



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA OFICINAS
ESCORIAL PUCOBRE EN TIERRA AMARILLA, ATACAMA**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener al título de
Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor guía: Sr. Juan Carlos Madrigal Lobos

Darlyn Hasler Cruz Encalada
Mathias Nicolas Villalobos Zamora

Copiapó, Chile, 2024

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a todos quienes quieran formar parte del desarrollo de la energía renovable como una fuente de generación de energía propia y limpia. Sin embargo, quiero que sean parte de esta dedicatoria a quienes formaron parte fundamental en todo el proceso de mi carrera, ya que, sin su apoyo necesario no sería posible este gran logro en especial a:

A mis Padres

A mis Hermanos

A mi Profesor Guía.

Darlyn Hasler Cruz Encalada

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza, que me han dado la fuerza para alcanzar este logro. Gracias por estar siempre a mi lado, por sus sacrificios y por ser mi mayor fuente de inspiración.

A mi pareja, por ser mi pilar en todo momento, por su paciencia, comprensión y por estar allí en los días difíciles y en los momentos de celebración. Tu apoyo, amor y compromiso han sido fundamentales en este camino, y este logro también es tuyo.

Gracias a todos por ser la razón de mi esfuerzo y motivación.

Mathias Nicolas Villalobos Zamora

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que me ayudaron en todo el proceso académico de principio a fin, tanto compañeros de estudios, así como también a los profesores que con dedicación entregaron todas las herramientas necesarias para un aprendizaje óptimo y de calidad para cada estudiante. Agradecer también a mi familia que con mucho esfuerzo me ayudaron en todo ámbito para poder lograr un buen desempeño en este proceso académico.

Darlyn Hasler Cruz Encalada

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de este proceso y que de alguna manera contribuyeron a la realización de este proyecto.

En primer lugar, agradezco a mi familia, cuyo amor, apoyo y comprensión han sido mi mayor fuerza. A mis padres, por su confianza inquebrantable en mí, por enseñarme a luchar por mis sueños y por brindarme siempre su respaldo incondicional.

A mi pareja, por su amor y comprensión a lo largo de esta etapa, por ser mi compañera y por darme siempre aliento en los momentos de duda. Tu apoyo ha sido esencial para mantenerme motivado y enfocado.

A mis profesores, por su valioso conocimiento, por sus consejos y por guiarme en cada paso del proceso académico. Gracias por compartir su sabiduría y por brindarme siempre el espacio para crecer intelectualmente.

Mathias Nicolas Villalobos Zamora

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Breve descripción del proyecto.....	1
1.2 Importancia	1
1.3 Cambio o mejora.....	1
1.4 Objetivo general	2
1.5 Objetivos específicos	2
1.6 Metodología de trabajo	2
1.7 Alcances	3
1.8 Resumen de capítulos.....	3

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Energía renovable.....	4
2.2 Energía solar fotovoltaica	5
2.3 Radiación solar.....	6
2.4 Descripción de un sistema solar fotovoltaico.....	9
2.5 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red (On Grid)	10
2.6 Paneles solares fotovoltaicos.....	12
2.6.1 Conexionado o configuración de los paneles solares fotovoltaicos	18
2.7 Inversor	20
2.8 Estructura de montaje.....	22
2.9 Protecciones	23

CAPITULO III

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA CON POWERPAD AEMC 3945

3.1 Principio de Funcionamiento del instrumento de medición.....	29
3.2 Obtención de datos oficinas escorial PUCOBRE	31
3.3 Gráficos y análisis de resultados obtenidos	32
3.3.1 Estudio del consumo energético.....	32

3.3.2 Estudio de la frecuencia en el sistema eléctrico	34
3.3.3 Estudio de las potencia y factor de potencia del sistema eléctrico.....	36
3.3.4 Relación entre las Potencias y el FP del sistema.....	37
3.3.5 Estudio del comportamiento de voltaje y la corriente en el sistema	40
CAPITULO IV	
CONFIGURACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	
4.1 Localización	43
4.2 Sombras.....	44
4.3 Estructura	48
4.4 Factores meteorológicos.....	48
4.4.1 Insolación mensual	48
4.4.2 Nubosidad.....	51
4.4.3 Temperatura.....	52
4.5 Diseño de la planta fotovoltaica.....	53
4.5.1 Configuración al 10 % del consumo energético.....	55
4.5.2 Configuración al 30 % del consumo energético.....	60
4.5.3 Configuración al 50 % del total del consumo energético.....	66
CAPITULO V	73
ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO MEDIANTE RETSCREEN	
5.1 Análisis y simulación para 10 % del consumo energético total de las oficinas del Escorial PUCOBRE	73
5.2 Análisis y simulación para 30 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE	77
5.3 Análisis y simulación para 50 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE	80
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXO A	85

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Tipos de energías renovables.	4
Figura N° 2.2: Obtención de energía solar fotovoltaica.....	6
Figura N° 2.3: Sistemas On Grid y Sistemas Off Grid	10
Figura N° 2.4: Diagrama referencial para un sistema On - Grid.	12
Figura N° 2.5: Interior de un panel solar fotovoltaico.	13
Figura N° 2.6: Panel solar monocristalino.	14
Figura N° 2.7: Panel solar policristalino.	15
Figura N° 2.8: Panel solar de capa fina.....	15
Figura N° 2.9: Panel solar bifacial.	16
Figura N° 2.10: Panel orgánico.....	17
Figura N° 2.11: Conexión serie de paneles solares.	19
Figura N° 2.12: Conexión en paralelos de los paneles solares.....	20
Figura N° 2.13: Sistema de tracker.	23
Figura N° 3.1: Gráfico de consumo energético oficinas y talleres Escorial PUCOBRE, energía en MWh.	33
Figura N° 3.2: Gráfico de las frecuencias en el sistema eléctrico.....	35
Figura N° 3.3: Gráfico de potencia activa.....	36
Figura N° 3.4: Gráfico de voltaje U1, U2 y U3.	41
Figura N° 3.5: Gráfico de corriente A1, A2, A3 y AN.....	41
Figura N° 4.1: Ubicación en el explorador solar.....	43
Continuación de la Figura N° 4.1.....	44
Figura N° 4.2: Grafico porcentaje de sombras en meses.	46
Figura N° 4.3: Gráfico de porcentaje del año con sombras en cada hora.	46
Figura N° 4.4: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes.	47
Figura N° 4.5: Imagen referencial de las inclinaciones.	47
Figura N° 4.6: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado separado en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.	50

Figura N° 4.7: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.....	50
Figura N° 4.8: Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna.	51
Figura N° 4.9: Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.	52
Figura N° 4.10: Ciclo anual de la temperatura media.....	53
Figura N° 4.11: Ciclo diario de la temperatura media.	53
Figura N° 4.12: Panel solar fotovoltaico de 645 [W].	55
Figura N° 4.13: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.....	57
Figura N° 4.14: Generación fotovoltaica mensual promedio.	59
Figura N° 4.15: Esquema representativo de la configuración de 10%.	60
Figura N° 4.16: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.....	62
Figura N° 4.17: Generación fotovoltaica mensual promedio.	64
Figura N° 4.18: Esquema representativo de la configuración del 30%	66
Figura N° 4.19: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.....	68
Figura N° 4.20: Generación Fotovoltaica Mensual Promedio.....	70
Figura N° 4.21: Esquema representativo de la configuración del 50%.	72
Figura N° 5.1:Gráfico de inversión y ganancias anuales.....	76
Figura N° 5.2: Grafico de flujo efectivo acumulado.....	76
Figura N° 5.3: Gráfico de inversión y ganancias anuales.....	79
Figura N° 5.4: Gráfico de flujo de efectivo acumulado.....	79
Figura N° 5.5: Gráfico de inversión y ganancias anuales.....	82
Figura N° 5.6: Gráfico de flujo de efectivo acumulado.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Valores máximos en MWh.....	34
Tabla N° 3.2: Valores de la frecuencia.	36
Tabla N° 3.3: Tabla de mediciones de la potencia activa.....	37
Tabla N° 3.4: Tabla de mediciones de la potencia reactiva.....	38
Tabla N° 3.5: Tabla de mediciones de la potencia aparente.....	38
Tabla N° 3.6: Tabla de Factor de Potencia.....	39
Tabla N° 4.1: Frecuencia de sombras.....	45
Tabla N° 4.2: Porcentaje del año con sombras en cada hora.	45
Tabla N° 4.3: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de [kWh/ m ² / día], de radiación incidente en el plano horizontal.	49
Tabla N° 4.4: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de [kWh/ m ² / día], de radiación incidente en el plano inclinado igual a la latitud del sitio.	49
Tabla N° 4.5: Porcentaje de nubosidad en meses/ horas al dia	51
Tabla N° 4.6: Temperatura media mensual y diurna.....	52
Tabla N° 4.7: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esta configuración.	56
Tabla N° 4.8: Rendimiento de la planta.	57
Tabla N° 4.9: Parámetros de la planta.....	58
Tabla N° 4.10: Generacion simulada por el explorador solar.	59
Tabla N° 4.11: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esta configuración.	62
Tabla N° 4.12: Rendimiento de la planta.	63
Tabla N° 4.13: Parámetros de la planta.....	63
Tabla N° 4.14: Generacion simulada por el explorador solar.	65
Tabla N° 4.15: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esta configuración.	68
Tabla N° 4.16: Rendimiento de la planta.	69
Tabla N° 4.17: Parámetros de la planta.....	69
Tabla N° 4.18: Generación simulada por el explorador solar.	71
Tabla N° 5.1: Costos de inversión para sustentar el 10 % del consumo energético total de Escorial Pucobre.....	74

Tabla N° 5.2: Flujo de caja para el 10 %.....	75
Tabla N° 5.3: Costos de inversión para sustentar el 30 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE.	77
Tabla N° 5.4: Flujo de caja para el 30 %.....	78
Tabla N° 5.5: Costos de inversión para sustentar el 50 % del consumo energético total de Escorial Pucobre.....	80
Tabla N° 5.6: Flujo de caja para el 50 %.....	81

RESUMEN

Este proyecto consta como objetivo general el proponer un sistema solar fotovoltaico para la reducción de costos por consumo de electricidad, teniendo en cuenta una aplicación de eficiencia energética para un óptimo desempeño en las oficinas El Escorial de Pucobre, ubicada en la región de Atacama. Para lograr este objetivo se tiene como objetivos específicos el describir los consumos de las oficinas el escorial de PUCOBRE, con esto realizar un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico que sea acorde a un presupuesto. Luego diseñar el sistema solar fotovoltaico en base a la ubicación y al estudio del terreno para que finalmente se pueda realizar un análisis de resultado para tres propuestas, las cuales tienen como referencia un porcentaje del consumo del recinto, partiendo por un 10 %, un 30 % y por último un 50 % del total. Primeramente, se realiza un análisis de energía en el recinto para obtener el consumo específico del lugar, todo esto regido por la norma que indica que se debe realizar una medición constante durante 7 días en un lapso de 5 minutos cada una. Siguientemente, en base al análisis que se realiza para la obtención de la potencia de las oficinas del Escorial, posteriormente se realiza el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico y se diseña el sistema tal, con el fin de realizar un análisis financiero para cada una de las propuestas y se toma una decisión entre las tres propuestas, escogiendo la del 50 % por motivos económicos a largo plazo es la más conveniente para abaratar costos por consumo energético.

ENERGÍA SOLAR - MINERÍA - EFICIENCIA ENERGÉTICA

ABSTRACT

The general objective of this project is to propose a solar photovoltaic system to reduce electricity consumption costs, taking into account an application of energy efficiency for optimal performance in the offices of El Escorial de Pucobre, located in the Atacama region. To achieve this objective, the specific objectives are to describe the consumption of PUCOBRE's El Escorial offices, and with this, to make a sizing of a solar photovoltaic system that is according to a budget. Then design the solar photovoltaic system based on the location and the study of the land so that finally an analysis of results can be made for three proposals, which have as a reference a percentage of the consumption of the recital, starting with 10%, 30% and finally 50% of the total. First of all, an energy analysis is performed on the premises to obtain the specific consumption of the place, all this governed by the standard that indicates that a constant measurement must be made for 7 days in a period of 5 minutes each. Next, based on the analysis carried out to obtain the power of the Escorial offices, subsequently the sizing of the solar photovoltaic system is carried out and the system is designed, in order to perform a financial analysis for each of the proposals and a decision is made between the three proposals, choosing the 50% for economic reasons in the long term is the most convenient to reduce costs for energy consumption.

SOLAR ENERGY - MINING - ENERGY EFFICIENCY

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Breve descripción del proyecto

Se realizará un análisis de factibilidad para proponer un sistema solar fotovoltaico en las oficinas Escorial de PUCOBRE, debido al aumento por consumo energético se busca reducir el costo mediante la sustentación de energía renovable. Este sistema se determinará evaluando irradiación, sombras y/o reflejos. Actualmente este recinto no cuenta con ninguna fuente de energía renovable que permita reducir el impacto inminente del aumento por consumo energético en la boleta, es por este motivo que se solicita a la empresa la boleta de consumo o algún dato referencial para conocer el detalle de costos asociados al consumo a lo largo del año, para después determinar si es factible o no el sustentar el recinto con un sistema solar fotovoltaico, o en caso de ser necesario cumplir con un porcentaje del total del consumo. Una vez dimensionado el sistema se presentará un análisis de factibilidad económica, teniendo en cuenta siempre la Ley 21.118. y en su debido caso los Pliegos Técnicos RIC.

1.2 Importancia

Importancia de la implementación de la energía renovable en el ahorro de costos por consumo que indica la boleta. Promover y justificar el uso de energías renovables en pequeñas y medianas empresas. Sustentabilidad a lo largo del tiempo para el desarrollo de la empresa.

1.3 Cambio o mejora

- ✚ Implementación de un sistema solar fotovoltaico para la reducción de los costos por consumo energético en las oficinas del escorial PUCOBRE.

- ✚ Producción de energía limpia favoreciendo al medio ambiente.
- ✚ Optimización del consumo eléctrico para reducir los costos asociados.

1.4 Objetivo general

Proponer un sistema solar fotovoltaico que cumpla con las necesidades de la empresa PUCOBRE, teniendo en cuenta una aplicación de eficiencia energética para un óptimo desempeño.

1.5 Objetivos específicos

- ✚ Describir los consumos de las oficinas el escorial de PUCOBRE.
- ✚ Dimensionar un sistema solar fotovoltaico acorde al presupuesto.
- ✚ Diseñar el sistema solar fotovoltaico en base a la ubicación y al estudio del terreno.
- ✚ Analizar los resultados de la propuesta.

1.6 Metodología de trabajo

- ✚ Análisis y estudio del lugar e instalación donde se propone el sistema solar fotovoltaico.
- ✚ Realizar cálculos para el correcto dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico en las oficinas El Escorial.
- ✚ Utilización del explorador solar del ministerio de la energía para estimación de generación de energía.

- ✚ Realizar un estudio de costos de diseño para la propuesta del sistema solar fotovoltaico en las oficinas.

- ✚ Analizar los resultados obtenidos.

1.7 Alcances

Este proyecto tiene como alcance el impulso del uso de energías renovables como medidas de abaratar costos por consumo energético, teniendo un gran impacto en el ámbito de fomentar alguna estrategia para el aumento de las tarifas por consumo de energía eléctrica. En este caso se propone un sistema solar fotovoltaico On Grid, donde se obtiene un aprovechamiento de la energía solar debido al amplio terreno que se dispone.

1.8 Resumen de capítulos

El Capítulo II, corresponde al marco teórico del proyecto en donde se ve la teoría de los distintos aspectos involucrados en este proyecto, como lo es la energía renovable, concretamente la energía solar fotovoltaica. Una breve descripción de lo que es un sistema solar fotovoltaico, y los distintos equipos involucrados.

El Capítulo III, en esta etapa se realiza el cálculo para la medición de la potencia para la realización del dimensionamiento.

El Capítulo IV, parte del proyecto donde se realiza el cálculo del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico On-Grid.

El Capítulo V, Proceso de análisis de los costos y la obtención de resultados mediante RETScreen.

El Capítulo VI, son las conclusiones del proyecto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Energía renovable

La energía renovable se define como aquella que proviene de recursos naturales que se regeneran de manera continua, como la luz solar, el viento, el agua, la biomasa y el calor geotérmico. A diferencia de las fuentes de energía no renovables, como los combustibles fósiles, las energías renovables son inagotables a escala humana y generalmente tienen un impacto ambiental reducido.

Ahora se muestra la figura N° 2.1 las principales fuentes de energía renovable las cuales incluyen:



Figura N° 2.1: Tipos de energías renovables.

Fuente: cidhma.edu.pe Recuperado 20 de abril del 2025.

Las principales fuentes de energías renovables y factibles son:

- ✚ **Energía Solar:** Dividida en solar térmica y solar fotovoltaica.
- ✚ **Energía Eólica:** Energía obtenida del viento mediante aerogeneradores.
- ✚ **Energía Hidráulica:** Generada por el movimiento del agua en ríos y presas.
- ✚ **Energía Geotérmica:** Derivada del calor interno de la Tierra.

Así también Las energías renovables juegan un papel crucial en la transición energética mundial. Su adopción masiva es fundamental para mitigar los efectos del cambio climático, reducir la dependencia de los combustibles fósiles y promover un desarrollo económico sostenible.

A nivel global, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas resaltan la importancia de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (ODS 7).

2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión de la luz solar en electricidad mediante el uso de celdas fotovoltaicas. Estas celdas están hechas principalmente de silicio, un material semiconductor que, al ser expuesto a la luz solar, genera un flujo de electrones, creando así corriente eléctrica.

Las celdas solares modernas se agrupan en módulos o paneles solares, que pueden instalarse en tejados, campos solares, o integrarse en infraestructuras urbanas.

El efecto fotovoltaico fue descubierto por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, pero su aplicación comercial no se desarrolló hasta mediados del siglo XX.

Las celdas solares modernas se agrupan en módulos o paneles solares, que pueden instalarse en tejados, campos solares, o integrarse en infraestructuras urbanas.

A continuación, se muestra la figura N° 2.2 que representa la obtención de la energía solar.



Figura N° 2.2: Obtención de energía solar fotovoltaica.

Fuente: Ingeoexpert.com. 28 de enero de 2019

2.3 Radiación solar

La radiación solar corresponde a la energía emitida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía viaja a través del espacio y llega a la Tierra, proporcionando la luz y el calor necesarios para sostener la vida y alimentar los procesos atmosféricos y biológicos. La radiación solar es fundamental para el clima terrestre y es la base de todas las energías renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica.

Consecuentemente la radiación solar que llega a la Tierra afecta a la radiación si bien no de una forma muy considerable se tiene en cuenta de todas formas, esta se compone de diferentes tipos de radiación, clasificados según su longitud de onda:

✚ **Radiación Ultravioleta (UV):** Tiene la longitud de onda más corta (10-400 nm). Representa un pequeño porcentaje de la energía solar total, pero es la responsable de efectos como el bronceado de la piel y la formación de la capa de ozono. Una porción de esta radiación es absorbida por la atmósfera, especialmente por la capa de ozono.

✚ **Radiación Visible:** Esta porción, que abarca longitudes de onda de aproximadamente 400 a 700 nm, es la que nuestros ojos pueden percibir. Representa alrededor del 42 % de la energía solar que llega a la superficie terrestre y es la principal responsable de la fotosíntesis y de la generación de energía en los paneles solares fotovoltaicos.

✚ **Radiación Infrarroja (IR):** Con longitudes de onda más largas (700 nm a 1 mm), esta radiación es percibida como calor. Constituye aproximadamente el 49 % de la radiación solar que llega a la Tierra.

