00	461160
Inversores	SMA Sunny Highpower Peak3	7	11902.19	83315.33
Combinadores DC	Cajas combinadoras de 16 cadenas	7	400.00	2800.00
Estructuras	Estructuras en aluminio anodizado para 24 paneles	105	395.00	41475.00
Cableado DC	6 mm <sup>2</sup> Solar PV ZZ-F	7000	2.20	15400.00
Cableado AC	Cable N2XOH 3X1X35mm2	1000	3.63	3630.00
Sub total				607780.33
Obras civiles		10%		60778.03
Total				668558.36

Nota. Precio en dólares americanos.

**4.3.3. Rentabilidad del Proyecto**

Una medida relativa de la rentabilidad de un proyecto es la tasa interna de retorno (TIR) que nos expresa el valor de la tasa de descuento a la cual el valor actual neto (VAN) se hace cero, es decir cuando el beneficio es igual al costo de la inversión inicial.

El cálculo de la TIR se realiza con la siguiente ecuación:

$$VAN = -i_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

*VAN*: Valor actual neto.

*F<sub>t</sub>*: Flujo de dinero en cada periodo “t”.

*i<sub>0</sub>*: Inversión inicial.

$n$ : Número de periodos.

$TIR$ : Tasa interna de retorno.

En las tablas 20 y 21 se muestran los flujos de dinero aproximado durante los 25 años de duración del proyecto que corresponde a la vida útil de los paneles fotovoltaicos, considerando la disminución de la eficiencia detallada por el fabricante.

**Tabla 21**

*Flujo de Dinero Aproximado del Ahorro Energético I*

Año	Flujo de Dinero
Año 01	137702.03
Año 02	136929.21
Año 03	136156.39
Año 04	135383.58
Año 05	134610.76
Año 06	133837.94
Año 07	133065.12
Año 08	132292.31
Año 09	131519.49
Año 10	130746.67
Año 11	129973.85
Año 12	129201.04
Año 13	128428.22

Nota. Precio en dólares americanos.

**Tabla 22***Flujo de Dinero Aproximado del Ahorro Energético II*

Año	Flujo de dinero
Año 14	127655.40
Año 15	126882.58
Año 16	126109.77
Año 17	125336.95
Año 18	124564.13
Año 19	123791.31
Año 20	123018.50
Año 21	122245.68
Año 22	121472.86
Año 23	120700.04
Año 24	119927.23
Año 25	119154.41

Nota. Precio en dólares americanos.

Reemplazando en la ecuación mostrada anteriormente los valores mostrados en las tablas 19, 20 y 21 se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) de 19.83%, dicho valor nos indica la máxima tasa de descuento a la cual el proyecto sería rentable.

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño de un sistema de generación fotovoltaico aprovechando el recurso solar de la zona y utilizando un sistema descentralizado con 7 inversores de alta potencia, permitiendo una mayor flexibilidad en la generación, así como brindando la capacidad de expansión en caso sea necesario con tan solo aumenta grupos de las mismas características que los señalados en el proyecto.
- Se propuso un sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos considerando la demanda energética de una planta láctea ubicada en el departamento de Arequipa.
- Se desarrollo la base teórica necesaria para un correcto desarrollo de un sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, la importancia del aprovechamiento de la energía solar y sus principales aplicaciones industriales.
- Se realizo el diseño de una propuesta de suministro eléctrico amigable con el medio ambiente desde la generación hasta el punto de consumo, considerando variaciones reales de radiación en la zona y aplicando un método de diseño utilizado actualmente en el mercado además del software de diseño Helioscope.
- Se realizó el dimensionamiento del parque solar y selección adecuada de los componentes eléctricos necesarios para cubrir la demanda energética de la planta mediante el sistema de generación fotovoltaica, teniendo en cuenta los datos brindados por los fabricantes y la degradación de los componentes.
- Después de realizar una evaluación técnica - económica, se determinó que la implementación de un parque solar de las características del proyecto estudiado si es viable

para las condiciones de la planta láctea ya que gran parte de la demanda de energía activa en horario fuera de punta es cubierta.

## 5.2. Recomendaciones

- Los parámetros de mayor importancia para el dimensionamiento de los arreglos fotovoltaicos son la inclinación de los módulos y la radiación que incide sobre ellos; los cuales dependen del lugar donde estará ubicado el proyecto.
- El sistema descentralizado propuesto en el proyecto, que utiliza 7 inversores, permite una versatilidad mayor en caso de sombreados y la variabilidad climática; además de permitir agrandar el parque fotovoltaico según se requiera agregando grupos de inversores y paneles como los descritos en la tabla 6.
- La tesis actual se puede utilizar como base para distintos estudios derivados de la misma para generar soluciones para el acoplamiento del parque fotovoltaico con la planta, coordinación de protecciones, entre otros.
- Uno de los aspectos positivos del diseño del proyecto es que, al utilizar la mayor parte para cubrir el consumo de la planta, se evitan pérdidas por sobredimensionamiento, ya que casi toda la energía generada es consumida por la planta láctea.