Por otra parte, la cantidad y calidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre están influidas por varios factores que se deben considerar a la hora de realizar un dimensionamiento solar fotovoltaico, aunque estos factores que no se pueden modificar de forma física por el humano, estos factores son:

✚ **Distancia entre la Tierra y el Sol:** Se considera que la órbita terrestre es casi circular, existen pequeñas variaciones estacionales en la distancia al Sol, que afectan la cantidad de radiación recibida.

- ✚ **Inclinación de la Tierra:** La inclinación axial de la Tierra provoca variaciones en la intensidad y duración de la radiación solar, originando las estaciones del año. Las áreas cercanas al ecuador reciben radiación más directa y constante a lo largo del año.
- ✚ **Atmósfera Terrestre:** La atmósfera filtra una parte de la radiación solar mediante la absorción, dispersión y reflexión. Gases como el ozono, el dióxido de carbono y el vapor de agua absorben ciertas longitudes de onda, mientras que las nubes y el polvo atmosférico dispersan y reflejan parte de la radiación.
- ✚ **Ángulo de Incidencia:** La radiación solar es más intensa cuando incide perpendicularmente a la superficie terrestre. En ángulos más oblicuos, la energía solar se distribuye sobre un área mayor y su intensidad disminuye.

La radiación solar es posible medirla bajo diferentes conceptos, como es el termino de irradiancia que corresponde a la potencia por unidad de área recibida en una superficie, medida en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Es un valor instantáneo que varía a lo largo del día, también se tiene el termino de insolación que es la cantidad total de energía solar recibida por unidad de área durante un período determinado (generalmente un día), medida en kilowatt-hora por metro cuadrado (kWh/m^2).

Existen otros tipos de radiación las cuales tienen que ver directamente con la obtención de la energía, estas sirven para conocer nuestro entorno en cuanto a la radiación solar.

Estas son:

- ✚ **La radiación solar directa:** Este tipo de radiación es la que traspasa la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra sin haber sufrido dispersión alguna en su trayectoria.

✚ **La radiación solar difusa:** Es la radiación que alcanza la superficie de la Tierra tras haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo, por los gases presentes en la atmósfera.

✚ **La radiación solar reflejada:** Es aquella fracción de radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo.

2.4 Descripción de un sistema solar fotovoltaico

Un sistema solar fotovoltaico es una fuente de energía renovable que obtiene energía del sol a través de placas o paneles solares. Cuando el semiconductor de los paneles fotovoltaicos absorbe la luz solar, los electrones se liberan de su lugar y fluyen por el semiconductor. Estos electrones liberados, cada uno con una carga negativa, circulan a través de la célula hacia la superficie frontal, creando un desequilibrio de carga, que a fin de cuentas convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC). Estos paneles están montados en estructuras de soporte, como techos o estructuras terrestres, y están diseñados para capturar la mayor cantidad posible de luz solar durante el día.

Además de los paneles solares, el sistema incluye siempre un inversor, que convierte la corriente continua (DC), generada por los paneles en corriente alterna (AC), utilizable para alimentar dispositivos eléctricos en hogares, negocios u otras instalaciones.

Los inversores pueden ser de tipo centralizado, que manejan la salida de varios paneles, o microinversores, que se instalan en cada panel individualmente para optimizar el rendimiento del sistema.

Dependiendo de la configuración del sistema, puede incluir baterías de almacenamiento para almacenar el exceso de energía para su uso posterior durante la noche o en días nublados. Estas baterías permiten una mayor autonomía y resiliencia del sistema, especialmente en áreas donde la red eléctrica es poco confiable o inaccesible.

Además de los componentes principales, un sistema solar fotovoltaico puede incluir sistemas de montaje y seguimiento solar para optimizar la captura de luz solar, así como dispositivos de control y monitoreo para supervisar y gestionar el rendimiento del sistema. En conjunto, estos elementos componen un sistema completo y eficiente que aprovecha la energía del sol para satisfacer las necesidades energéticas de forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente, en otras palabras, este sistema proporciona una fuente de energía limpia y renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

En seguida, se muestra la figura N° 2.3 representando el sistema Off Grid y On Grid.

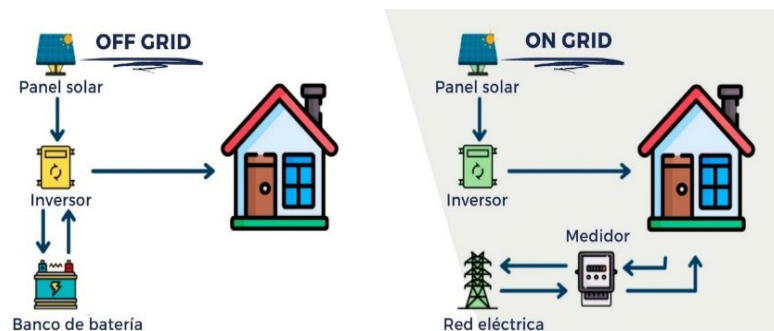


Figura N° 2.3: Sistemas On Grid y Sistemas Off Grid

Fuente: Dynamic Energy.

2.5 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red (On Grid)

Un sistema solar fotovoltaico conectado a la red es un sistema de generación de energía renovable por medio de paneles solares fotovoltaicos, estos a su vez son derivados dependiendo de su dimensionamiento a una caja de combinación de string para poder suplir las protecciones correspondientes antes de llegar al inversor, el inversor para este tipo de configuración debe ser bidireccional, es decir, que de paso tanto a la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos en horario de día, para posterior dar paso a la red pública que soportará el consumo energético en horario sin luz o de días nublados.

Componentes de un Sistema Fotovoltaico On Grid:

- ✚ **Red Eléctrica Pública:** El sistema On Grid está conectado a la red eléctrica pública, lo que permite al usuario consumir energía de la red cuando la producción solar es insuficiente (como durante la noche o en días nublados).
- ✚ **Paneles Solares Fotovoltaicos:** Estos paneles están hechos de células fotovoltaicas que convierten la luz solar directamente en electricidad en forma de corriente continua (CC).
- ✚ **Inversor:** Convierte la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es la forma de electricidad utilizada por la mayoría de los electrodomésticos y dispositivos en el hogar.
- ✚ **Medidor Bidireccional:** Mide la cantidad de electricidad que se consume de la red y la cantidad de electricidad que se exporta a la red desde el sistema solar.

Como se ve en la figura N° 2.4 el sistema solar On-Grid no depende de un lugar de almacenamiento de la energía, por lo que las baterías no son fundamentales para este tipo de sistema.

Tipos de Sistemas Fotovoltaico

Conectado a la Red | On Grid | Interactivo

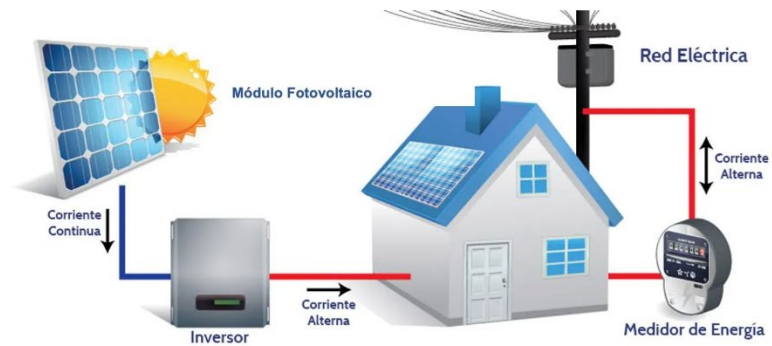


Figura N° 2.4: Diagrama referencial para un sistema On - Grid.

Fuente: Sistema Fotovoltaico Conectado a La Red | on Grid | Interactivo - Ilumin | Cursos de Energía Solar, 2023

2.6 Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Están compuestos por celdas solares, generalmente de silicio, que capturan la luz solar y generan corriente eléctrica cuando los fotones de la luz solar golpean los electrones en el material semiconductor. Estas celdas solares están conectadas en serie y/o en paralelo dentro de un panel para producir la cantidad deseada de electricidad.

Ahora se procede a explicar las principales partes del panel fotovoltaico, las cuales son:

✚ **Marco:** Corresponde a la parte exterior del panel solar, comúnmente está fabricada de aluminio o plástico dependiendo del fabricante.

✚ **Encapsulante:** Pieza que va debajo del vidrio en la parte posterior y encima del recubrimiento trasero, esta evita el ingreso de humedad y polvo. Ayuda también a reducir las pérdidas de radiación por la reflexión.

✚ **Células solares:** También se les conoce como celdas solares, este es el elemento que permite la obtención de la energía solar.

✚ **Cubierta posterior:** Es el vidrio templado que permite a los paneles la transparencia hacia las células solares.

Seguidamente, se muestra la figura N° 2.5, representando el interior del panel solar fotovoltaico, incluyendo sus capas.

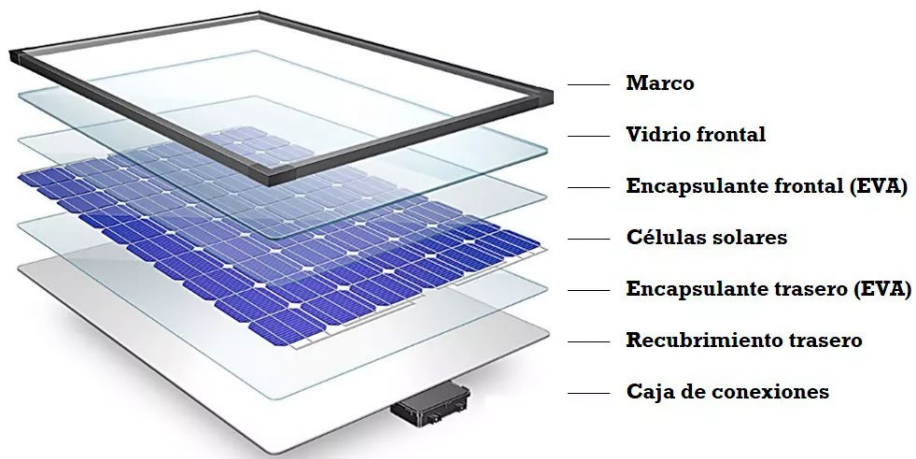


Figura N° 2.5: Interior de un panel solar fotovoltaico.

Fuente: Mártil, I. (2023). Estructura y peculiaridades de los paneles fotovoltaicos estándares - Material Eléctrico - CdeComunicacion.es. Material Eléctrico - CdeComunicacion.es.

Existen varios tipos de paneles fotovoltaicos, cada uno con diferentes tecnologías y características.

✚ **Paneles de silicio monocristalino:** Estos paneles están hechos de lingotes de silicio monocristalino, lo que les otorga una alta eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad. Tienen una apariencia uniforme y suelen ser más eficientes en condiciones de baja luminosidad.

Ahora se muestra la figura N° 2.6, panel solar de silicio monocristalino.



Figura N° 2.6: Panel solar monocristalino.

Fuente: naturaenergy.cl año 2025

✚ **Paneles de silicio policristalino:** Están fabricados a partir de lingotes de silicio fundido, estos paneles tienen múltiples cristales en su estructura. Son más fáciles y económicos de producir que los paneles monocristalinos, pero tienden a ser ligeramente menos eficientes.

A continuación, se muestra la figura N° 2.7, imagen referencial del panel de silicio policristalino.

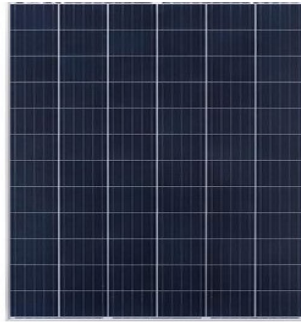


Figura N° 2.7: Panel solar policristalino.

Fuente: sotysolar.es año 2025.

✚ **Paneles de capa fina:** Estos tipos de paneles utilizan materiales semiconductores depositados en sustratos como vidrio, plástico o metal. Los tipos comunes incluyen paneles de película delgada de silicio, paneles de telurio de cadmio (CdTe) y paneles de sulfuro de cadmio (CIS/CIGS). Si bien son menos eficientes que los paneles de silicio, estos suelen ser más económicos, además de tener ciertas ventajas en situaciones de baja luminosidad y altas temperaturas.

En seguida, se muestra la figura N° 2.8, imagen referencial del panel de capa fina.



Figura N° 2.8: Panel solar de capa fina.

Fuente: panelessolaresbarcelona.com año 2025.

✚ **Paneles bifaciales:** Estos paneles pueden generar electricidad tanto desde la parte frontal como desde la trasera, lo que les permite aprovechar la luz solar reflejada desde superficies cercanas, como el suelo o las estructuras adyacentes. Suelen usarse en zonas donde las radiaciones son extremadamente altas dando lugar a un aprovechamiento óptimo para este tipo de tecnología.

Ahora se muestra la figura N° 2.9, imagen referencial del panel solar bifacial.

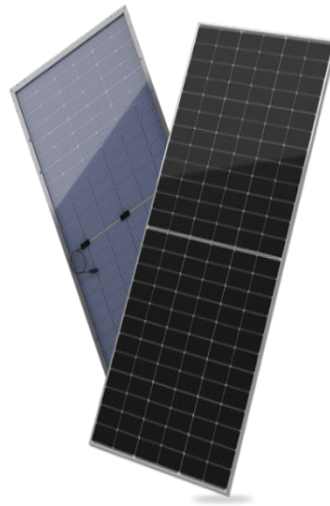


Figura N° 2.9: Panel solar bifacial.

Fuente: seraphim-energy.es año 2025.

✚ **Paneles orgánicos:** Estos paneles utilizan ciertos materiales orgánicos como polímeros conductores para capturar la luz solar. Aunque aún están en desarrollo y tienen eficiencias más bajas que otros tipos de paneles, ofrecen la ventaja de ser más flexibles y livianos, lo que los hace adecuados para aplicaciones específicas, como integración en edificios o dispositivos portátiles.

A continuación, se muestra la figura N° 2.10, una imagen referencial del panel solar orgánico.

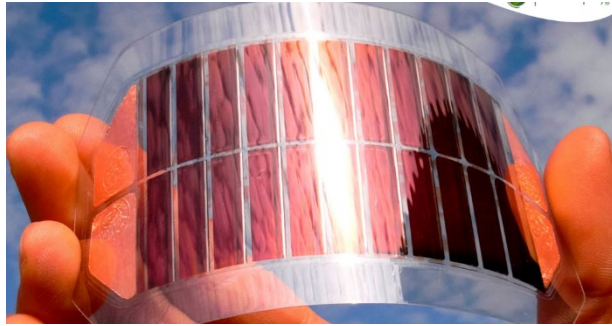


Figura N° 2.10: Panel orgánico.

Fuente: revistac2.com año 2025.

Cada tipo de panel tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de eficiencia, costo, durabilidad y aplicaciones específicas. La elección del tipo de panel depende de las necesidades y requisitos del proyecto en cuestión. A continuación, se muestra algunos parámetros para tener en cuenta en los paneles solares, tales como:

- ✚ **La intensidad de corto circuito (I_{cc} o I_{sc}):** Es igual a la de una de sus celdas multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo. Es la máxima intensidad que puede obtener un panel.

- ✚ **Tensión nominal (V_n):** Es el valor de la tensión a la cual el panel trabaja correctamente.

- ✚ **Tensión a circuito abierto (V_{ca} o V_{oc}):** Es la tensión de cada una de sus celdas por el número de celdas conectadas en serie. Es el máximo voltaje, que se mediría entre los bornes de un panel si se dejaran las terminales en circuito abierto ($I=0$).

- ✚ **Intensidad de potencia máxima (I_{pmax}):** Es el valor de la corriente que puede suministrar el panel cuando trabaja a máxima potencia.

✚ **Tensión de potencia máxima (V_{pmax}):** Es el valor de la tensión cuando la potencia también es máxima, es decir, cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.

✚ **Potencia máxima (P_m):** Es el máximo valor obtenido al multiplicar la intensidad I_{pmax} y V_{pmax} . También se llama potencia máxima del módulo (W_p), las cuales serán menores que V_{ca} e I_{cc} .

2.6.1 Conexión o configuración de los paneles solares fotovoltaicos

Hay que saber las diferentes conexiones que poseen los paneles solares fotovoltaicos, esta configuración o conexión depende del dimensionamiento que se propone para cada instalación. Partiendo por:

La conexión de paneles solares en serie o string, esta se realiza conectando cada panel entre sí de manera directa en donde se conecta el lado positivo de un panel solar con el lado negativo del siguiente y así sucesivamente, acumulando el voltaje de todas ellas a la salida y creando un circuito en serie. Hay que mencionar que en este tipo de configuración los paneles están conectados unos a otros, por lo que el fallo en uno de ellos afecta al funcionamiento completo de la serie de paneles. Otra característica que tiene esta característica es que se suma el voltaje de todos y cada uno de los paneles solares, por otra parte, los amperios de corriente eléctrica no sufren variaciones, estos no aumentan, ni disminuyen.

Al conectar los paneles solares fotovoltaicos en serie se crea una sola ruta para el flujo de corriente, habiendo un único cable que sale de cada polo de los paneles solares fotovoltaico, es decir, sale un único cable para la serie del lado positivo y otro cable para el lado negativo.

A continuación, se muestra la figura N° 2.11, en la que por ejemplo tenemos 3 paneles solares de 200 [W] 6,5 [A] y 12 [V] cada uno, tendremos 6,5 [A] y 36 [V].

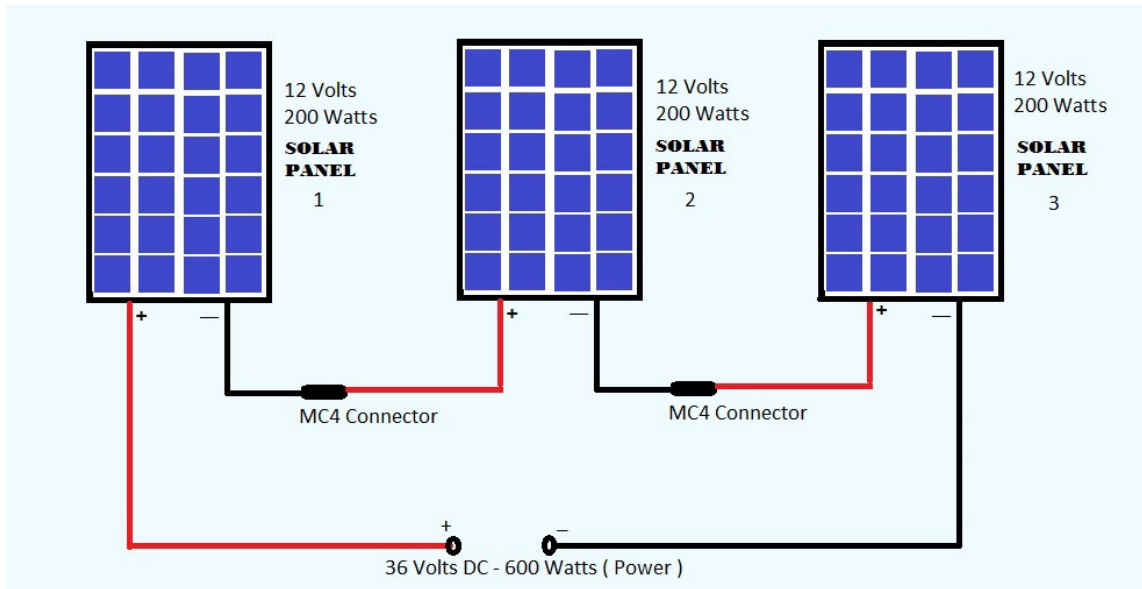


Figura N° 2.11: Conexión serie de paneles solares.

Fuente: Orsonz. (2020, August 8). Conexión serie de placas solares. Guangdong Prostar New Energy Technology Co., Ltd.

La configuración en paralelo del conexionado de los sistemas solares fotovoltaicos consta en que estos van conectados entre polos similares, es decir, el terminal positivo de un panel va conectado con otro lado positivo de otro panel y así sucesivamente hasta llegar al último panel propuesto para la configuración. Esta configuración se utiliza principalmente para ajustar la intensidad de corriente del sistema a la capacidad del inversor y para optimizar el rendimiento en condiciones de sombreado parcial.

Por ejemplo, si se dispone de 4 paneles para esta conexión, donde cada uno posee las mismas características de 12 [V] y 5 [A], como resultado final de esta configuración se mantendrían los 12 [V], pero se sumaría la corriente, teniendo un total de 20 [A].

A continuación, se muestra la figura N° 2.12 el conexionado en paralelos de los paneles solares.

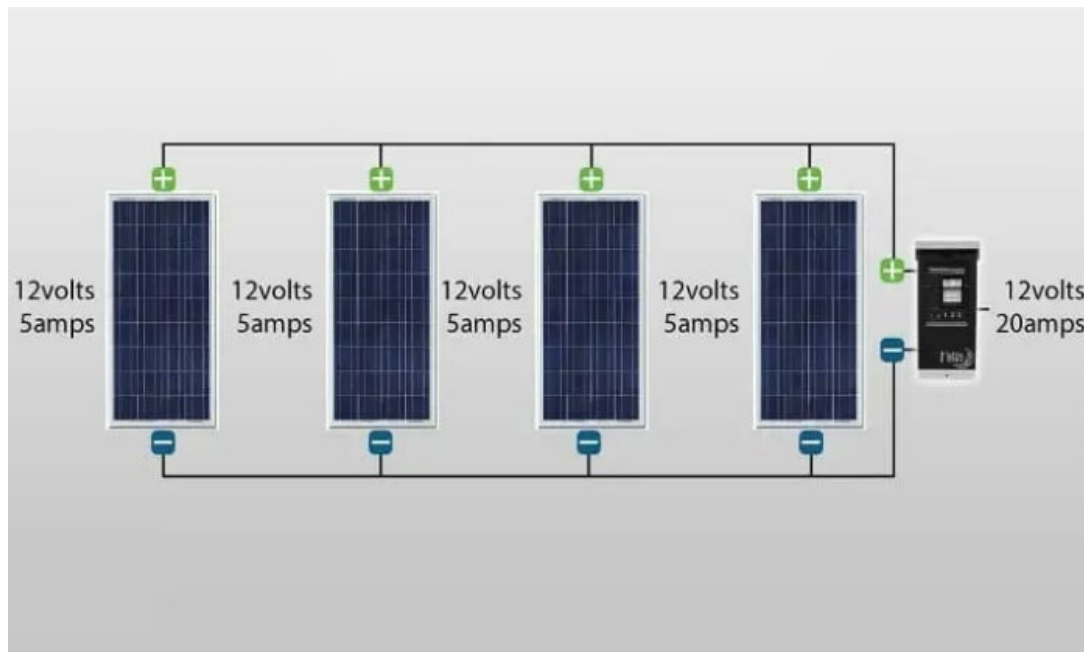


Figura N° 2.12: Conexionado en paralelos de los paneles solares.

Fuente: ¿Cómo conectar los paneles solares? (2020). Mipanel solar.com.

2.7 Inversor

La principal función de un inversor en un sistema solar fotovoltaico es convertir la corriente continua (CC), generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que puede ser almacenada en baterías diseñadas especialmente para este uso o bien inyectada en la red eléctrica. Para lograr llevar a cabo esta conversión los inversores utilizan varios componentes y diferentes procesos, en conjunto con diversos sistemas de protecciones para garantizar que su funcionamiento sea mayoritariamente seguro y eficiente.

A continuación, conoceremos mejor los diferentes procesos de transformación de energía que realiza este equipo teniendo en cuenta que como hemos mencionado posee una entrada con corriente continua y una salida con corriente alterna, comenzando por:

- ✚ **Rectificación:** El primer paso en el proceso de conversión es la rectificación, donde la corriente continua generada por los paneles solares se convierte en una corriente de pulsos de voltaje constante utilizando diodos rectificadores.
- ✚ **Filtrado:** La corriente pulsante resultante se filtra para eliminar las oscilaciones y obtener una corriente continua más suave y constante. Esto se logra utilizando capacitores y bobinas de filtro.
- ✚ **Inversión de corriente:** Una vez que se tiene una corriente continua (CC), filtrada y estable, el inversor utiliza circuitos electrónicos de conmutación, como transistores MOSFET o IGBT, para invertir la corriente y generar una forma de onda sinusoidal de corriente alterna (CA).
- ✚ **Control de tensión y frecuencia:** El inversor también ajusta la tensión y la frecuencia de la corriente alterna para que coincidan con los estándares de la red eléctrica a la que está conectado el sistema solar fotovoltaico.

Una vez ya conocidos los procesos se debe entender los componentes que utiliza el inversor para llevar a cabo su función correctamente, partiendo por:

- ✚ **Diodos rectificadores:** Utilizados en la etapa de rectificación para convertir la corriente alterna en corriente continua.
- ✚ **Capacitores y bobinas de filtro:** Utilizados para suavizar la corriente continua filtrada y eliminar las oscilaciones.

✚ **Transistores MOSFET o IGBT:** Utilizados en la etapa de inversión de corriente para controlar el flujo de corriente y generar la corriente alterna.

✚ **Sensores y sistemas de control:** Utilizados para monitorear y controlar el funcionamiento del inversor, así como para implementar las protecciones correspondientes.

Después de haber mencionado los procesos que realiza el inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna, se debe tener en cuenta que cada componente puede estar propenso a una falla por diferentes motivos, sin embargo, se tiene que estar preparado en todo momento, así mismo se deben considerar las distintas protecciones para cada proceso que realiza el inversor.

2.8 Estructura de montaje

La estructura de montaje consta en el soporte donde estarán ubicados los paneles solares fotovoltaicos, estas estructuras poseen diferentes modelos según la necesidad o al presupuesto destinado para este. Estas estructuras pueden ser fijas al techo o con un ángulo de inclinación que permita una mayor obtención de radiación solar, durante más horas efectivas en el día, además para esta superficie se debe considerar el peso total de los paneles y estructuras para una correcta instalación y que no sucumba con el paso del tiempo.

También pueden ser fijos al suelo, con un ángulo de inclinación o bien con un sistema de seguimiento (Sistema de tracker), que tenga la tecnología para poder seguir el movimiento del sol durante el día, para aprovechar al máximo las horas de radiación solar.

A continuación, se muestra la figura N° 2.13, la estructura de montaje con seguimiento solar, donde se aprecia manera horizontal el panel solar fotovoltaico, sostenido por un tubo, que en conjunto con el motor que a su vez actúa con el dámper, hacen mover al panel solar.

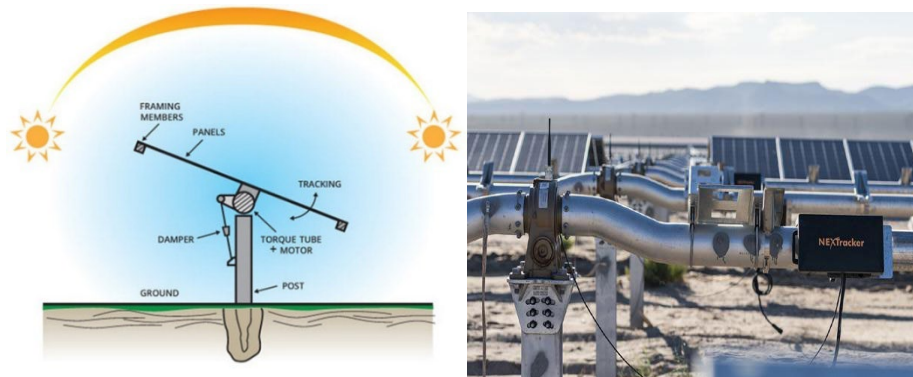


Figura N° 2.13: Sistema de tracker.

Fuente: countryholidays. (2016, November 16). NEXTracker hits global No. 1 solar-tracker position. Pv Magazine USA.

2.9 Protecciones

Al momento de realizar un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico, se debe saber que todos los equipos y artefactos utilizados poseen una protección en caso de una falla determinada, es aquí en donde se ven las distintas fallas que pueden ocurrir en un sistema solar fotovoltaico, ya sea este conectado a la red o de manera independiente (energía almacenada en baterías):

A. Paneles solares:

En los paneles solares se encuentran diversas fallas por distintos motivos, aunque es poco probable que ocurra es necesario tenerla en consideración, es por esto por lo que se

tiene en cuenta primeramente una protección contra sobretensión donde actúan los diodos de derivación (diodos bypass) instalados en cada panel solar.

Además, se suman a éstas la protección contra sobre corriente, aquí actúan los fusibles o disyuntores instalados en las cadenas de paneles solares y finalmente se tiene una protección contra sobrecalentamiento en el panel, donde como medida preventiva es necesario tener una ventilación adecuada reduciendo considerablemente esta posible falla.

B. Cables y conexiones:

En los cables es necesario también considerar ciertas protecciones para poder evitar fallas durante la generación, principalmente se debe tener una protección contra cortocircuitos, es sumamente necesario, ya que, como se ha mencionado tiene relación directa con la generación y ante esta posible falla actúan los fusibles o disyuntores instalados en el sistema de cableado. También hemos de considerar una protección contra sobrecalentamiento, sin embargo, esto va de la mano con una selección adecuada de cables ya que esta nos permitirá suplir con la capacidad de corriente suficiente, además de siempre realizar unas conexiones limpias y seguras.

C. Inversor:

Los inversores generalmente son el equipo que más debe estar protegido ante cualquier tipo de falla, ya que, de este depende principalmente el sistema solar fotovoltaico, por este motivo se deben considerar todo tipo de protecciones, como por ejemplo la protección contra sobrecarga, estos equipos suelen estar equipados con sistemas de protección que detectan y evitan situaciones de sobrecarga, donde la demanda de energía excede la capacidad del inversor. Esto puede causar daños críticos en el sistema o un precario funcionamiento. Se tiene también la protección contra sobretensión y subida de tensión, normalmente los inversores cuentan con una protección contra sobretensiones, que son picos repentinos en el voltaje de la red eléctrica, y contra subidas de tensión, que son

aumentos graduales pero rápidos en el voltaje. Estas protecciones ayudan a mantener el sistema seguro y estable de forma óptima.

Así mismo estos equipos poseen una protección contra sobrecalentamiento, sabemos que todos los inversores tienen incorporado en su funcionamiento un sistema de enfriamiento como pueden ser ventiladores o extractores de aire acompañados de sensores de temperatura para evitar el sobrecalentamiento, este tipo de falla puede ocasionar una reducción en la eficiencia que puede ir aumentando si no se es tratado a tiempo logrando una reducción en la vida útil del equipo.

D. Sistema en general:

Una vez ya instalado el sistema solar fotovoltaico no olvidar que en todo momento están presente numerosas fallas generales tales así que la protección contra fallas a tierra es la más recurrente ante una falla en el sistema, es por esto por lo que existen dispositivos de detección de fallas a tierra instalados en el sistema fotovoltaico.

En ocasiones se observa una protección contra rayos, esto consiste en un sistema de pararrayos generalmente utilizado en los parques fotovoltaicos o en lugares donde la instalación del sistema solar fotovoltaico sea propensa a este fenómeno.

Eventualmente cuando se realiza un dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico se debe realizar una selección de materiales y equipos resistentes a las condiciones climáticas adversas para que el sistema sea óptimo y eficiente en el mayor tiempo posible.

A gran escala existe como medida adicional una protección contra ráfagas de viento, generalmente en parque fotovoltaico cuya tecnología permite la variación de los grados del panel solar, esta protección consiste en la nivelación de paneles en forma horizontal en caso de ráfagas de viento cuya velocidad pueda ocasionar un daño en la estructura que sostiene los paneles solares.

E. Malla a tierra:

Las mallas a tierra son componentes importantes en toda instalación eléctrica y no es la excepción en un sistema solar fotovoltaico, ya que proporcionan una vía segura para disipar corrientes de fuga y proteger contra descargas eléctricas.

Para formar una malla a tierra correctamente se utilizan electrodos metálicos, como barras de cobre o varillas de acero galvanizado, enterrados en el suelo para formar la base de la malla a tierra. Luego existen conductores de conexión, en esta sección se utilizan cables conductores de cobre de alta conductividad para conectar los electrodos de puesta a tierra entre sí y con los equipos del sistema fotovoltaico en caso de que estas los requieran como suele suceder en los parques fotovoltaicos. Eventualmente existen las conexiones y empalmes en la malla a tierra en donde se realizan conexiones mecánicas o soldaduras para unir los diferentes componentes de la malla a tierra de manera que esta represente una buena protección ante cualquier eventualidad. Por último, no descartar la instalación de dispositivos de medición, referente a esto se instalan pozos de inspección o medidores de resistencia de tierra, para verificar la integridad y la eficacia de la malla a tierra.

F. Instalación de las mallas a tierra:

Primeramente, antes de la instalación se debe realizar un diseño detallado del sistema solar fotovoltaico para determinar la ubicación y la distribución adecuada de las mallas a tierra, posteriormente se dará la ubicación de los electrodos de puesta a tierra, estos se instalan estratégicamente en diferentes puntos del sistema solar fotovoltaico, teniendo en cuenta factores como la geometría del terreno, la distancia que existe entre los paneles solares y el inversor, además de la ubicación de las estructuras metálicas que existen.

Los electrodos se conectan entre sí mediante cables conductores enterrados bajo tierra, se pueden utilizar métodos de conexión directa o mediante bucles de conexión para mejorar la eficacia y eficiencia de la malla a tierra diseñada.

Luego se debe considerar que a esta malla a tierra deben ir conectados los equipos del sistema solar fotovoltaico, como los paneles solares, los inversores y las estructuras de montaje, todos estos irán conectados a la malla a tierra utilizando cables conductores adecuados y conexiones mecánicas seguras.

Ya finalizado todo el diseño y la conexión se realizan pruebas de resistencia de tierra y de continuidad para verificar su correcto funcionamiento y cumplimiento de las normativas locales y los estándares de seguridad. Es importante destacar que la instalación de las mallas a tierra debe realizarse por personal especial y calificado, siguiendo las normativas en especial el Pliego técnico normativo: RPTD N° 06, cuya fuente reglamentaria es DECRETO N°8, DE 2019, DEL MINISTERIO DE ENERGÍA, REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, dictada por RESOLUCIÓN EXENTA N° 33.877, DE FECHA 30/12/2020, DE LA SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES.

CAPITULO III

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA CON POWERPAD AEMC 3945

En la actualidad, la gestión eficiente y el monitoreo preciso de los sistemas eléctricos son cruciales para garantizar la confiabilidad, la seguridad y la eficiencia operativa de las infraestructuras energéticas. Los avances en la tecnología de medición eléctrica han permitido el desarrollo de herramientas más sofisticadas para el análisis de la calidad de la energía y la detección de fallos en las redes eléctricas. Entre estos dispositivos, el AEMC 3945 se destaca como un instrumento de medición y análisis integral, diseñado específicamente para abordar los desafíos de las instalaciones eléctricas modernas.

El PowerPad AEM 3945 es un medidor avanzado de calidad de energía y analizador de potencia que se utiliza para obtener resultados de parámetros eléctricos en un sistema de energía. Su principio de funcionamiento se basa en la medición en tiempo real de distintas magnitudes eléctricas, tales como voltaje, corriente eléctrica, frecuencia, Energía potencia activa, reactiva, aparente, distorsión de armónicos, factor de potencia entre otras.

Características técnicas del PowerPad 3945:

- ✚ Rango de Medición:
- ✚ Voltaje: Hasta 1000 [V] AC/DC.
- ✚ Corriente: Hasta 6000 [A] (con sensores de corriente flexibles).
- ✚ Potencia: Activa, Reactiva Aparente.
- ✚ Frecuencia: Hasta 1000 [Hz].
- ✚ Precisión: Alta precisión en mediciones de voltaje, corriente, potencia y armónicos, con una resolución que permite detectar variaciones sutiles en los parámetros eléctricos.
- ✚ Mediciones Avanzadas: Capacidad para medir armónicos hasta el N°50, un parámetro crucial para detectar problemas relaciones con la calidad de la energía en sistemas eléctricos.

- ✚ Pantalla: pantalla LCD a color de alta resolución para mostrar gráficos, tablas y datos a tiempo real.
- ✚ Almacenamiento y Exportación de Datos: Memoria interna para almacenar datos y la posibilidad de exportarlos a través de USB para análisis posterior, mediante software DataView.
- ✚ Funciones de Análisis: Capacidad para realizar análisis de transitorios, fluctuaciones de voltaje, picos y caídas, además de registrar eventos de calidad de energía.
- ✚ Conectividad: Conexión inalámbrica y por cable para facilitar el monitoreo remoto y la configuración a distancia.

3.1 Principio de Funcionamiento del instrumento de medición

A. Adquisición de datos:

El analizador de redes mide los parámetros eléctricos directamente del sistema que está a prueba, en el caso de nuestro estudio se conectó a transformador de 150 [kVA], voltaje de 23.000 [V] en el primario y 400 [V] en el bobinado secundario. El Analizador utiliza sensores y actuadores que convierten las señales de las magnitudes eléctricas en señales medibles, este dispositivo tiene canales de entrada para conectar las pinzas de corriente generalmente de tipo flexible y pinzas para las conexiones de voltaje.

El voltaje se mide conectando directo las pinzas de voltaje en el sistema eléctrico. Mientras que las mediciones de corriente se miden mediante las pinzas, que se colocan alrededor de los conductores para captar la corriente que circula por el sistema eléctrico.

Estos datos medidos se adquieren de forma continua, para el estudio se dejó tomando mediciones durante 8 días, aquí el dispositivo registra tanto valores instantáneos como promedios durante el periodo que seleccionemos.

B. Digitalización de Datos:

El analizador de redes realiza muestreo de las señales de corriente y voltaje a una alta frecuencia generalmente superior a 1 [kHz] esto garantiza una medición precisa, incluso si la red tiene una alta frecuencia de conmutación o distorsión armónica.

Una vez que se capturan las señales eléctricas, el PowerPad 3945 las convierte en señales digitales a través, de un proceso de digitalización. Esto permite medir con alta precisión tanto las magnitudes fundamentales como las armónicas.

C. Cálculos de parámetros Eléctricos:

El PowerPad calcula una variedad de parámetros eléctricos, tales como:

- ✚ Potencia activa (P): Es la potencia real utilizada en el sistema para realizar el trabajo.
- ✚ Potencia reactiva (Q): Es la potencia asociada con los campos magnéticos, que no realiza trabajo, pero es necesaria para el funcionamiento de algunos dispositivos eléctricos.
- ✚ Potencia aparente (S): Es la combinación de la potencia activa y la reactiva.
- ✚ Factor de potencia (FP): Es la relación entre la potencia activa y la reactiva, la cual indica la eficiencia en el uso de la energía.
- ✚ Frecuencia: La frecuencia de la señal de voltaje y corriente.
- ✚ Armónicos: El análisis de la distorsión en las señales debido a las cargas no lineales, como equipos electrónicos, motores, bombas eléctricas, Etc.
- ✚ Desbalance entre voltaje y corriente: Calcula la diferencia entre las fases, lo cual es crucial para identificar problemas en la red.