## Referencias

- Aparecida Faria Amaral Fadigas, E. (2004). Energía Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. In *Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo*.  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf)
- Arancibia Bulnes, C., & Best y Brown, R. (2010). La Energía del Sol. *Ciencia*, 61(2), 10–17.  
<https://doi.org/10.14409/cc.v1i14.2184>
- Carta González, J. A., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). Centrales de enerías renovables. In *PEARSON EDUCACIÓN*.
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica*.
- Díaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 199).
- Energía del fotón | PVEducation*. (n.d.). Retrieved May 22, 2021, from <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/energía-del-fotón>
- EPEC. (2004). *Las energías renovables*. 12.
- Espinoza Paredes, R. L., Nakama Martinez, V. L., Manza Monzó, D., & Alejandro Domínguez, Y. F. (2017). *LA INGENIERÍA FOTOVOLTAICA* (2nd ed.).
- Jäger, K., Isabella, O., Smets, A. H. M., Van Swaaij, R., & Zeman, M. (2014). Solar energy Fundamentals, Technology, and Systems. In *University of Technology*.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-03074-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03074-6_4)
- Nandwani, S. S. (2005). *ENERGÍA SOLAR*.

[http://www.catalogosolar.mx/download/Energia\\_Solar\\_Conceptos\\_Basicos.pdf](http://www.catalogosolar.mx/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf)

Perpiñan Lamigueiro, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*.

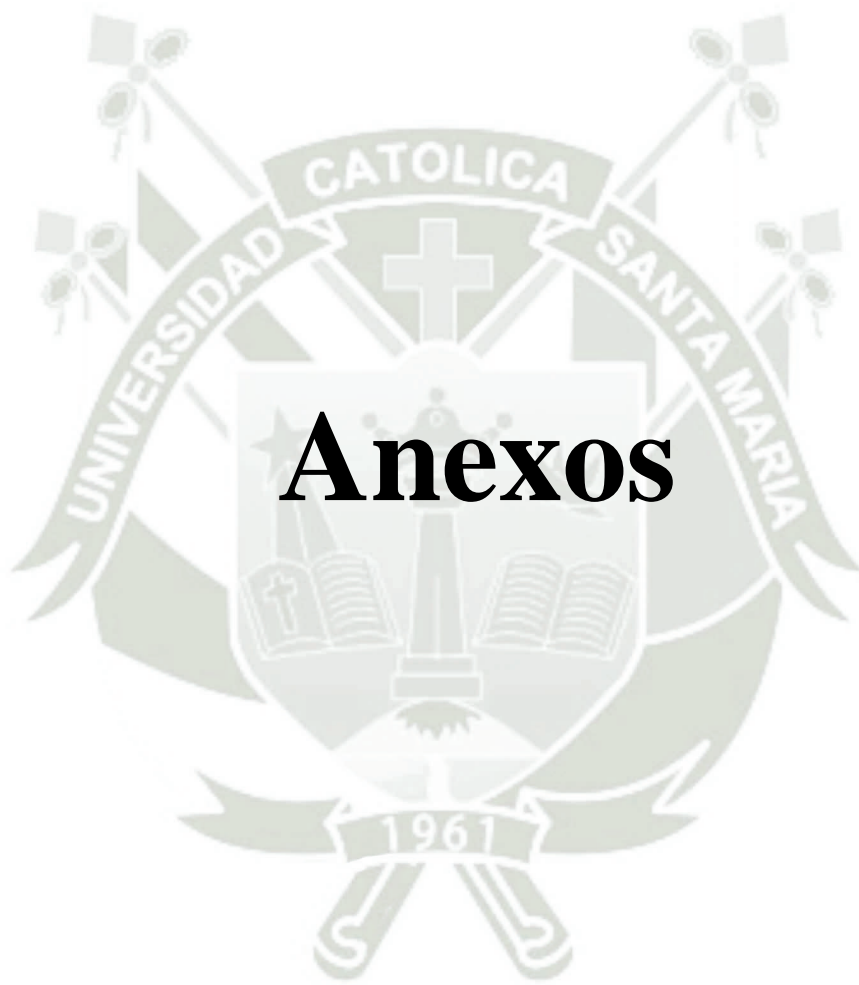
<http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>

Rodríguez Rosales, K., De Moure Flores, F. J., & Quiñones Galván, J. G. (2020). Energía solar fotovoltaica. *Ciencia*, 71(3), 1–6.

Sanchez Juarez, A., Martínez Escobar, D., de la Luz Santos Magdaleno, R., Ortega Cruz, J., & Sánchez Pérez, P. A. (2017). Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial. In *Instituto de Energías Renovables* (Vol. 1).

Schallenberg, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., Cabrera Pérez, D., Martel Rodríguez, G., Pardilla Fariña, J., & Subiela Ortin, V. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. In *Instituto Tecnológico de Canarias*.

Tavares Pinho, J., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*.



# Anexos

## Anexo I: Ficha técnica inversor SMA Sunny Highpower Peak3



### SUNNY HIGHPOWER PEAK3



#### Rentable

- Alta densidad de potencia con 150 kW gracias al diseño compacto
- Máx. rendimiento gracias a la posible proporción CC/CA de hasta el 150 %

#### Seguro

- Máxima disponibilidad de la planta con unidades de 150 kW
- Funciones digitales con vocación de futuro adaptadas a la plataforma de gestión de la energía ennexOS

#### Flexible

- Para tensiones de entrada de CC de hasta 1500 V
- Soluciones de CC flexibles mediante cajas de conexión del generador específicas para el cliente

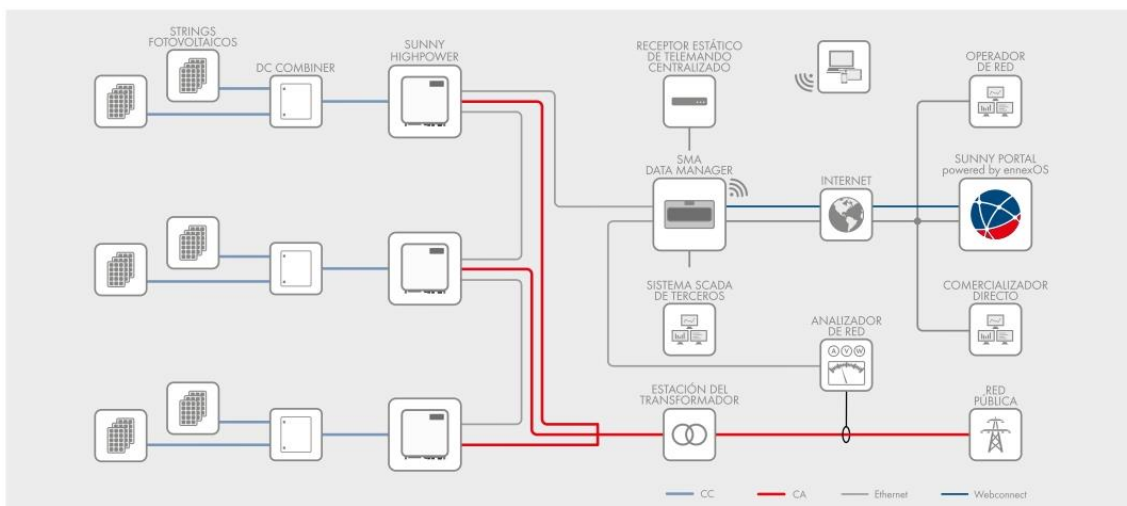
#### Fácil instalación

- Manejo ergonómico y conexión sencilla para una rápida instalación
- Puesta en marcha y regulación centralizadas de la planta fotovoltaica mediante el SMA Data Manager

### SUNNY HIGHPOWER PEAK3

Ya preparado para el futuro

El Sunny Highpower PEAK3 es el componente central de la solución de SMA para centrales fotovoltaicas con arquitectura descentralizada y tensiones de sistema de 1500 voltios de CC. Este compacto inversor de string, con su alta densidad de potencia, materializa soluciones optimizadas desde el punto de vista de los costes para aplicaciones fotovoltaicas industriales. Facilita el transporte y permite una instalación y puesta en marcha rápidas. El inversor de string con 150 kW de potencia dispone del servicio automático SMA Smart Connected para que las visitas de mantenimiento sean proactivas, facilitando así la gestión operativa y el mantenimiento y reduciendo de forma significativa los gastos de servicio técnico a lo largo de toda la vida del proyecto.