D. Análisis y visualización de datos:

Los parámetros obtenidos se pueden visualizar a tiempo real en la pantalla del dispositivo o mediante software (DataView), conectado a través de puerto USB o Bluetooth. El analizador permite visualizar gráficos de las mediciones en tiempo real, además realiza análisis históricos y genera informes detallados para diagnóstico. El PowerPad permite realizar mediciones durante largos periodos de tiempo (días, semanas, etc.), para luego analizar la información. Esto con la finalidad de analizar los datos almacenados y generar informes detallados sobre las mediciones realizadas.

3.2 Obtención de datos oficinas escorial PUCOBRE

Debido a la dificultad que se presenta en este proyecto para la obtención de la potencia total para realizar un correcto dimensionamiento, se propone la idea de realizar una medición mediante el instrumento PowerPad. Para este proceso se utiliza el instrumento de la marca AEMC Model 3945.

La configuración del instrumento según su manual es simple, en donde el instrumento como tal tiene un botón llamado “SETUP” donde se escoge el tipo de configuración que se desee para este estudio. Siguiendo con la configuración se escoge el modo registro para poder realizar el análisis y posterior cálculo de la potencia, para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico propuesto para este proyecto.

El modo registro se puede programar, almacenar y presentar el registro de tendencia de unas 22 variables y de una a seis entradas, cuya velocidad de almacenaje puede ser entre un segundo a 15 minutos, además se puede analizar en la pantalla del instrumento los datos moviendo el cursor horizontal para ver valores mínimos, máximos e instantáneos como también la hora y la fecha del registro. El eje del tiempo puede acercarse y alejarse, también se puede registrar y presentar el consumo de potencia y energía.

Considerar que la norma nos rige que esta medición debe realizarse en un lapso de una semana continua como mínimo, para el estudio realizado en las dependencias de las

oficinas escorial PUCOBRE se instaló el PowerPad durante 8 días, tomando mediciones cada 5 minutos conectado a la S/E principal de 23 [kV] (primario) a 400 [V], 230 [V] (secundario), instalando el instrumento de medición analizador de redes al lado de baja tensión, el PowerPad se configuró para obtener las mediciones de voltaje RMS, corriente RMS, energía, potencia, factor de potencia, etc. (tipo de conexión del instrumento 3 fases (4 hilos)).

Para el estudio de instalación de paneles fotovoltaico, se tiene en cuenta principalmente el consumo de energía en [kWh] de las oficinas escorial PUCOBRE.

3.3 Gráficos y análisis de resultados obtenidos

3.3.1 Estudio del consumo energético

A continuación, se muestra el estudio del consumo energético mediante el siguiente gráfico:

Como se puede ver en la figura N° 3.1, grafico lineal de energía [MWH] vs tiempo [horas], durante un periodo de 24 horas por 8 días de las tres líneas y también la suma de las fases, el cual muestra una tendencia creciente de la energía al pasar los días. A lo largo del periodo observado, la energía presenta un aumento progresivo durante las primeras horas.

Este comportamiento está relacionado con la demanda energética durante ciertas horas del día, a lo largo de la curva estudiada se reconocen ciertos picos de energía los cuales están directamente ligados con el incremento de la carga en horas específicas, que es cuando los equipos o dispositivos de alto consumo energético empiezan a funcionar al inicio de la jornada laboral.

También se puede distinguir que la curva muestra una estabilidad en el consumo de energía, que es cuando la carga en el sistema alcanza una fase de funcionamiento

constante. Los descensos de energía a lo largo de la gráfica se deben a la reducción de la carga del sistema, la desconexión de los equipos o finalización de la jornada de trabajo de las oficinas y talleres de PUCOBRE. El gráfico presenta una variabilidad en el consumo de energía, con momentos de alta demanda, seguidos de periodo de estabilidad.

Estas fluctuaciones son normales por la carga de trabajo del sistema durante el día. Los valores máximos obtenidos son de 2,435 [MWh] en la fase 1 (R), 2,382 [MWh] en la fase 2 (S), 2,836 [MWh] en la fase 3 (T) y un consumo total de las 3 fases de 7,652 [MWh].

En seguida, se muestra la figura N° 3.1, correspondiente al gráfico representativo del consumo energético de oficinas y talleres.

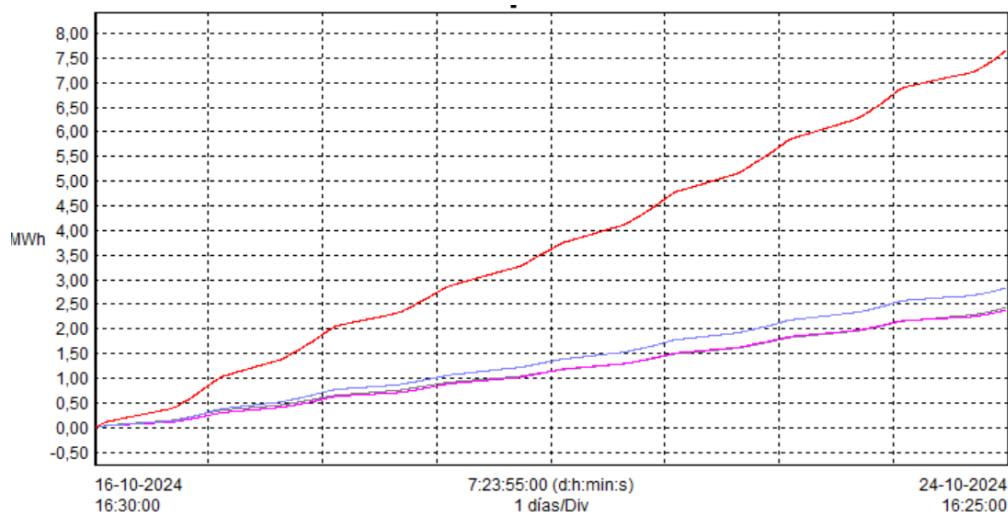


Figura N° 3.1: Gráfico de consumo energético oficinas y talleres Escorial PUCOBRE, energía en MWh.

Fuente: PowerPad.

A continuación, se muestra una tabla N° 3.1, representativa de los valores de la medición, en donde podemos ver los valores MAX para cada fase.

Tabla N° 3.1: Valores máximos en MWh.

NOMBRE	MAX	UNIDADES
WH Total	7,652 M	WH
WH 1	2,435 M	WH
WH 2	2,382 M	WH
WH 3	2,836 M	WH

Estos valores obtenidos en el consumo total, son clave para poder realizar el dimensionamiento de la planta fotovoltaica para abastecer las oficinas y talleres en El Escorial PUCOBRE, con este estudio se puede sacar los cálculos para cuantos paneles utilizar, el número de inversores, la cantidad de estructura para los paneles, Etc. Todo esto para abastecer un 10 %, un 30 % y finalmente un 50 % del consumo total de las oficinas Escorial PUCOBRE.

3.3.2 Estudio de la frecuencia en el sistema eléctrico

De igual manera se presenta el estudio para el gráfico de la frecuencia del sistema eléctrico entregada por el instrumento.

Siguientemente, se muestra la figura N° 3.2, con el gráfico representativo respecto a las frecuencias del sistema eléctrico.

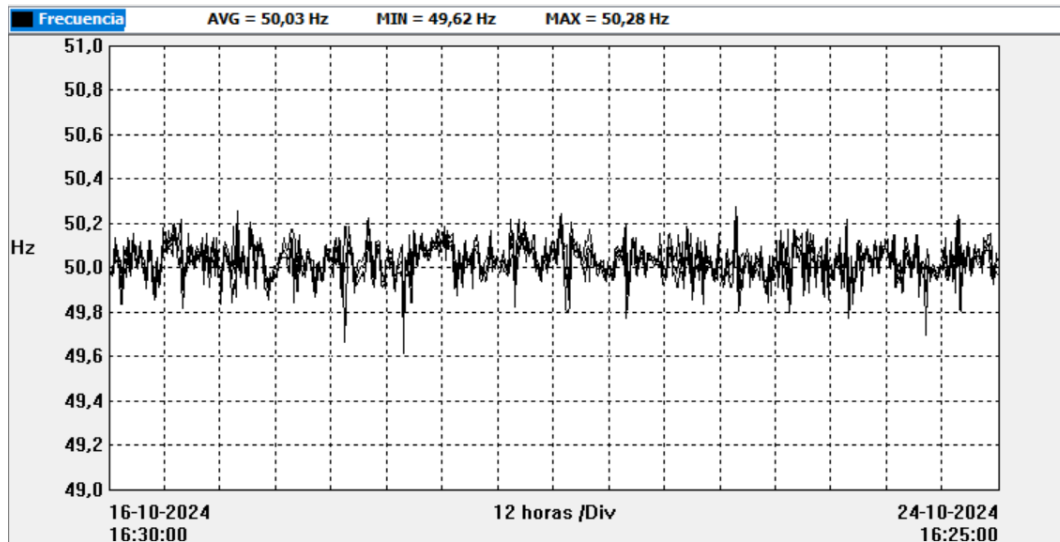


Figura N° 3.2: Gráfico de las frecuencias en el sistema eléctrico.

Fuente: PowerPad.

Para medir la frecuencia de la señal alterna se utiliza el PowerPad, el objetivo fue observar cómo varía la frecuencia a medida que aumenta la carga conectada al sistema, a lo largo de varias mediciones se obtuvieron valores de frecuencia que se mantuvieron estables en 50 [Hz] con algunas variaciones con un valor mínimo de 49,63 [Hz] y un valor máximo de 50,28 [Hz].

Esta leve disminución de la frecuencia se muestra cuando aumenta la carga del sistema. Lo que indica que la relación entre la frecuencia y la carga del sistema es inversamente proporcional, cuando aumenta la carga, se observó una leve disminución de la frecuencia, lo que indica un posible efecto de la carga sobre la estabilidad del sistema.

A continuación, se muestra la tabla N° 3.2, representando los valores PROMEDIO, MIN y MAX de la frecuencia.

Tabla N° 3.2: Valores de la frecuencia.

NOMBRE	PROMEDIO	MIN	MAX	MUESTRAS
Frecuencia	50,03	49,63	50,28	2304

De un total de 2304 muestras realizadas en el estudio, se obtuvo como resultado un promedio de frecuencia de 50,03 [Hz].

3.3.3 Estudio de las potencia y factor de potencia del sistema eléctrico

Siguiendo con el estudio realizado con el instrumento PowerPad, a continuación, la figura N° 3.3 muestra el gráfico representativo del estudio de las potencias activas.

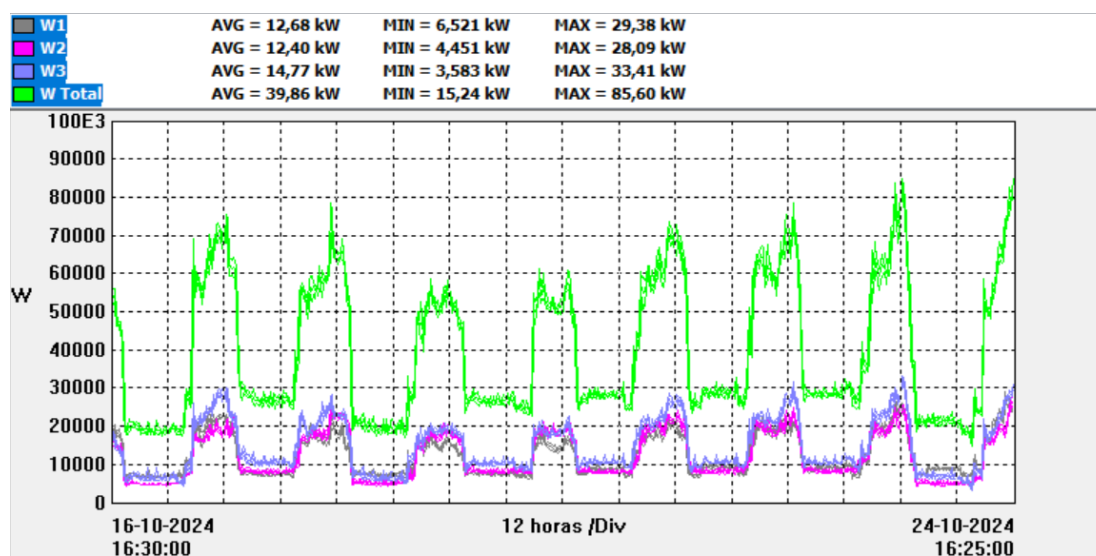


Figura N° 3.3: Gráfico de potencia activa.

Fuente: PowerPad.

Se utiliza el PowerPad 3945 para medir la potencia activa, reactiva y aparente del sistema eléctrico de las oficinas escorial PUCOBRE, durante un periodo de 7 días.

Las mediciones se realizan en intervalos de 5 minutos para obtener la visión precisa del comportamiento del sistema.

Como se puede observar en el gráfico de la potencia activa, aumenta considerablemente en ciertos momentos, esto se debe a cuando inician las funciones de trabajos en los talleres y oficinas de la empresa, luego la gráfica se mantiene constante con algunos pick de potencia durante el día aproximadamente de las 07:00 horas hasta las 16:00 horas, hasta que terminan las funciones laborales, aquí luego vuelve a bajar la potencia y se mantiene en un valor mínimo constante durante la gráfica que es durante la noche, donde solo funcionan cámaras de seguridad, luminarias y sistema de emergencias de las dependencias. Esta gráfica como se logra ver es repetitiva durante la semana, esto se debe a que todos los días funcionan los equipos y hay dos picos en la gráfica que son menores a los demás, lo cual son los del sábado y domingo que es donde hay menos personal en los talleres, pero igual siguen cumpliendo labores estos días.

3.3.4 Relación entre las Potencias y el FP del sistema

A continuación, se muestra la tabla N° 3.3, representando las mediciones de la potencia activa, donde se entrega los valores PROMEDIO, MAX y MIN.

Tabla N° 3.3: Tabla de mediciones de la potencia activa.

NOMBRE	PROMEDIO	MAX	MIN
Potencia Activa W1	12,68 kW	29,38 kW	6,521 kW
Potencia Activa W2	12,4 kW	28,08 kW	4,451 kW
Potencia Activa W3	14,77 kW	33,41 kW	3,583 kW
Potencia Activa W total	39,86 kW	85,6 kW	15,24 kW

P. activa (P): Potencia activa, medida en Watt [W], que es la potencia real utilizada por el sistema para realizar el trabajo útil.

Continuando, se muestra la tabla N° 3.4, con las mediciones de la potencia reactiva, donde se entrega los valores PROMEDIO, MAX y MIN.

Tabla N° 3.4: Tabla de mediciones de la potencia reactiva.

NOMBRE	PROMEDIO (VAR)	MAX (KVAR)	MIN (KVAR)
Potencia Reactiva VAr1	131,9	7,753	-4,129
Potencia Reactiva VAr2	-463,5	8,044	-4,794
Potencia Reactiva VAr3	-1271	6,631	-5,523
Potencia Reactiva Var total	-1602	22,13	-13,95

P. reactiva(Q): Es la potencia que circula entre la fuente y el sistema, pero no realiza trabajo útil. Es esencial para la creación de campos magnéticos en dispositivos inductivos, como moteres y transformadores.

Ahora se muestra la tabla N° 3.5, representando las mediciones de la potencia aparente, donde se entrega los valores PROMEDIO, MAX y MIN.

Tabla N° 3.5: Tabla de mediciones de la potencia aparente.

NOMBRE	PROMEDIO (kVA)	MAX (kVA)	MIN (kVA)
Potencia Aparente VA1	13,15	29,6	6,909
Potencia Aparente VA2	13,31	28,39	6,484
Potencia Aparente VA3	15,60	33,79	5,835
Potencia Aparente VA total	42,05	87,06	19,98

P. aparente(S): Es la combinación vectorial de la potencia activa y reactiva.

La relación matemática entre estas potencias es la siguiente: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Donde:

✚ S: es la potencia aparente en VA. (Volt Amper).

✚ Q: es la potencia reactiva en Var. (Volt Amper reactivo).

✚ P: es la potencia activa en W. (Watts).

A partir de esta relacion el factor de potencia (FP), tambien se puede expresar como:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos (\sigma)$$

A continuaciòn se muestra la tabla N° 3.6, representando el factor de potencia, donde se entrega los valores PROMEDIO, MAX y MIN.

Tabla N° 3.6: Tabla de Factor de Potencia.

NOMBRE	PROMEDIO	MAX	MIN
FP1	0,9512	0,992	0,87
FP2	0,8851	0,99	0,605
FP3	0,9203	0,994	0,578
FP total	0,9189	0,99	0,708

El factor de potencia es una medida clave para entender cómo un sistema eléctrico utiliza la energía. Mantener un factor de potencia cercano a 1 es ideal, ya que, mejora la eficiencia energética, reduce costos operativos y minimiza las pérdidas en el sistema.

Las empresas y usuarios que gestionan sistemas eléctricos deben prestar atención al factor de potencia y tomar medidas para mejorar este parámetro cuando sea necesario. A medida que el factor de potencia disminuye, más energía se “pierde” en forma de potencia reactiva que no realiza trabajo útil en el sistema. Un factor de potencia bajo puede causar perdidas adicionales en la líneas de transmision y requerir mayor capacidad de generación.

En el caso de este estudio de calidad de energía se obtuvo como resultado un factor de potencia promedio de 0.9189 lo que indica una buena eficiencia en el sistema eléctrico. Este factor es crucial para el rendimiento en las oficinas y talleres de la empresa, ya que, un factor de potencia más bajo puede significar que una porción de la energía consumida no está siendo aprovechada de manera efectiva por el sistema.

En caso de necesitar mejorar aún más el factor de potencia en las instalaciones se le recomienda a la empresa, la instalación de compensadores de potencia reactiva para mejorar aún más la eficiencia energética del sistema.

3.3.5 Estudio del comportamiento de voltaje y la corriente en el sistema

A continuación, se verá el comportamiento y variaciones de los voltajes y las corrientes de las oficinas de PUCOBRE, a lo largo de un ciclo de carga. Utilizando el PowerPad 3945 se midió tensión y corriente en diferentes puntos del sistema, así mismo en diferentes condiciones de operación con el fin de identificar fluctuaciones e irregularidades, este monitoreo es crucial para asegurar que el sistema esté funcionando dentro de los rangos de seguridad establecidos para evitar daños a los equipos o la reducción de la eficiencia energética. También detectar posibles sobrecargas y problemas relacionados con la capacidad del sistema.

A continuación, se muestra la figura N° 3.4, con el gráfico representativo del voltaje correspondiente a las oficinas de Escorial.

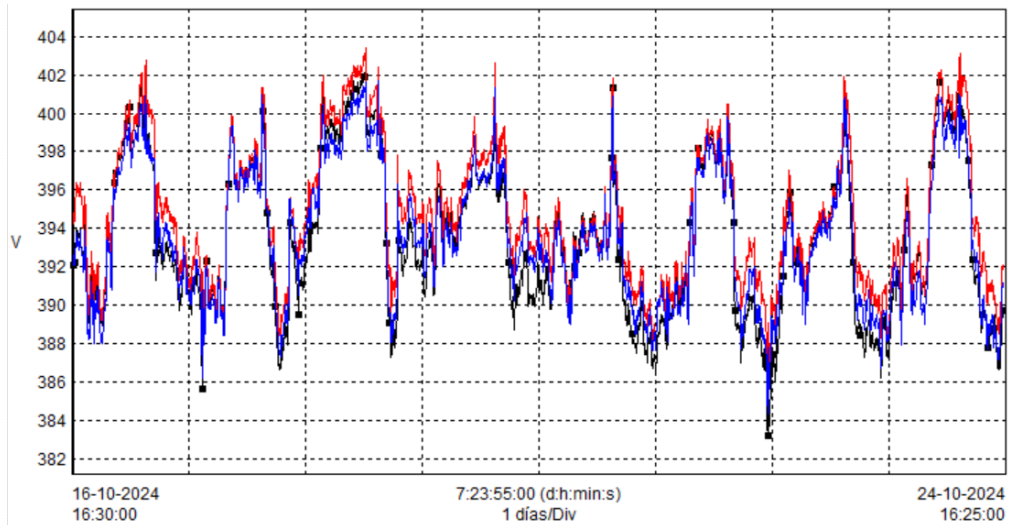


Figura N° 3.4: Gráfico de voltaje U1, U2 y U3.