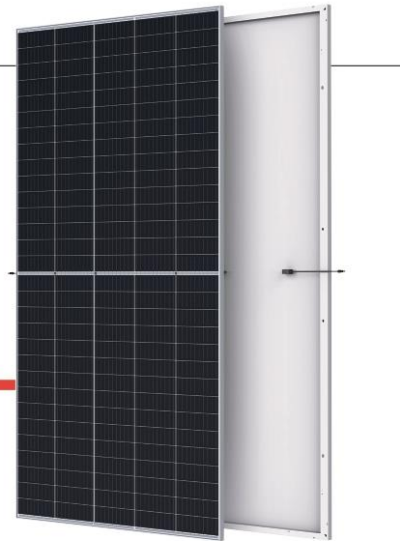
Datos técnicos	Sunny Highpower 100-20	Sunny Highpower 150-20
<b>Entrada (CC)</b>		
Potencia máx. del generador fotovoltaico	150000 Wp	225000 Wp
Tensión de entrada máx.	1000 V	1500 V
Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada	590 V a 1000 V/590 V	880 V a 1450 V/880 V
Corriente de entrada máx./Corriente de cortocircuito máx.	180 A/325 A	180 A/325 A
Número de seguidores del MPP independientes	1	1
Número de entradas	1 o 2 (opcional) para cajas de conexión del generador externas	
<b>Salida (CA)</b>		
Potencia asignada a tensión nominal	100000 W	150000 W
Potencia máx. aparente de CA	100000 VA	150000 VA
Tensión nominal de CA/intervalo de tensión de CA	400 V/304 V a 477 V	600 V/480 V a 690 V
Frecuencia de red de CA/rango	50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 66 Hz	50 Hz/44 Hz a 55 Hz 60 Hz/54 Hz a 66 Hz
Frecuencia de red asignada	50 Hz	50 Hz
Corriente máx. de salida	151 A	151 A
Factor de potencia a potencia asignada/fator de desfase ajustable	1/0 inductivo a 0 capacitivo	1/0 inductivo a 0 capacitivo
Armónicos (THD)	< 3 %	< 3 %
Fases de inyección/conexión de CA	3/3-PE	3/3-PE
<b>Rendimiento</b>		
Rendimiento máx./rendimiento europeo	98,8 %/98,6 %	99,1 %/98,8 %
<b>Dispositivos de protección</b>		
Monitorización de toma a tierra/monitorización de red/protección contra polarización inversa de CC	●/●/●	●/●/●
Resistencia al cortocircuito de CA/Con separación galvánica	●/-	●/-
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●	●
Descargadores de sobretensión (tipo II) CA/CC monitorizados	●/●	●/●
Clase de protección (según IEC 62109-1)/Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)	I/CA: III; CC: II	I/CA: III; CC: II
<b>Datos generales</b>		
Dimensiones (ancho/alto/fondo)	770 mm/830 mm/444 mm (30,3 in/32,7 in/17,5 in)	
Peso	98 kg (216 lb)	
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)	
Emisión sonora, típica	< 69 dB(A)	
Autoconsumo (nocturno)	< 5 W	
Topología	Sin transformador	
Sistema de refrigeración	OptiCool, sistema de refrigeración activa, ventiladores con regulación de número de revoluciones	
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100%	
<b>Equipamiento/Función/Accesorios</b>		
Conexión de CC/CA	Terminal de cable (hasta 300 mm <sup>2</sup> )/borne roscado (hasta 150 mm <sup>2</sup> )	
Indicador led (estado/error/comunicación)	●	
Interfaz ethernet	● (2 puertos)	
Interfaz de datos: SMA Modbus/SunSpec Modbus/Speedwire	●/●/●	
Tipo de montaje	Montaje en bastidor	
OptiTrac/Integrated Plant Control/Q on Demand 24/7	●/●/●	
Compatible con redes aisladas/con SMA Fuel Save Controller	●/●	
Garantía: 5/10/15/20 años	●/○/○/○	
Certificados y autorizaciones (selección)	IEC/EN 62109-1/-2, VDE-AR-N 4110/4120, IEC 62116, IEC 61727, EN 50549, C10/11, CEI 0-16, G99/1 (>16A), PO 12.3, ABNT NBR 16149	
● De serie ○ Opcional - No disponible Datos en condiciones nominales Actualizado: 10/2020		
Modelo comercial	SHP 100-20	SHP 150-20

## Anexo II: Ficha técnica módulo fotovoltaico Trinasolar Vertex

Mono Multi Solutions

# THE Vertex

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE



**500W+**  
MAXIMUM POWER OUTPUT

**21.1%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

**0~+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS | POWER RANGE  
TSM-DE18M(II) | 480-505W



### High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance Of System) cost, shorter payback time
- Lower guaranteed first year and annual degradation
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher return on Investment