Fuente: PowerPad.

En seguida, se muestra la figura N° 3.5, con el gráfico representativo de la corriente correspondiente a las oficinas de Escorial.

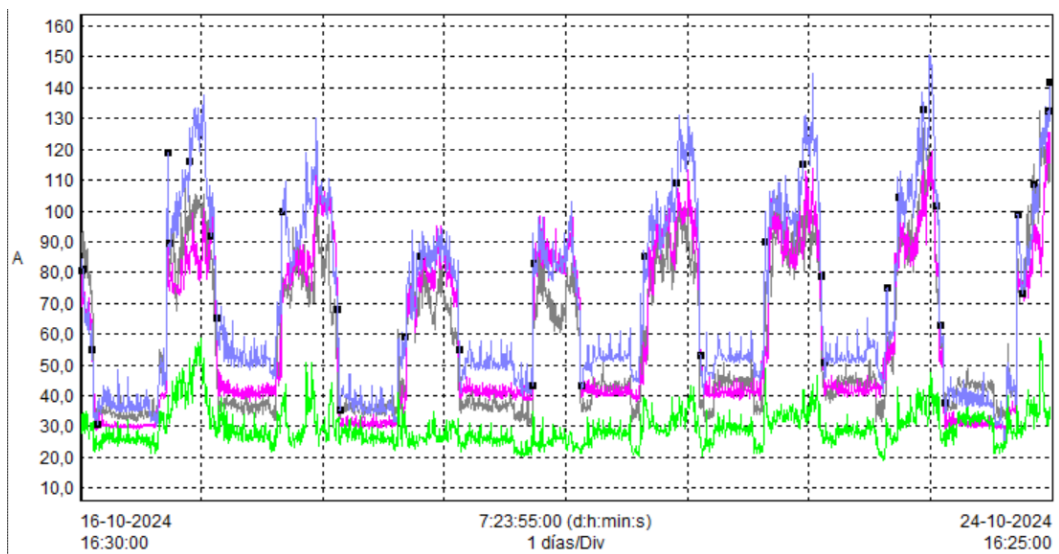


Figura N° 3.5: Gráfico de corriente A1, A2, A3 y AN.

Fuente: PowerPad.

Como se logra identificar en los gráficos de corriente y voltaje, las mediciones fluctúan dentro de valores aceptables. En el caso de las mediciones de los voltajes entre 380 [V] y 402 [V], para las 3 fases. Además, se obtuvieron valores promedio en la línea U1 de 392,8 [V], en la línea U2 394,6 [V], y en línea U3 un voltaje promedio de 392,5 [V]. para el caso de las corrientes el promedio de los valores obtenidos fueron para la línea A1 58,8 [A], para la línea A2 58,2 [A], en la línea A3 de 68,61 [A] y la corriente que pasa por el neutro del sistema fue de 29,6 [A] RMS. La corriente pick durante el estudio fue de 150 [A] y la corriente mínima 25 [A]. Con esto se logra analizar el comportamiento de los voltajes y las corrientes del sistema eléctrico, además también se pudo determinar cómo se distribuyó el voltaje y la corriente en diferentes elementos del circuito, de igual forma de observa que los niveles de voltaje y corriente están dentro de los rangos aceptables para el sistema.

CAPITULO IV

CONFIGURACIÓN Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

En este capítulo se establece la metodología mediante el cual se hará el análisis que permitirán determinar las principales características para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico On-Grid. Las condiciones del lugar de estudio además de las diferentes configuraciones propuestas y sus respectivas estimaciones de producción. Para esto se utiliza la herramienta del Explorador Solar del Ministerio de Energía.

4.1 Localización

Este proyecto se propone en las oficinas Escorial de PUCOBRE, estas oficinas se encuentran ubicadas en la localidad de Tierra Amarilla, específicamente en el patio exterior de estas oficinas, como se puede apreciar en la figura N° 4.1.



Figura N° 4.1: Ubicación en el explorador solar.

Fuente: Explorador Solar.

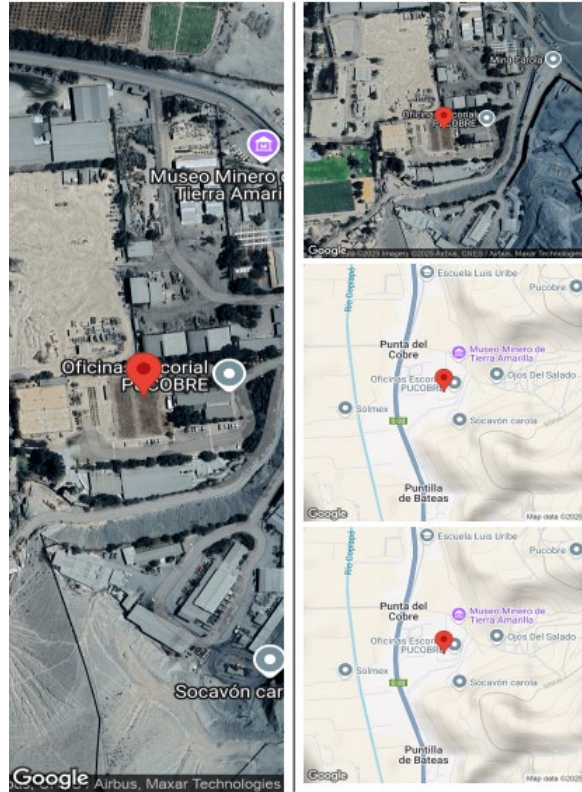


Figura N° 4.1: Continuación.

Fuente: Explorador Solar.

La localización del lugar de estudio en coordenadas corresponde a:

- ✚ Latitud: -27,4983.
- ✚ Longitud: -70,2631.
- ✚ Altura: 514 msnm.

4.2 Sombras

Como el lugar de estudio para este proyecto cuenta con patio amplio para la implementación de paneles solares, sin la obstrucción de alguna edificación que impida la obtención completa de la radiación solar.

La herramienta explorador solar utiliza una base de datos de altura del terreno de 90 [m] de resolución y se ha considerado la topografía dentro de un radio de 180 [km], desde el sitio seleccionado para obtener las sombras proyectadas por los obstáculos topográficos en el entorno del sitio.

A continuación, se muestra la tabla N° 4.1, representando la frecuencia de las sombras en los meses del año.

Tabla N° 4.1: Frecuencia de sombras.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
%	46,67	52,32	54,17	58,11	62,5	62,5	62,5	61,59	54,17	51,78	50	48,18

Fuente: Explorador solar.

De igual forma en la tabla N°4.2 muestra el porcentaje del año con sombras en cada hora.

Tabla N° 4.2: Porcentaje del año con sombras en cada hora.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
%	100	100	100	100	100	100	100	71,73	35,01	0	0	0

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	0	0	0	0	0	0	38,32	84,4	100	100	100	100

Fuente: Explorador solar.

En la figura N° 4.2 se muestra gráfico representativo del porcentaje de sombras durante los meses del año.

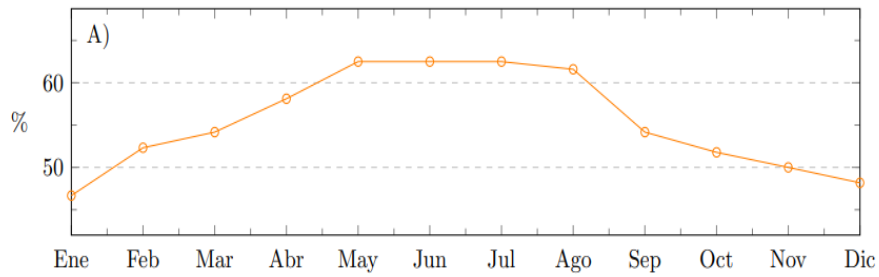


Figura N° 4.2: Grafico porcentaje de sombras en meses.

Fuente: Explorador Solar.

En seguida, se muestra la figura N° 4.3, con el gráfico con el porcentaje de sombras, a continuación se muestra el gráfico de porcentaje de sombras promedio en cada hora.

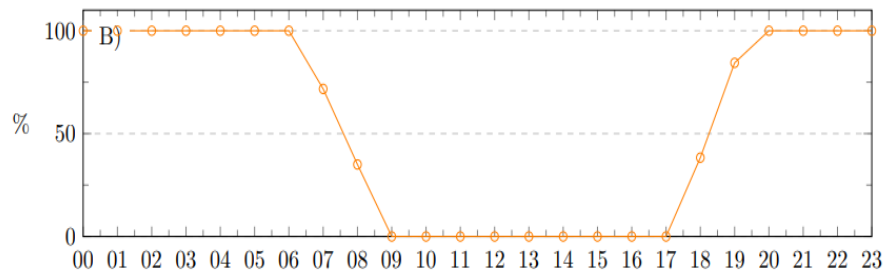


Figura N° 4.3: Gráfico de porcentaje del año con sombras en cada hora.

Fuente: Explorador Solar.

Por último, se muestra la figura N° 4.4, representando el porcentaje de la hora con sombra durante cada mes.

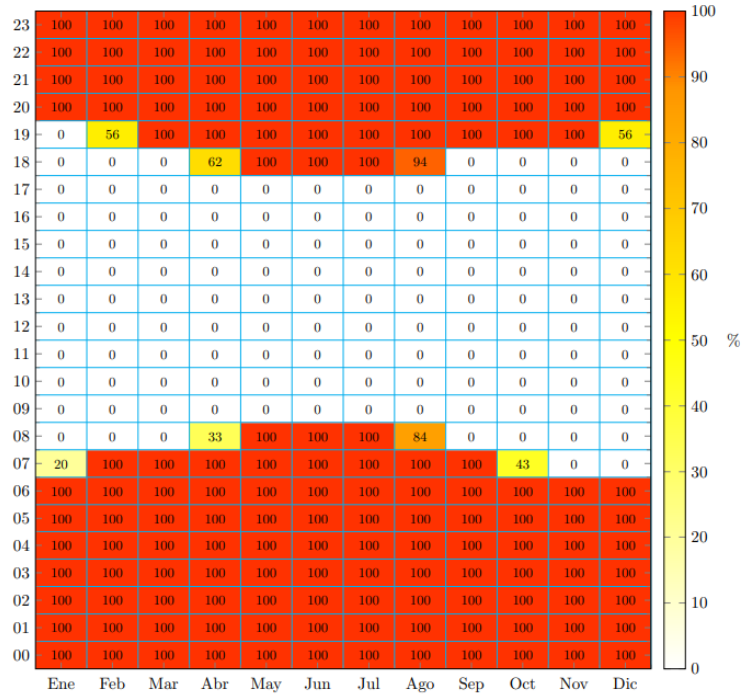


Figura N° 4.4: Porcentaje de la hora con sombras durante cada mes.

Fuente: Explorador Solar.

A continuación, se muestra la figura N° 4.5, el cual permitirá realizar el cálculo para evitar sombras entre paneles. Como nuestro proyecto está a nivel del suelo se considera sin inclinación (exclusivo para techumbre).

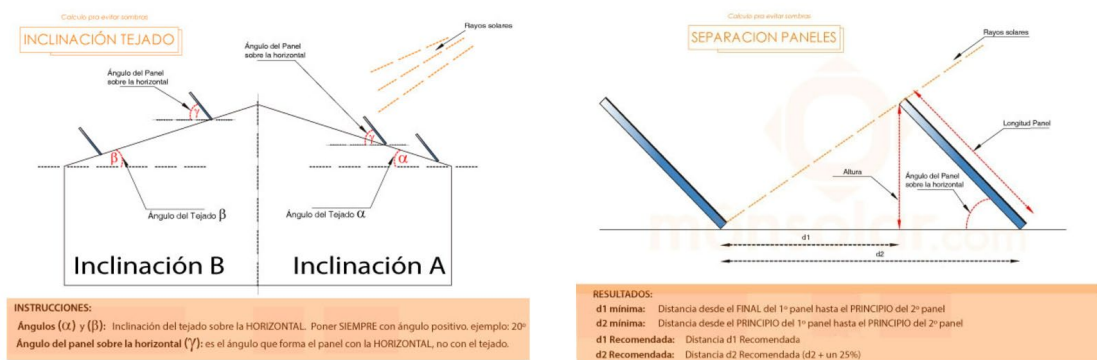


Figura N° 4.5: Imagen referencial de las inclinaciones.

Fuente: Monsolar.com

Teniendo en cuenta la distancia entre paneles para evitar sombra entre ellos durante todo el día, se debe considerar ciertas distancias que permitan realizar un óptimo dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, estas distancias corresponden a D1, que es la distancia entre el final del primer panel y el principio del segundo panel y D2 es la distancia entre el principio del primer panel y el segundo panel.

4.3 Estructura

Como el sistema solar fotovoltaico será implementado en un patio exterior, solo se debe considerar la disponibilidad de espacio, el cual es suficiente para diferentes arreglos fotovoltaicos dando libertad en temas de disposición.

4.4 Factores meteorológicos

El resultado de los factores meteorológicos que entrega el Explorador Solar corresponde a:

4.4.1 Insolación mensual

La insolación mensual se refiere a la cantidad de energía solar que recibe una superficie horizontal (o inclinada, según el caso), durante un mes, generalmente medida en horas de sol o en términos de energía como kWh/m² por mes.

Ahora se muestra la tabla N° 4.3 representando el promedio mensual de la insolación diaria de radiación incidente en el plano horizontal.

Tabla N° 4.3: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de [kWh/ m²/ día], de radiación incidente en el plano horizontal.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Directa	8,06	7,38	6,38	4,79	3,44	3,14	3,39	4,25	5,82	6,82	7,89	8,26
Difusa	0,88	0,82	0,7	0,68	0,67	0,59	0,62	0,7	0,73	0,86	0,86	0,86
Global	8,94	8,2	7,08	5,47	4,11	3,73	4,01	4,95	6,55	7,78	8,75	9,12

Fuente: Explorador solar.

De igual forma se muestra la tabla N° 4.4 representando el promedio mensual de la insolación diaria de radiación incidente en el plano inclinado igual a la latitud del sitio.

Tabla N° 4.4: Promedio mensual de la insolación diaria en unidades de [kWh / m²/ día], de radiación incidente en el plano inclinado igual a la latitud del sitio.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Directa	7,05	7,15	7,05	6,1	4,97	4,87	5,07	5,65	6,76	6,99	7,13	7,07
Difusa	0,83	0,77	0,66	0,64	0,64	0,56	0,59	0,66	0,69	0,81	0,82	0,81
Suelo	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,09	0,1	0,11	0,12
Global	8,0	8,03	7,8	6,81	5,66	5,48	5,71	6,37	7,54	7,9	8,06	8,0

Fuente: Explorador Solar.

A continuación, en la figura N° 4.6 se muestra el gráfico representativo del promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separado en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

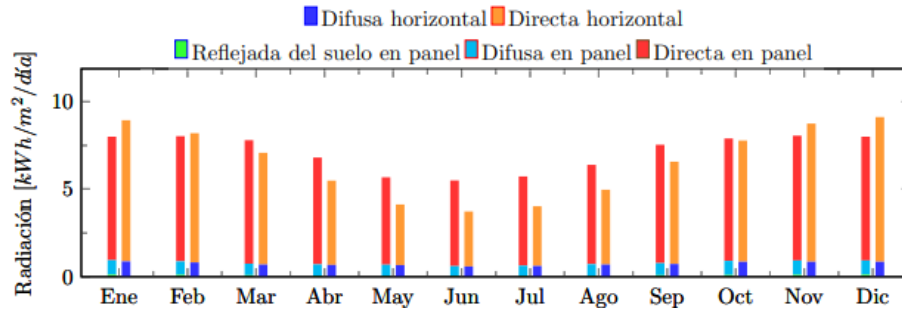


Figura N° 4.6: Promedio mensual de la insolación diaria incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado separado en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

Fuente: Explorador solar.

Así mismo, en la figura N° 4.7 se muestra el gráfico representativo del promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

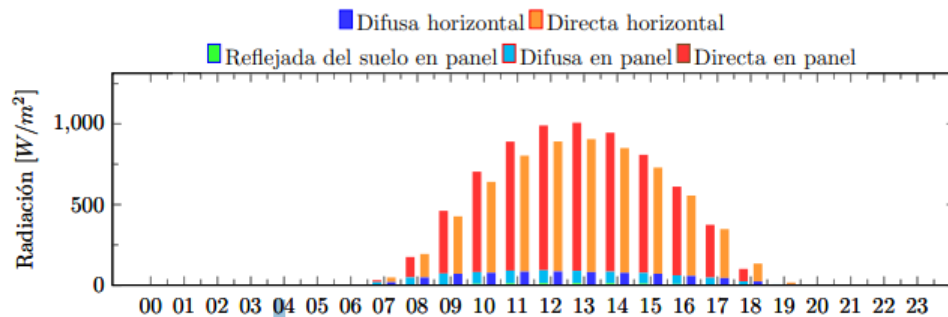


Figura N° 4.7: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

Fuente: Explorador solar.

4.4.2 Nubosidad

La nubosidad es la componente atmosférica que remueve mayor cantidad de radiación incidente. A partir de imágenes del satélite geostacionado GOES, se ha calculado la frecuencia de nubosidad para cada hora y mes. A continuación, se presentan la estimación de nubosidad en frecuencia mensual que entrega la herramienta del Explorador Solar. A continuación, en la tabla N° 4.5 se muestra el porcentaje de nubosidad en meses/hora al día.

Tabla N° 4.5: Porcentaje de nubosidad en meses/ horas al día.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
%	60,5	5,73	6,32	8,24	9,71	8,57	8,28	8,11	7,37	7,62	8,04	7,54
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,24	27,47	34,93	25,65	16,36	11,8
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	1,06	9,15	8,79	9,09	9	7,82	3,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: Explorador solar.

A continuación, en la figura N° 4.8 se muestra el gráfico del ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna.

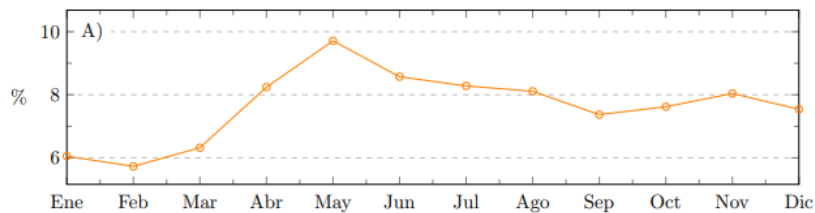


Figura N° 4.8: Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna.

Fuente: Explorador solar.

De igual manera en la figura N° 4.9 se muestra el gráfico representando el ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

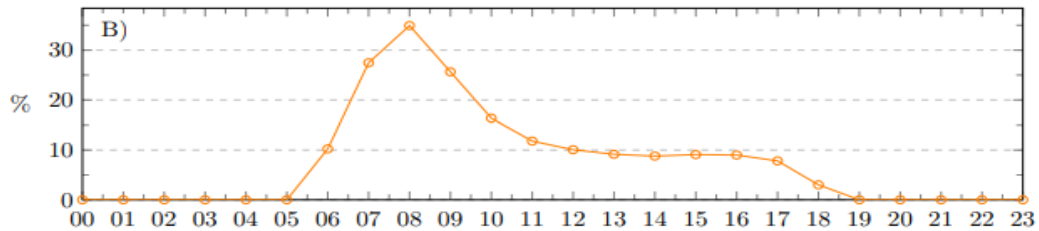


Figura N° 4.9: Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

Fuente: Explorador solar.