### High power up to 505W

- Large area cells based on 210mm silicon wafers and 1/3-cut cell technology
- Up to 21.1% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection



### High reliability

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load



### High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.36%) and operating temperature

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

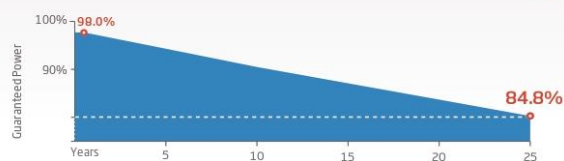
### Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716  
ISO 9001: Quality Management System  
ISO 14001: Environmental Management System  
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



**Trinasolar**

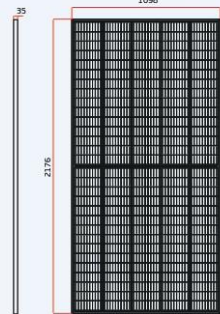
### Trina Solar's VERTEX Backsheet Performance Warranty



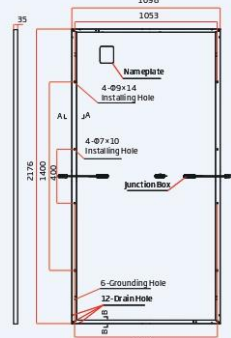


**BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE**

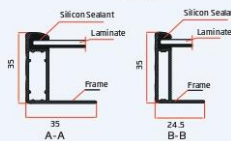
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



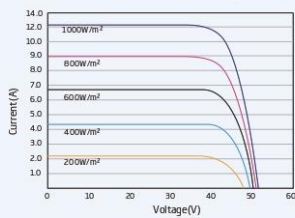
Front View



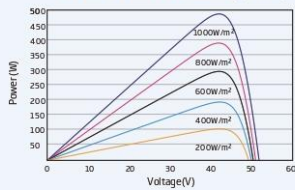
Back View



I-V CURVES OF PV MODULE(490 W)



P-V CURVES OF PV MODULE(490W)



**ELECTRICAL DATA (STC)**

Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	480	485	490	495	500	505
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	11.42	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	50.8	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	11.99	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35
Module Efficiency $\eta_m$ (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1

STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.  
\*Measuring tolerance:  $\pm$  3%.

**ELECTRICAL DATA (NMOT)**

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	363	367	371	375	379	382
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	39.6	39.8	40.0	40.2	40.4	40.6
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	9.15	9.20	9.26	9.32	9.37	9.43
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.0	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	9.65	9.72	9.77	9.83	9.89	9.94

NMOT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm (85.67 × 43.23 × 1.38 inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

**TEMPERATURE RATINGS**

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41°C ( $\pm$ 3°C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.36%/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.26%/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/°C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

**WARRANTY**

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

**PACKAGING CONFIGURATION**

Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 600 pieces



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.  
© 2020 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.  
Version number: TSM\_EN\_2020\_A [www.trinasolar.com](http://www.trinasolar.com)

### Anexo III: Reporte de Datos Mensuales de Irradiación (PVGIS)

European Commission

## Datos mensuales de irradiación

**PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial**

**Datos proporcionados**

Latitud/Longitud: -16.365, -72.162  
 Horizonte: Calculado  
 Base de datos: PVGIS-NSRDB  
 Año inicial: 2015  
 Año final: 2015

**Variables incluidas en este informe:**

Irradiación global horizontal:	No
Irradiación directa normal:	No
Irradiación global con el ángulo óptimo:	No
Irradiación global con el ángulo 16°:	Si
Ratio difusa/global:	No
Temperatura media:	Si

**Irradiación solar mensual**

Mes	2015
Enero	220.12
Febrero	162.33
Marzo	198.04
Abril	200.6
Mayo	207.41
Junio	196.9
Julio	209.62
Agosto	221.09
Septiembre	231.02
Octubre	240.04
Noviembre	227.67
Diciembre	227.99

**Perfil del horizonte:**

■ Altura del horizonte  
 - - - Elevación solar, Junio  
 - - - Elevación solar, Diciembre

**Temperatura media mensual**

Month	2015
Enero	17.2
Febrero	16.6
Marzo	17
Abril	16.6
Mayo	15.6
Junio	15.3
Julio	14
Agosto	14.5
Septiembre	15.7
Octubre	15.9
Noviembre	15.7
Diciembre	16.2

**Global at user angle**

Mes	2015
Enero	220.12
Febrero	162.33
Marzo	198.04
Abril	200.6
Mayo	207.41
Junio	196.9
Julio	209.62
Agosto	221.09
Septiembre	231.02
Octubre	240.04
Noviembre	227.67
Diciembre	227.99

**Temperatura media mensual**

Month	2015
Enero	17.2
Febrero	16.6
Marzo	17
Abril	16.6
Mayo	15.6
Junio	15.3
Julio	14
Agosto	14.5
Septiembre	15.7
Octubre	15.9
Noviembre	15.7
Diciembre	16.2

La Comisión Europea mantiene esta web para facilitar el acceso público a la información sobre sus iniciativas y las políticas de la Unión Europea en general.  
 Nuestro propósito es mantener la información precisa y al día.  
 Tratamos de corregir los errores que se nos señalen.  
 No obstante, la Comisión declina toda responsabilidad en relación con la información incluida en esta web.  
 Dicha información:  
 I) es de carácter general y no aborda circunstancias específicas de personas u organizaciones concretas,  
 II) no es necesariamente exhaustiva, completa, exacta o actualizada,  
 III) contiene en algunas ocasiones enlaces a páginas externas sobre las que los servicios de la Comisión no tienen control.

PVGIS ©Unión Europea, 2001-2021.  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged,  
 save where otherwise stated.

Datos mensuales de irradiación 2021/08/23

## Anexo IV: Reporte de Sombras (Software Helioscope)

**HelioScope** Shading Report produced by Lucho Linares

Majes 1 Majes, -16.366326, -72.163238

Shading Heatmap



Shading by Field Segment

Description	Tilt	Azimuth	Modules	Nameplate	Shaded Irradiance	AC Energy	TOF <sup>2</sup>	Solar Access	Avg TSRF <sup>2</sup>
-------------	------	---------	---------	-----------	-------------------	-----------	------------------	--------------	-----------------------

Loading Simulation Data

Solar Access by Month

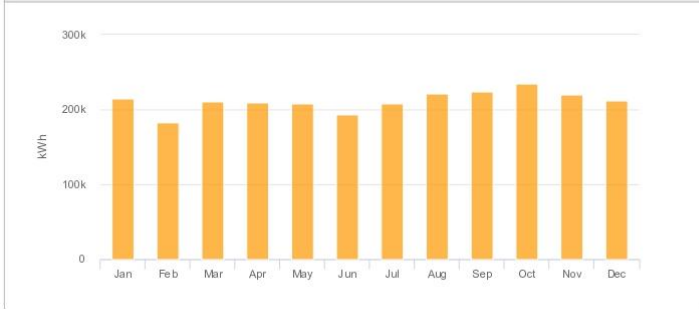
Description	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Solar Access, weighted by kWp	99.0%	98.9%	99.0%	99.2%	99.2%	99.2%	99.3%	99.3%	99.2%	99.2%	99.2%	99.1%