4.4.3 Temperatura

La temperatura como tal afecta negativamente a la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos, a continuación, se presentan las estimaciones obtenidas por la herramienta del Explorador Solar.

A continuación, en la tabla N° 4.6 se muestra los valores de la temperatura media mensual y diaria.

Tabla N° 4.6: Temperatura media mensual y diaria.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
°C	20,11	20,04	18,08	16,92	15,17	14,02	13,36	14,31	15,41	16,45	17,74	18,74
Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
°C	12,48	12,12	11,76	11,43	11,1	10,86	11,35	13,04	15,07	18,46	20,97	22,86
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	24,22	25,1	25,06	24,17	22,51	20,11	17,71	15,98	14,84	14,05	13,4	12,89

Fuente: Explorador solar.

De igual forma en la figura N° 4.10 se muestra el gráfico de ciclo anual de la temperatura media.

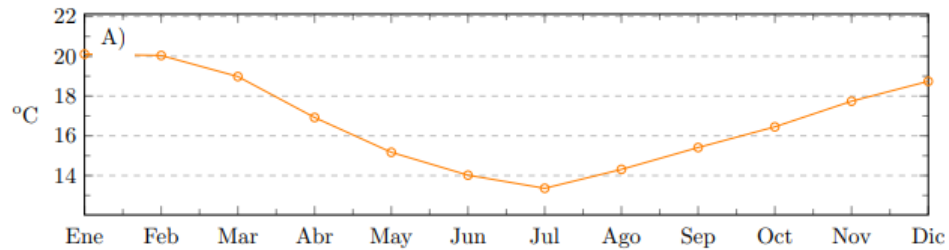


Figura N° 4.10: Ciclo anual de la temperatura media

Fuente: Explorador solar.

Por último, en la figura N° 4.11 se muestra el gráfico representativo del ciclo diario de la temperatura media.

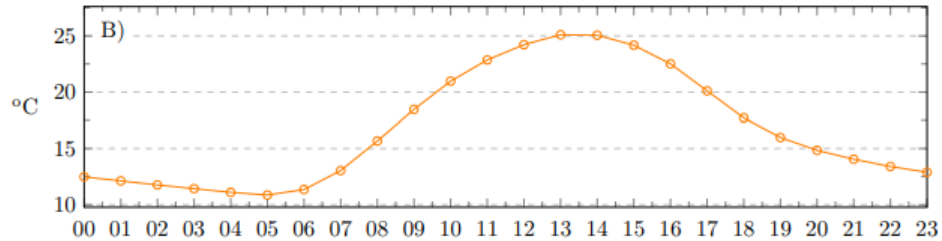


Figura N° 4.11: Ciclo diario de la temperatura media.

Fuente: Explorador solar.

4.5 Diseño de la planta fotovoltaica

Para este proyecto se presentan tres modelos de configuraciones del sistema solar fotovoltaico On-Grid.

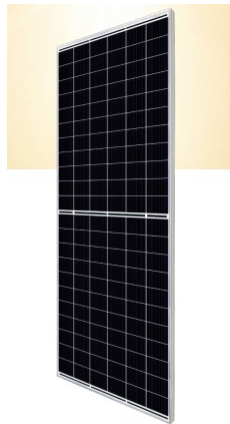
Esto nos servirá para simular y decidir que opciones es más factible a corto y largo plazo, teniendo en cuenta tanto la inversión inicial para poner en marcha una de las distintas configuraciones y así analizar que opciones es más conveniente. Esta sección se ve apoyada por los datos obtenidos previamente.

Para toda configuración se entregan los siguientes parámetros:

- ✚ Latitud: -27,4983.
- ✚ Longitud: -70.2631.
- ✚ Altura: 514 msnm.
- ✚ Tipo de Panel: Fijo Inclinado.
- ✚ Inclinación: 26.
- ✚ Azimut: -16.

Mencionar de forma previa que se utiliza un mismo panel para todas las configuraciones por temas de compatibilidad entre configuraciones para comparar de manera efectiva el rendimiento de cada una.

Este corresponde al panel HiKu7 Mono PERC CS7N-645 de Canadian Solar Inc, como se muestra en la figura N° 4.12.



ELECTRICAL DATA STC*		MECHANICAL DATA	
Specification	Data	Specification	Data
CS7N	645MS 650MS 655MS 660MS 665MS 670MS 675MS	Cell Type	Mono-crystalline
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W 650 W 655 W 660 W 665 W 670 W 675 W	Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V 37.9 V 38.1 V 38.3 V 38.5 V 38.7 V 38.9 V	Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A 17.16 A 17.20 A 17.24 A 17.28 A 17.32 A 17.36 A	Weight	33.9 kg (74.7 lbs)
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V 45.0 V 45.2 V 45.4 V 45.6 V 45.8 V 46.0 V	Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A 18.39 A 18.43 A 18.47 A 18.51 A 18.55 A 18.59 A	Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
Module Efficiency	20.8% 20.9% 21.1% 21.2% 21.4% 21.6% 21.7%	J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C	Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)	Cable Length (Including Connector)	360 mm (14.2 in) (+) / 200 mm (7.9 in) (-) or customized length*
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)	Connector	T6 or T4 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Max. Series Fuse Rating	30 A	Per Pallet	31 pieces
Protection Class	Class II	Per Container (40' HQ)	558 pieces
Power Tolerance	0 ~ +10 W	* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.	
* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m ² , spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.			
ELECTRICAL DATA NMOT*		TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Specification	Data	Specification	Data
CS7N	645MS 650MS 655MS 660MS 665MS 670MS 675MS	Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Nominal Max. Power (Pmax)	484 W 487 W 491 W 495 W 499 W 502 W 506 W	Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V 35.5 V 35.7 V 35.9 V 36.1 V 36.3 V 36.5 V	Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Opt. Operating Current (Imp)	13.72 A 13.74 A 13.76 A 13.79 A 13.83 A 13.85 A 13.88 A	Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C
Open Circuit Voltage (Voc)	42.3 V 42.5 V 42.7 V 42.9 V 43.1 V 43.3 V 43.5 V		
Short Circuit Current (Isc)	14.80 A 14.83 A 14.86 A 14.89 A 14.93 A 14.96 A 14.99 A		
* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m ² , spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.			

Figura N° 4.12: Panel solar fotovoltaico de 645 [W].

Fuente: Datasheet CS7N-645|650|655|660|665|670|675MS 645 W ~ 675 W

4.5.1 Configuración al 10 % del consumo energético

Para una poder realizar la simulación de generación en el explorador solar se debe tener en cuenta los datos del panel solar que nos pide el explorador solar. Estos son:

Modelo de panel solar:

- 🚦 Número de celdas por panel: 132.
- 🚦 Voltaje de Máxima Potencia (Vmp): 37,7 [V].
- 🚦 Corriente de Máxima Potencia (Imp): 17,11 [A].
- 🚦 Voltaje de circuito abierto (Voc): 44,8 [V] y Coeficientes de temperatura: $-0.26 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.
- 🚦 Corriente de corto circuito (Isc) 18,35 [A] y Coeficientes de temperatura $0.05 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.

Característica del arreglo fotovoltaico:

- ✚ Número total de paneles: 34 paneles.
- ✚ Capacidad total instalada: 20,64 [kW].
- ✚ Tipo de Montaje: Estructura Aislada.
- ✚ Inclinación: 26°.
- ✚ Azimut: -16°.
- ✚ Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11 %.
- ✚ Capacidad del Inversor: 25 [kW].

Ahora se presenta la simulación obtenida con el software Sunny Design para poder corroborar que los equipos utilizados sean los optimos para cada configuración que se presenta en este proyecto.

Utilizando la configuración para el inversor de la marca SMA cuyo modelo es el SUNNY TRIPOWER X 12 / 15 / 20 / 25.

A continuación en la tabla N° 4.7 se muestran los datos obtenidos en la plataforma Sunny Design, donde se muestra los parametros del sistema solar.

Tabla N° 4.7: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esta configuración.

PARÁMETROS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	
Potencia pico	21,93 kWp
Ratio de potencia nominal	116 %
Factor de aprovechamiento de energía	93,9 %

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

En la figura N° 4.13 se muestra el rendimiento del sistema solar fotovoltaico que entrega en la plataforma de Sunny Design, donde se observa de mejor manera el porcentaje de ratio de potencia nominal y la eficiencia del inversor que se propone para este arreglo.

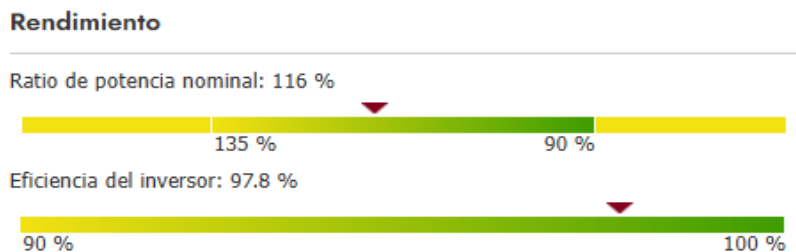


Figura N° 4.13: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

En seguida, se muestra una tabla representativa con los datos obtenidos mediante la plataforma de Sunny Design, en donde se muestra el rendimiento de la planta según su configuración.

Tabla N° 4.8: Rendimiento de la planta.

RENDIMIENTO DE LA PLANTA	
Rendimiento energético anual	37,742 kWh
Rendimiento energético específico	1721 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento	83,9%
Horas de carga completa	1509,7 h

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

De igual manera a continuación en la tabla N° 4.9 se muestran los parámetros de la planta que dispone para este arreglo fotovoltaico, donde tiene dos entradas con un string de 17 paneles solares fotovoltaicos para cada una.

Tabla N° 4.9: Parámetros de la planta.

PARÁMETROS	INVERSOR	ENTRADA A
Potencia de CC máx.	25,51 kW	21,93 kWp
Tensión de CC mín.	150 V	589 V
Tensión fotovoltaica normal	-	613 V
Tensión de CC (Inversor) máx.	1000 V	.
Tensión fotovoltaica máx.		806 V
Corriente de Entrada máx. por entrada de regulación de MPP	24/24/24 A	17,1 A
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP	37,5/37,5/37,5 A	-
Corriente máx. de cortocircuito FV	-	18,4 A

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Teniendo en cuenta la distancia entre paneles para evitar sombra entre ellos durante todo el día, utilizando la herramienta de cálculo de monsolar, se tiene:

$$D1 = 1.334 \text{ [m]}$$

$$D2 = 3.454 \text{ [m]}$$

$$\text{Área de los paneles} = \text{Número de paneles} \times \text{Área de cada panel}$$

$$\text{Área de los paneles} = 32 \times 3.10 \text{ m}^2 = 99.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de planta} = \text{Area de los paneles} \times D1$$

$$\text{Área total de planta} = 99.2 \text{ m}^2 \times 1.334 = 132 \text{ m}^2$$

A continuación, en la figura N° 4.14 se muestra el gráfico de generación fotovoltaica mensual promedio que entrega el explorador solar.



Figura N° 4.14: Generación fotovoltaica mensual promedio.

Fuente: Explorador solar.

A continuación, en la tabla 4.10 se muestra la generación simulada por el explorador solar.

Tabla N° 4.10: Generación simulada por el explorador solar.

GENERACIÓN SIMULADA POR EL EXPLORADOR SOLAR		
TOTAL DIARIO	TOTAL ANUAL	FACTOR DE PLANTA
103,51 kWh	37779,33 kWh	21 %

Fuente: Explorador solar.

A continuación, en la figura N° 4.15 se muestra el esquema representativo para esta configuración de la planta.

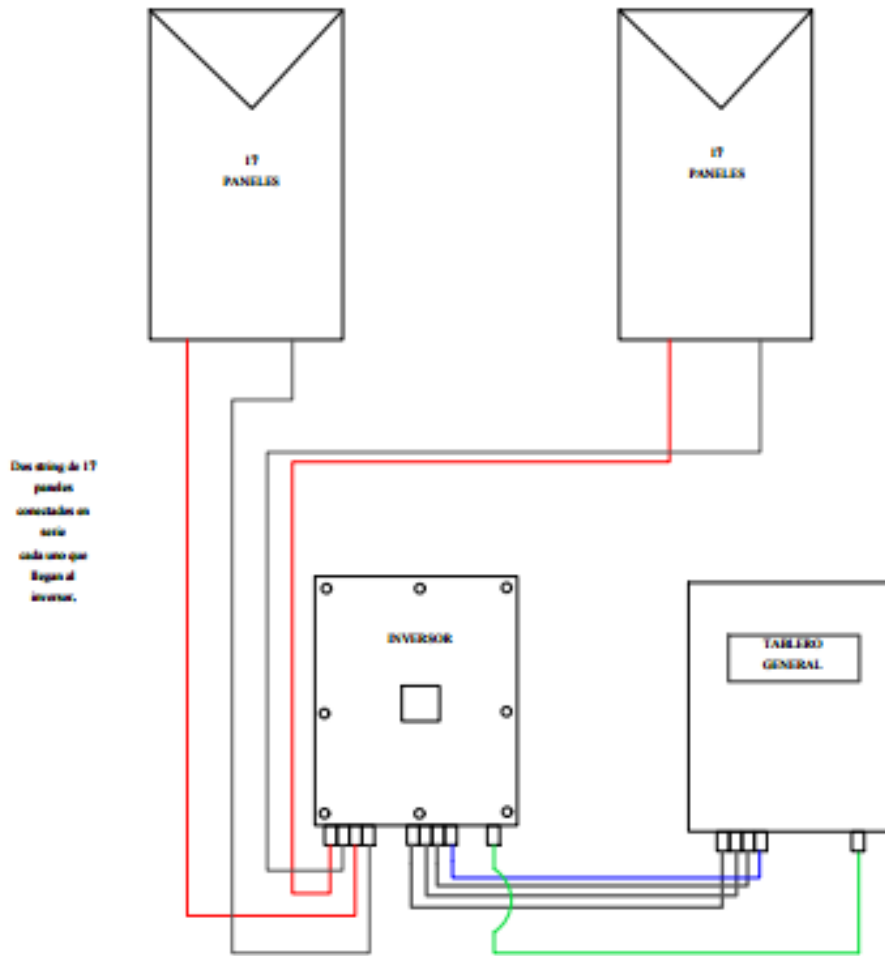


Figura N° 4.15: Esquema representativo de la configuración de 10%.

4.5.2 Configuración al 30 % del consumo energético

Continuando con la siguiente simulación de generación en el explorador solar, de igual forma se debe tener en cuenta los datos del panel solar que nos pide el explorador solar.

Modelo de panel solar:

- ✚ Número de celdas por panel: 132.
- ✚ Voltaje de Máxima Potencia (V_{mp}): 37,7 [V].
- ✚ Corriente de Máxima Potencia (I_{mp}): 17,11 [A].
- ✚ Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): 44,8 [V] y Coeficientes de temperatura: $-0.26 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.
- ✚ Corriente de corto circuito (I_{sc}): 18,35 [A] y Coeficientes de temperatura: $0.05 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.

Característica del arreglo fotovoltaico:

- ✚ Número total de paneles: 102 paneles.
- ✚ Capacidad total instalada: 65.8 [kW].
- ✚ Tipo de Montaje: Estructura Aislada.
- ✚ Inclinación: 26° .
- ✚ Azimut: -16° .
- ✚ Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11 %.
- ✚ Capacidad del Inversor: 70 [kW].

Ahora se presenta la simulación obtenida con el software SunnyDesign de forma de corroborar que los equipos utilizados sean los optimos para cada configuración que se presenta en este proyecto.

Utilizando la configuración para tres inversores de la marca SMA cuyos modelos son SUNNY TRIPOWER X 12 / 15 / 20 / 25.

Ahora, en la tabla N° 4.11 se muestran los datos obtenidos en la plataforma Sunny Design, donde se muestra los parametros del sistema solar.

Tabla N° 4.11: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esa configuración.

PARÁMETROS DE SISMA SOLAR FOTOVOLTAICO	
Potencia pico	65,79 kWp
Ratio de potencia nominal	116 %
Factor de aprovechamiento de energía	100 %

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Seguidamente, en la figura N° 4.15 se muestra el rendimiento del sistema solar fotovoltaico que entrega la plataforma de Sunny Design, donde se observa de mejor manera el porcentaje de ratio de potencia nominal y la eficiencia del inversor que se propone para este arreglo.

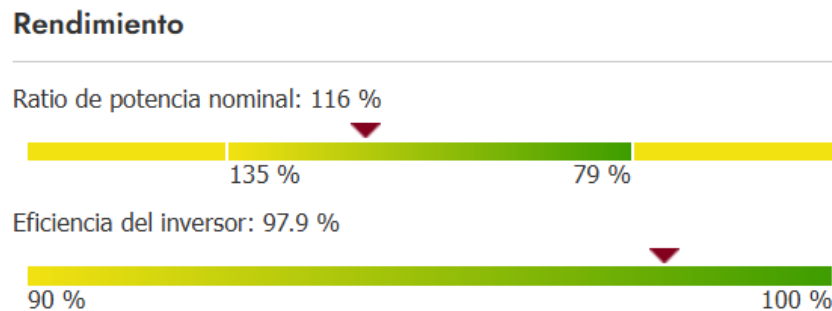


Figura N° 4.16: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Respectivamente en la tabla N° 4.12 se muestra los datos obtenidos mediante la plataforma SUNNYDESIGN, en donde se muestra el rendimiento de la planta según su configuración.

Tabla N° 4.12: Rendimiento de la planta.

RENDIMIENTO DE LA PLANTA	
Rendimiento energético anual	93,145 kWh
Rendimiento energético específico	1416 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento	88,4 %
Horas de carga completa	1241,9 h

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

De igual manera en la tabla N° 4.13 se entregan los parámetros que dispone para este arreglo fotovoltaico, donde cada uno de estos parámetros aplica para cada uno de los tres inversores, cada inversor tiene 2 entradas de 17 paneles solares fotovoltaicos.

Tabla N° 4.13: Parámetros de la planta.

PARÁMETROS	INVERSOR	ENTRADA A	ENTRADA B
Potencia de CC máx.	22,51 kW	10,97 kWp	10,97 kWp
Tensión de CC mín.	150 V	589 V	589 V
Tensión fotovoltaica normal	-	613 V	613V
Tensión de CC (Inversor) máx.	1000 V	-	-
Tensión fotovoltaica máx.	-	806 V	806 V
Corriente de Entrada máx. por entrada de regulación de MPP	24/24/24 A	17,1 A	17,1 A
Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP	37,5/37,5/37,5 A	-	-
Corriente máx. de cortocircuito FV	-	18,4 A	18,4 A

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Teniendo en cuenta la distancia entre paneles para evitar sombra entre ellos durante todo el día, utilizando la herramienta de cálculo de monosolar, tenemos:

$$D1 = 1.334 \text{ [m]}$$

$$D2 = 3.454 \text{ [m]}$$

Área de los paneles = Número de paneles \times Área de cada panel

$$\text{Área de los paneles} = 102 \times 3.10 \text{ m}^2 = 316.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de planta} = \text{Área de los paneles} \times D1$$

$$\text{Área total de planta} = 316.2 \text{ m}^2 \times 1.334 = 421.8 \text{ m}^2$$

A continuación, en la figura N° 4.16 se muestra el gráfico de generación fotovoltaica mensual promedio que entrega el explorador solar.