Loading Simulation Data

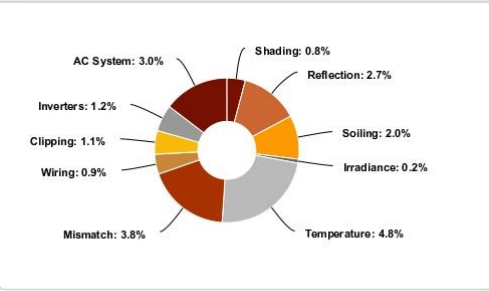
# HelioScope

## Shading Report produced by Lucho Linares

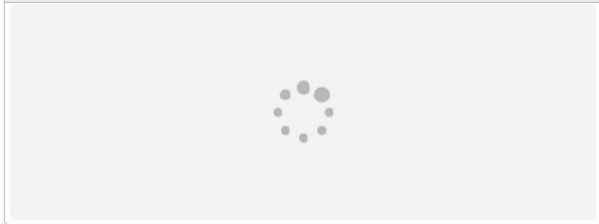
### Monthly Production



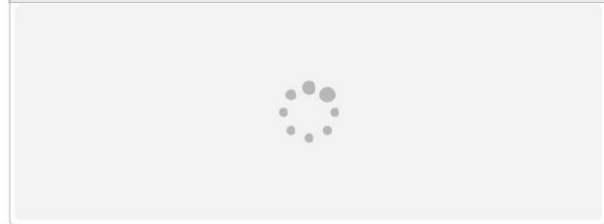
### Sources of System Loss



### Southwestern Angle



### Southeastern Angle



## Anexo V: Reporte de Producción Anual de Energía (Software Helioscope)

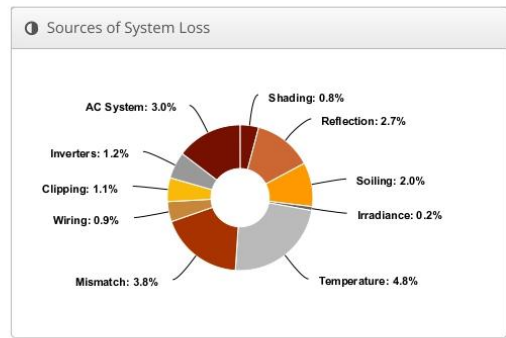
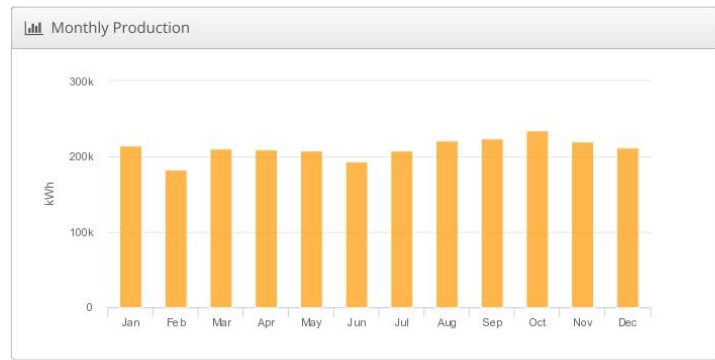
Annual Production Report produced by Lucho Linares

### Majes 1 Majes, -16.366326, -72.163238

Report	
Project Name	Majes
Project Description	1MW
Project Address	-16.366326, -72.163238
Prepared By	Lucho Linares luis.pinares6@gmail.com

System Metrics	
Design	Majes 1
Module DC Nameplate	1.26 MW
Inverter AC Nameplate	1.05 MW Load Ratio: 1.20
Annual Production	2.539 GWh
Performance Ratio	81.3%
kWh/kWp	2,014.8
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	01775c1805-afaa279376-5f22962530-145b0a62a3

Project Location



Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> )	Annual Global Horizontal Irradiance	2,369.9	
	POA Irradiance	2,478.4	4.6%
	Shaded Irradiance	2,457.5	-0.8%
	Irradiance after Reflection	2,391.8	-2.7%
	Irradiance after Soiling	2,344.0	-2.0%
	<b>Total Collector Irradiance</b>	<b>2,343.9</b>	<b>0.0%</b>
Energy (kWh)	Nameplate	2,955,265.1	
	Output at Irradiance Levels	2,950,065.0	-0.2%
	Output at Cell Temperature Derate	2,809,884.6	-4.8%
	Output After Mismatch	2,702,847.7	-3.8%
	Optimal DC Output	2,678,128.5	-0.9%
	Constrained DC Output	2,649,165.2	-1.1%
	Inverter Output	2,617,028.6	-1.2%
	<b>Energy to Grid</b>	<b>2,538,645.8</b>	<b>-3.0%</b>
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp		17.9 °C
	Avg. Operating Cell Temp		30.8 °C
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4622	
	Solved Hours	4622	

Condition Set												
Description	Condition Set 1											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0455	0°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Binning Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.50%											
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	TSM-DE18 M(II) 500W (Trina Solar)	Folsom Labs	Spec Sheet Characterization, PAN									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	Sunny Highpower 150-20 (SMA)	Folsom Labs	Spec Sheet									

# HelioScope

Annual Production Report produced by Lucho Linares

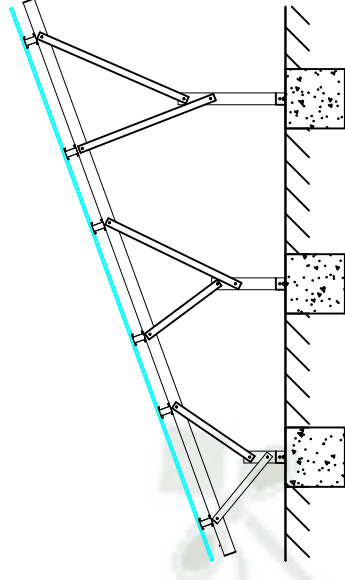
Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny Highpower 150-20 (SMA)	7 (1.05 MW)
AC Home Runs	120 mm2 (Copper)	7 (4,398.9 m)
Home Runs	12 AWG (Copper)	56 (3,768.7 m)
Combiners	1 input Combiner	7
Combiners	2 input Combiner	49
Strings	6 mm2 (Copper)	105 (4,675.7 m)
Module	Trina Solar, TSM-DE18 M(II) 500W (500W)	2,520 (1.26 MW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	2	24-24	Along Racking