Figura N° 4.17: Generación fotovoltaica mensual promedio.

Fuente: Explorador solar.

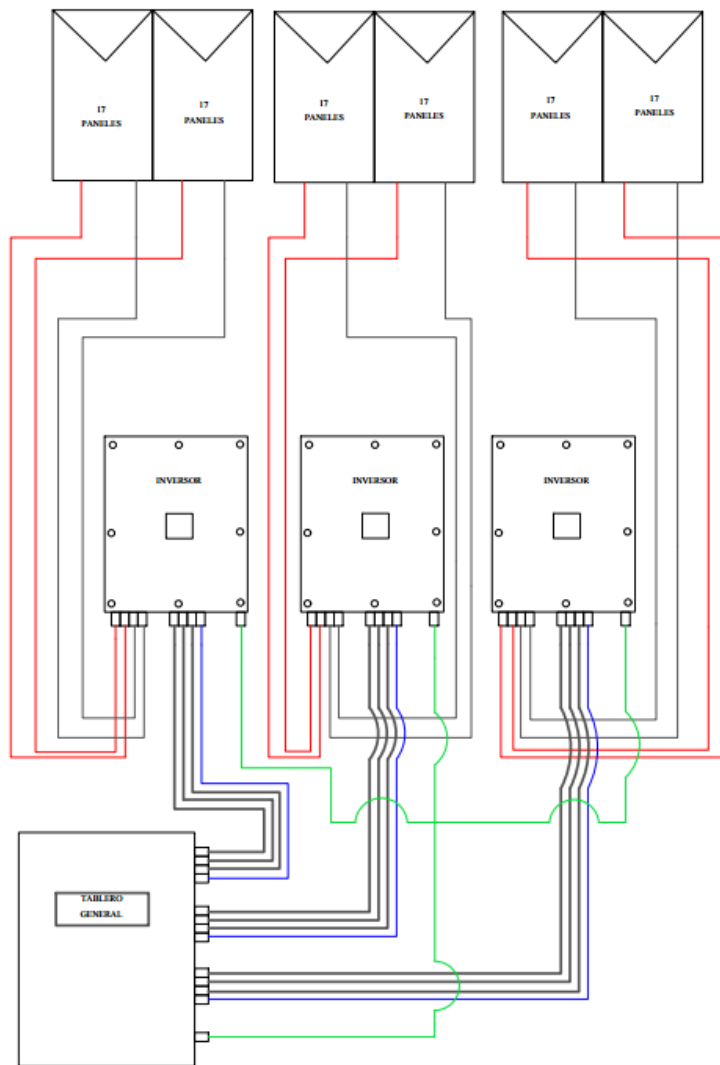
Ahora, en la tabla N° 4.14 se muestra la generación simulada por el explorador solar.

Tabla N° 4.14: Generación simulada por el explorador solar.

GENERACIÓN SIMULADA POR EL EXPLORADOR SOLAR		
TOTAL DIARIO	TOTAL ANUAL	FACTOR DE PLANTA
329,92 kWh	120421.62 kWh	21 %

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Enseguida, en la figura N° 4.17 se muestra el esquema representativo para esta configuración de la planta.



Dos string de 17 paneles cada uno, conectados en serie que llegan a cada uno de los inversores.

Figura N° 4.18: Esquema representativo de la configuración del 30%

4.5.3 Configuración al 50 % del total del consumo energético

Por último, se realizan los mismos pasos que en las configuraciones previas, de igual forma para la simulación de generación en el explorador solar se debe tener en cuenta los datos del panel solar que nos pide el explorador solar. Estos son:

Modelo de panel solar:

- ✚ Número de celdas por panel: 132.
- ✚ Voltaje de Máxima Potencia (V_{mp}): 37,7 [V].
- ✚ Corriente de Máxima Potencia (I_{mp}): 17,11 [A].
- ✚ Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): 44,8 [V] y Coeficientes de temperatura: $-0.26 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.
- ✚ Corriente de corto circuito (I_{sc}): 18,35 [A] y Coeficientes de temperatura: $0.05 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}$.

Característica del arreglo fotovoltaico:

- ✚ Número total de paneles: 170 paneles.
- ✚ Capacidad total instalada: 109.65 [kW].
- ✚ Tipo de Montaje: Estructura Aislada.
- ✚ Inclinación: 26° .
- ✚ Azimut: -16° .
- ✚ Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11 %.
- ✚ Capacidad del Inversor: 109.65 [kW].

Ahora se presenta la simulación obtenida en la pagina del Sunny Design de forma de corroborar que los equipos utilizados sean los optimos para cada configuración que se presenta en este proyecto.

Utilizando el inversor marca SMA cuyo modelo es el SUNNY TRIPOWER CORE2 STP 110-60.

A continuación en la Tabla N° 4.15 se muestran los datos obtenidos en la plataforma Sunny Design, donde se muestra los parametros del sistema solar.

Tabla N° 4.15: Parámetros de sistema solar fotovoltaico para esta configuración.

PARÁMETROS DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	
Potencia pico	109,65 kWp
Ratio de potencia nominal	102%
Factor de aprovechamiento de energía	100%

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Ahora se presenta el rendimiento del sistema solar fotovoltaico que entrega la plataforma de Sunny Design, donde se observa de mejor manera el porcentaje de ratio de potencia nominal y la eficiencia del inversor que se propone para este arreglo.

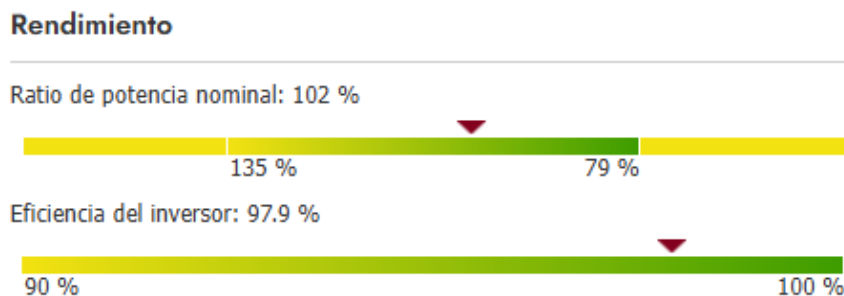


Figura N° 4.19: Datos entregados por la simulación en Sunny Design.

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

A continuación, se muestra la tabla N° 4.16, con los datos obtenidos mediante la plataforma de Sunny Design, en donde se muestra el rendimiento de la planta según su configuración.

Tabla N° 4.16: Rendimiento de la planta.

RENDIMIENTO DE LA PLANTA	
Rendimiento energético anual	155,18
Rendimiento energético específico	1415 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento	88,40 %
Horas de carga completa	1410,8 h

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

De igual manera se entregan los parámetros que dispone para este arreglo fotovoltaico. Donde cada uno de estos parámetros aplica para una de las entradas que dispone este único inversor, donde cada entrada tiene un string de 14 paneles solares fotovoltaico, a excepción de la entrada 12 que posee una entrada de string de 16 paneles solares.

Seguidamente, se muestra la tabla N° 4.17, con los parámetros de la planta.

Tabla N° 4.17: Parámetros de la planta.

ENTRADAS													
Parámetros	Inversor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Potencia de CC máx.	111,8 kW	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	9,03	10,3
Tensión de CC mín.	200	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	485	555
Tensión fotovoltaica normal	-	505	505	505	505	505	505	505	505	505	505	505	577
Tensión de CC (Inversor) máx.	1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tensión fotovoltaica máx.	-	664	664	664	664	664	664	664	664	664	664	664	758
Corriente de Entrada máx.	-	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
por entrada de regulación de MPP													
Corriente de cortocircuito máx.	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
por entrada de regulación del MPP													
Corriente máx. de cortocircuito FV	-	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A	18,4 A

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

Teniendo en cuenta la distancia entre paneles para evitar sombra entre ellos durante todo el día, utilizando la herramienta de cálculo de monsoar, tenemos:

$$D1 = 1.334 \text{ [m].}$$

$$D2 = 3.454 \text{ [m].}$$

Área de los paneles = Número de paneles \times Área de cada panel

$$\text{Área de los paneles} = 170 \times 3.10 \text{ m}^2 = 527 \text{ m}^2$$

Área total de planta = Área de los paneles \times D1

$$\text{Área total de planta} = 527 \text{ m}^2 \times 1.334 = 703.018 \text{ m}^2$$

Ahora, se muestra en la figura N° 4.18 el gráfico de generación fotovoltaica mensual promedio que entrega el explorador solar.

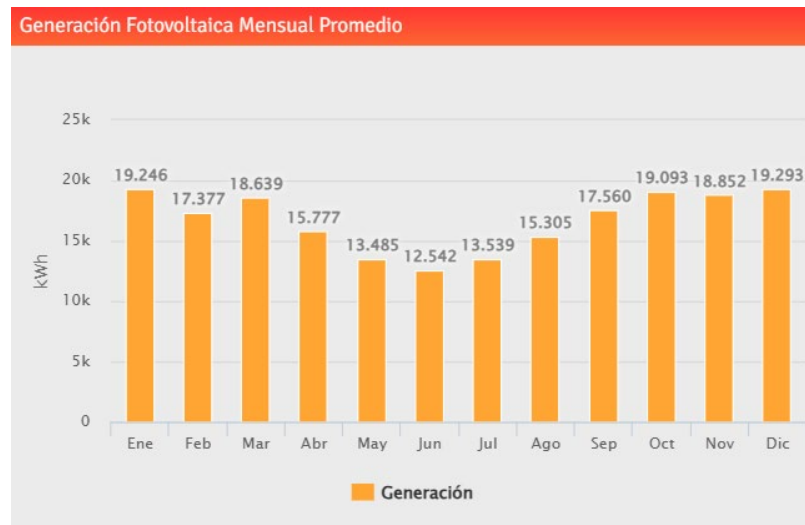


Figura N° 4.20: Generación Fotovoltaica Mensual Promedio.

Fuente: Explorador solar.

A continuación, en la tabla N° 4.18 se muestra la generación simulada por el explorador solar.

Tabla N° 4.18: Generación simulada por el explorador solar.

GENERACIÓN SIMULADA POR EL EXPLORADOR SOLAR		
TOTAL DIARIO	TOTAL ANUAL	FACTOR DE PLANTA
549,87 kWh	200702,69	21 %

Fuente: sunnydesignweb.com año 2025.

A continuación, en la figura N° 4.17 se muestra el esquema representativo para esta configuración de la planta.

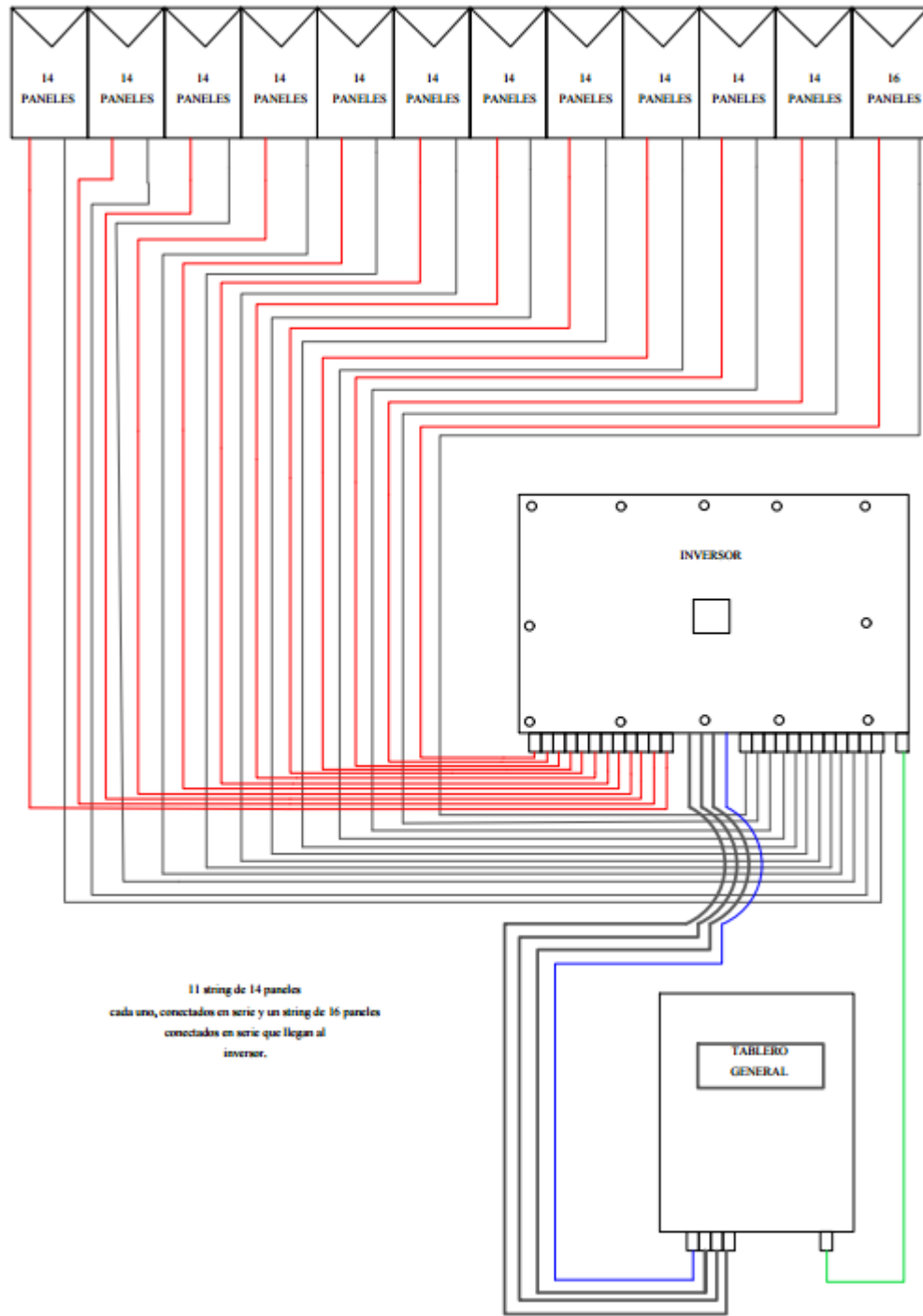


Figura N° 4.21: Esquema representativo de la configuración del 50%.

CAPITULO V

ANALISIS DE LAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO MEDIANTE RETSCREEN

En este capítulo se pone a prueba las diferentes configuraciones del sistema solar fotovoltaico previamente vistos en el capítulo anterior, se realiza un análisis mediante la simulación a través del programa RETScreen, el cual permitirá tomar una buena decisión al momento de elegir que configuración es más recomendable, él porque es mejor y cual tiene mejor rendimiento al largo plazo.

En este capítulo se muestran las tablas referenciales de los costos de cada una de las diferentes configuraciones, este valor nos permite tener una idea de cuál es la inversión inicial de cada proyecto.

La principal diferencia es el precio de los equipos del dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, estos son los inversores y los paneles solares fotovoltaicos, en donde mayor suplencia del total del consumo aumentan la potencia de los equipos y a si mismo el costo por estos equipos. Recaltar de manera importante que el valor del kWh por precio de venta es de \$ 150 CLP, valor considerado por la empresa como referencia de la compra de la energía en el recinto.

5.1 Análisis y simulación para 10 % del consumo energético total de las oficinas del Escorial PUCOBRE

En la tabla N° 5.1 se muestra los costos de inversión inicial para sustentar el 10 % del consumo, donde se expresa en costo unitario correspondiente y la cantidad estimada necesaria para cada ítem.

Tabla N° 5.1: Costos de inversión para sustentar el 10 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE.

ÍTEM	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Módulos	Canadian Solar Inc. CS7N-645MS HiKu7	\$ 130.990	32	\$ 4.191.680
Módulos	Paquete de conector MC4	\$ 8.990	2	\$ 17.980
Módulos	Rollo cableado solar 4 mm/50 m	\$ 59.020	2	\$ 118.040
Montaje	Estructura de montaje para 6 paneles	\$ 219.000	6	\$ 1.314.000
Montaje	Perno Anclaje Cuña De 5/16 X 4 - Pack De 25 Unidades	\$ 5.764	2	\$ 11.528
Canalización	Tubo Conduit corrugado 40 mm/25 m	\$ 54.000	2	\$ 108.000
Canalización	Caja de agrupación	\$ 11.000	1	\$ 11.000
Canalización	Caja galvanizada	\$ 1.827	4	\$ 7.308
Canalización	CAG 40 mm	\$ 4.190	30	\$ 125.700
Canalización	EMT 40 mm	\$ 1.495	30	\$ 44.850
Canalización	Escalerilla Canasto Malla Hilo 4mm 2,5 m	\$ 19.790	7	\$ 138.530
Construcción	Poyos de hormigón	\$ 79.990	24	\$ 1.919.760
Cableado	Terminales Ferrole y de ojo	\$ 8.000	4	\$ 32.000
Cableado	Cable RV-K 3x6 mm (CA)	\$ 700,00	20	\$ 14.000
Inversor	SMA STP 25-50	\$ 4.426.534	1	\$ 4.426.534
Inversor	Caseta protectora	\$100.000	3	\$300.000
Tablero	Repartidor tetrapolar	\$ 10.843	1	\$ 10.843
Tablero	Gabinete Sobrepuesto 1 puerta	\$ 48.875	1	\$ 48.875
Tablero	Automático bipolar 3x40 A curva C	\$ 8.990	2	\$ 17.980
Tablero	Diferencial clase A 3x40 A 30 mA	\$ 15.000,00	2	\$ 30.000
Terreno	Arriendo de maquina y operador por obra	\$ 2.240.000	1	\$ 2.240.000
Personal	Ingeniero eléctrico	\$ 1.500.000	1	\$ 1.500.000
Personal	Maestro M1	\$ 900.000	1	\$ 900.000
Personal	Maestro M2	\$ 700.000	2	\$ 1.400.000
Planificación	Costos por estudios de aterrizaje de equipos y malla a tierra	\$ 6.659.900	1	\$ 6.659.900
Planificación	Costos por planos u otros	\$ 2.000.000	1	\$ 2.000.000
			SUBTOTAL	\$ 27.588.508
			IVA	\$ 5.241.817
			TOTAL	\$ 32.830.325

Fuente: RETScreen.

La inversión inicial para este proyecto del 10 % es de \$27.588.508, debido a que debe existir un costo por IVA, el valor asciende a \$32.830.325, lo cual involucra todos los aspectos asociados a los suministros de instalación del proyecto.

Ahora, en la tabla N° 5.2 se muestra el flujo de caja que para este caso no se considera una reinversión.

Tabla N° 5.2: Flujo de caja para el 10 %.