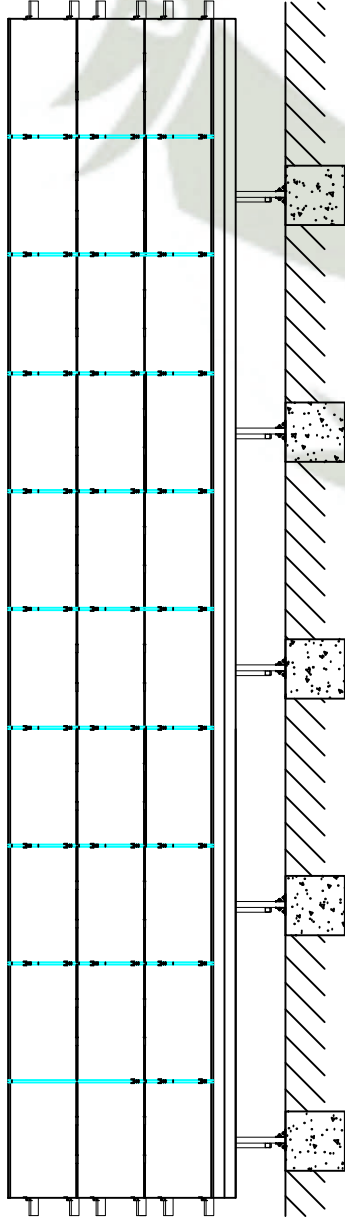
Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Diseño 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	15°	0°	3.0 m	3x8	105	2,520	1.26 MW



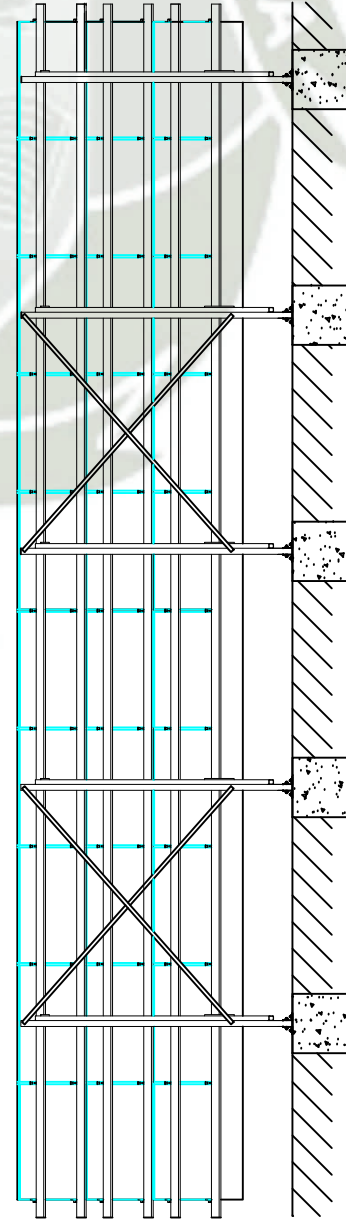
Vista lateral



Vista frontal

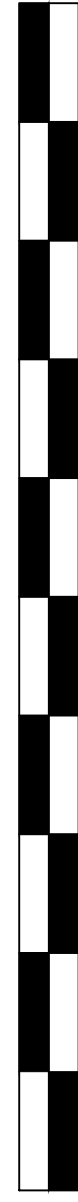


Vista trasera



Arriostramiento

ESCALA GRÁFICA



10

METROS

TÍTULO DEL PROYECTO:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA  
PARA UNA EMPRESA LÁCTEA UBICADA EN AREQUIPA

TÍTULO DEL PLANO:

DETALLE DE ESTRUCTURA SOBRE ZAPATA DE HORMIGÓN

PAÍS:

PERÚ

DEPARTAMENTO:

AREQUIPA

PROVINCIA:

CASTILLA

DISTRITO:

MAJES

ESCALA:

S / E

DISEÑADO POR:

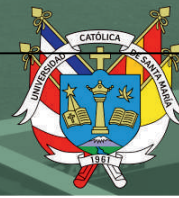
LUIS PINARES

FECHA:

20/03/2022

N° PLANO:

01



TÍTULO DEL PROYECTO:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA  
PARA UNA EMPRESA LÁCTEA UBICADA EN AREQUIPA

TÍTULO DEL PLANO:

DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS EN EL TERRENO

PAIS:	PERÚ	DEPARTAMENTO:	AREQUIPA	PROVINCIA:	CASTILLA	DISTRITO:	MAJES
ESCALA:	S / E	DISEÑADO POR:	LUIS PINARES	FECHA:	20/03/2022	Nº PLANO:	02