			Año	Antes de Impuestos CLP	Acumulado CLP
Costos iniciales	CLP	\$ 32.830.325	0	\$ -32.830.325	\$ -32.830.325
Flujo de caja anuales - Año 1			1	\$ 59.903.192	\$ 27.072.867
Costos de O y M	CLP	492.454	2	\$ 61.089.967	\$ 88.162.833
Costo de combustible - caso propuesto	CLP	-4.443.567	3	\$ 62.300.003	\$ 150.462.836
Pagos de la deuda	CLP	0	4	\$ 63.533.746	\$ 213.996.582
Costos anuales totales	CLP	-3.951.113	5	\$ 64.791.648	\$ 278.788.230
Ahorro e ingresos anuales	CLP	54.788.128	6	\$ 66.074.173	\$ 344.862.403
Flujo de caja anuales - Año 1	CLP	58.739.241	7	\$ 67.381.789	\$ 412.244.192
			8	\$ 68.714.975	\$ 480.959.167
Viabilidad financiera			9	\$ 70.074.218	\$ 551.033.385
TIR antes de impuestos - capital	%	184,0	10	\$ 71.460.013	\$ 622.493.398
MTIR antes de impuestos - capital	%	23,1	11	\$ 72.872.865	\$ 695.366.263
TIR antes de impuestos - activos	%	184,0	12	\$ 74.313.288	\$ 769.679.551
MTIR antes de impuestos - activo	%	23,1	13	\$ 75.781.804	\$ 845.461.355
Pago simple de retorno del capital	año	0,6	14	\$ 77.278.944	\$ 922.740.299
Repago - capital	año	0,6	15	\$ 78.805.251	\$1.001.545.549
Valor Presente Neto (VPN)	CLP	\$ 658.827.834	16	\$ 80.361.274	\$1.081.906.823
Ahorros anuales en clico de vida	CLP/año	\$ 67.072.791	17	\$ 81.947.574	\$1.163.854.397
Relación Beneficio-Costo		21,1	18	\$ 83.564.721	\$1.247.419.118
Cobertura - servicio de deuda		Sin deuda	19	\$ 85.213.296	\$1.332.632.414
Costo de reducción de GEI	CLP/tCO2	\$ - 397.002	20	\$ 86.893.887	\$1.419.526.301
			21	\$ 88.607.097	\$1.508.133.398
			22	\$ 90.353.534	\$1.598.486.932
			23	\$ 92.133.820	\$1.690.620.752
			24	\$ 93.948.588	\$1.784.569.340
			25	\$ 95.798.478	\$1.880.367.818

Fuente: RETScreen.

Se consideran los valores entregados por medio del software RETScreen, en donde se aprecia que este proyecto tiene un TIR del 184 %, valor a considerar para poder tener una respuesta al momento de escoger cual proyecto tiene mejor proyección. A continuación, se muestra la figura N° 5.1 con el gráfico correspondiente a la inversión y ganancias anuales y la figura N° 5.2 con gráfico correspondiente al flujo efectivo acumulado.

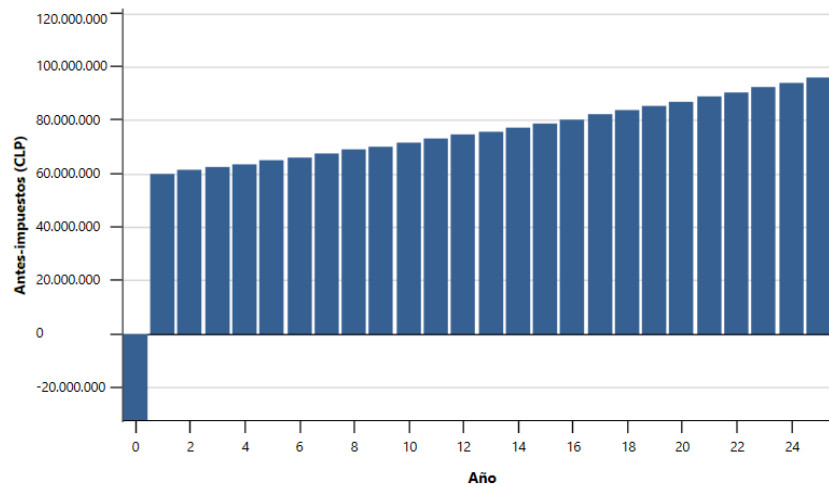


Figura N° 5.1: Gráfico de inversión y ganancias anuales.

Fuente: RETScreen.

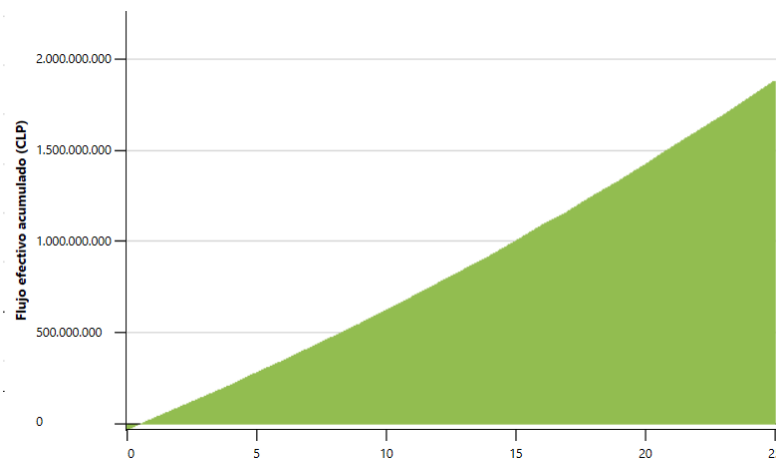


Figura N° 5.2: Gráfico de flujo efectivo acumulado.

Fuente: RETScreen

5.2 Análisis y simulación para 30 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE

A continuación, se muestra la tabla de los costos de inversión inicial para sustentar el 30 % del consumo, donde se expresa en costo unitario correspondiente y la cantidad estimada necesaria para cada ítem.

Tabla N° 5.3: Costos de inversión para sustentar el 30 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE.

ÍTEM	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Módulos	Canadian Solar Inc. CS7N-645MS HiKu7	\$ 130.990,00	102	\$ 13.360.980
Módulos	Paquete de conector MC4	\$ 8.990,00	2	\$ 17.980
Módulos	Rollo cableado solar 4 mm/50 m	\$ 59.020,00	2	\$ 118.040
Montaje	Estructura de montaje para 6 paneles	\$ 219.000,00	17	\$ 3.723.000
Montaje	Perno Anclaje Cuña De 5/16 X 4 - Pack De 25 Unidades	\$ 5.764,00	2	\$ 11.528
Canalización	Tubo Conduit corrugado 40 mm/25 m	\$ 54.000,00	2	\$ 108.000
Canalización	Caja de agrupación	\$ 11.000,00	1	\$ 11.000
Canalización	Caja galvanizada	\$ 1.827,00	4	\$ 7.308
Canalización	CAG 40 mm	\$ 4.190,00	30	\$ 125.700
Canalización	EMT 40 mm	\$ 1.495,00	30	\$ 44.850
Canalización	Escalerilla Canasto Malla Hilo 4mm 2,5 m	\$ 19.790,00	18	\$ 356.220
Construcción	Poyos de hormigón	\$ 79.990,00	68	\$ 5.439.320
Cableado	Terminales Ferrole y de ojo	\$ 8.000,00	2	\$ 16.000
Cableado	Cable RV-K 3x6 mm (CA)	\$ 700,00	30	\$ 21.000
Inversor	SMA STP 25-50	\$ 4.426.534,00	3	\$ 13.279.602
Inversor	Caseta protectora	\$ 100.000,00	3	\$ 300.000
Tablero	Repartidor tetrapolar	\$ 10.843,00	1	\$ 10.843
Tablero	Gabinete Sobrepuerto 1 puerta	\$ 48.875,00	1	\$ 48.875
Tablero	Automático bipolar 3x40 A curva C	\$ 8.990,00	2	\$ 17.980
Tablero	Diferencial clase A 3x40 A 30 mA	\$ 15.000,00	2	\$ 30.000
Terreno	Arriendo de maquina y operador por obra	\$ 4.400.000,00	1	\$ 4.400.000
Personal	Ingeniero eléctrico	\$ 1.500.000,00	1	\$ 1.500.000
Personal	Maestro M1	\$ 900.000,00	1	\$ 900.000
Personal	Maestro M2	\$ 700.000,00	2	\$ 1.400.000
Planificación	Costos por estudios de aterrizaje de equipos y malla a tierra	\$ 6.659.900,00	1	\$ 6.659.900
Planificación	Costos por planos u otros	\$ 2.000.000,00	1	\$ 2.000.000
SUBTOTAL				\$ 53.908.126
IVA				\$ 10.242.544
TOTAL				\$ 64.150.670

Fuente: RETScreen

La inversión inicial para este proyecto del 30 % es de \$ 53.908.126 debido a que hay que agregar el valor del IVA, el valor para la inversión inicial es de \$ 64.150.670 lo cual involucra todos los aspectos asociados a los suministros de instalación del proyecto. Para este caso no se considera una reinversión ya que la vida útil de los componentes es de 25 años. Similar al horizonte de evaluación.

Tabla N° 5.4: Flujo de caja para el 30 %.

FLUJO DE CAJA						
			Año	Antes de Impuestos CLP	Acumulado CLP	
Costos iniciales	CLP	\$ 64.150.670	0	\$ -64.150.670	\$ -64.150.670	
Flujo de caja anuales - Año 1			1	\$ 69.328.639	\$ 5.177.969	
Costos de O y M	CLP	962.000	2	\$ 70.693.159	\$ 75.871.128	
Costo de combustible - caso propuesto	CLP	-14.163.875	3	\$ 72.084.043	\$ 147.955.171	
Pagos de la deuda	CLP	0	4	\$ 73.501.780	\$ 221.456.951	
Costos anuales totales	CLP	-13.201.875	5	\$ 74.946.865	\$ 296.403.816	
Ahorro e ingresos anuales	CLP	54.788.128	6	\$ 76.419.805	\$ 372.823.621	
Flujo de caja anuales - Año 1	CLP	67.990.003	7	\$ 77.921.111	\$ 450.744.732	
			8	\$ 79.451.306	\$ 530.196.038	
Viabilidad financiera			9	\$ 81.010.919	\$ 611.206.957	
TIR antes de impuestos - capital	%	110,0	10	\$ 82.600.489	\$ 693.807.446	
MTIR antes de impuestos - capital	%	20,6	11	\$ 84.220.563	\$ 778.028.010	
TIR antes de impuestos - activos	%	110,0	12	\$ 85.871.698	\$ 863.899.707	
MTIR antes de impuestos - activo	%	20,6	13	\$ 87.554.457	\$ 951.454.165	
Pago simple de retorno del capital	año	0,9	14	\$ 89.269.415	\$ 1.040.723.580	
Repago - capital	año	0,9	15	\$ 91.017.155	\$ 1.131.740.736	
Valor Presente Neto (VPN)	CLP	\$ 735.311.606	16	\$ 92.798.269	\$ 1.224.539.005	
Ahorros anuales en clico de vida	CLP/año	\$ 74.859.318	17	\$ 94.613.357	\$ 1.319.152.362	
Relación Beneficio-Costo		12,5	18	\$ 96.463.030	\$ 1.415.615.392	
Cobertura - servicio de deuda		Sin deuda	19	\$ 98.347.908	\$ 1.513.963.300	
Costo de reacción de GEI	CLP/tCO2	\$ -384.152	20	\$ 100.268.619	\$ 1.614.231.919	
			21	\$ 102.225.802	\$ 1.716.457.721	
			22	\$ 104.220.104	\$ 1.820.677.825	
			23	\$ 106.252.184	\$ 1.926.930.009	
			24	\$ 108.322.708	\$ 2.035.252.717	
			25	\$ 110.432.352	\$ 2.145.685.069	

Fuente: RETScreen

Se consideran los valores entregados por medio del software RETScreen, en donde se aprecia que este proyecto tiene un TIR del 110 %, valor a considerar para poder tener una respuesta al momento de escoger cual proyecto tiene mejor proyección. A continuación, se muestra la figura N° 5.3 con el gráfico correspondiente a la inversión y ganancias anuales y la figura N° 5.4 con gráfico correspondiente al flujo efectivo acumulado.

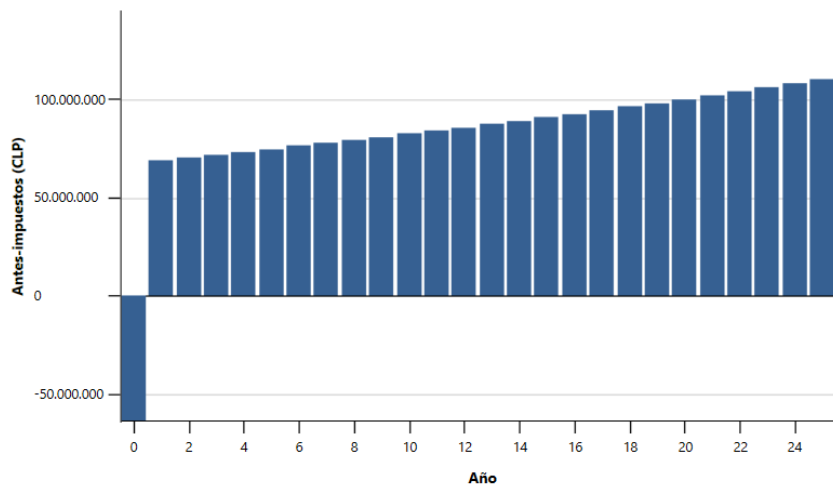


Figura N° 5.3: Gráfico de inversión y ganancias anuales

Fuente: RETScreen.

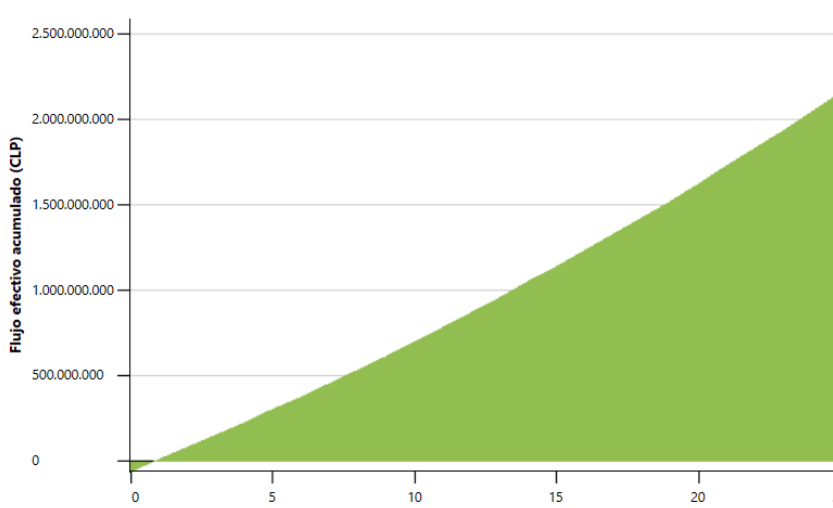


Figura N° 5.4: Gráfico de flujo de efectivo acumulado.

Fuente: RETScreen.

5.3 Análisis y simulación para 50 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE

A continuación, se muestra la tabla de los costos de inversión inicial para sustentar el 50 % del consumo, donde se expresa en costo unitario correspondiente y la cantidad estimada necesaria para cada ítem.

Tabla N° 5.5: Costos de inversión para sustentar el 50 % del consumo energético total de Escorial PUCOBRE.

ÍTEM	UNIDAD	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Módulos	Canadian Solar Inc. CS7N-645MS HiKu7	\$ 130.990,00	172	\$ 22.530.280
Módulos	Paquete de conector MC4	\$ 8.990,00	4	\$ 35.960
Módulos	Rollo cableado solar 4 mm/50 m	\$ 59.020,00	2	\$ 118.040
Montaje	Estructura de montaje para 6 paneles	\$ 219.000,00	29	\$ 6.351.000
Montaje	Perno Anclaje Cuña De 5/16 X 4 - Pack De 25 Unidades	\$ 5.764,00	7	\$ 40.348
Canalización	Tubo Conduit corrugado 40 mm/25 m	\$ 54.000,00	2	\$ 108.000
Canalización	Caja de agrupación	\$ 11.000,00	1	\$ 11.000
Canalización	Caja galvanizada	\$ 1.827,00	4	\$ 7.308
Canalización	CAG 40 mm	\$ 4.190,00	30	\$ 125.700
Canalización	EMT 40 mm	\$ 1.495,00	30	\$ 44.850
Canalización	Escalerilla Canasto Malla Hilo 4mm 2,5 m	\$ 19.790,00	31	\$ 613.490
Construcción	Poyos de hormigón	\$ 79.990,00	116	\$ 9.278.840
Cableado	Terminales Ferrole y de ojo	\$ 8.000,00	4	\$ 32.000
Cableado	Cable RV-K 3x6 mm (CA)	\$ 700,00	10	\$ 7.000
Inversor	SMA STP110-60 (CORE2)	\$ 12.166.000,00	1	\$ 12.166.000
Inversor	Caseta protectora	\$ 100.000,00	3	\$ 300.000
Tablero	Repartidor tetrapolar	\$ 10.843,00	1	\$ 10.843
Tablero	Gabinete Sobrepuesto 1 puerta	\$ 48.875,00	1	\$ 48.875
Tablero	Automático bipolar 3x40 A curva C	\$ 8.990,00	2	\$ 17.980
Tablero	Diferencial clase A 3x40 A 30 mA	\$ 15.540,00	2	\$ 31.080
Terreno	Arriendo de maquina y operador por obra	\$ 6.720.000,00	1	\$ 6.720.000
Personal	Ingeniero eléctrico	\$ 1.500.000,00	1	\$ 1.500.000
Personal	Maestro M1	\$ 900.000,00	1	\$ 900.000
Personal	Maestro M2	\$ 700.000,00	2	\$ 1.400.000
Planificación	Costos por estudios de aterrizaje de equipos y malla a tierra	\$ 6.659.900,00	1	\$ 6.659.900
Planificación	Costos por planos u otros	\$ 2.000.000,00	1	\$ 2.000.000
SUBTOTAL				\$ 71.058.494
IVA				\$ 13.501.114
TOTAL				\$ 84.559.608

Fuente: RETScreen.

La inversión inicial para este proyecto del 50 % es de \$ 71.058.494, se agrega el correspondiente 19 % del valor debido al IVA, su valor total de inversión inicial es de \$ 84.559.608 lo cual involucra todos los aspectos asociados a los suministros de instalación del proyecto. Para este caso no se considera una reinversión, ya que, la vida útil de los componentes es de 25 años. Similar al horizonte de evaluación.

Tabla N° 5.6: Flujo de caja para el 50 %.

FLUJO DE CAJA						
			Año	Antes de Impuestos CLP	Acumulado CLP	
Costos iniciales	CLP	\$ 84.559.608	0	\$ -84.559.608	\$ -84.559.608	
Flujo de caja anuales - Año 1			1	\$ 78.591.626	\$ -5.967.982	
Costos de O y M	CLP	1.268.390	2	\$ 80.134.381	\$ 74.166.399	
Costo de combustible - caso propuesto	CLP	-23.558.233	3	\$ 81.706.771	\$ 155.873.170	
Pagos de la deuda	CLP	0	4	\$ 83.309.336	\$ 239.182.507	
Costos anuales totales	CLP	-22.289.843	5	\$ 84.942.627	\$ 324.125.134	
Ahorro e ingresos anuales	CLP	54.788.128	6	\$ 86.607.202	\$ 410.732.335	
Flujo de caja anuales - Año 1	CLP	77.077.971	7	\$ 88.303.628	\$ 499.035.963	
			8	\$ 90.032.483	\$ 589.068.446	
Viabilidad financiera			9	\$ 91.794.352	\$ 680.862.798	
TIR antes de impuestos - capital	%	94,9	10	\$ 93.589.829	\$ 774.452.627	
MTIR antes de impuestos - capital	%	19,9	11	\$ 95.419.519	\$ 869.872.146	
TIR antes de impuestos - activos	%	94,9	12	\$ 97.284.034	\$ 967.156.180	
MTIR antes de impuestos - activo	%	19,9	13	\$ 99.183.997	\$ 1.066.340.176	
Pago simple de retorno del capital	año	1,1	14	\$ 101.120.038	\$ 1.167.460.215	
Repago - capital	año	1,1	15	\$ 103.092.800	\$ 1.270.553.015	
Valor Presente Neto (VPN)	CLP	\$ 821.253.866	16	\$ 105.102.932	\$ 1.375.655.947	
Ahorros anuales en ciclo de vida	CLP/año	\$ 83.608.777	17	\$ 107.151.094	\$ 1.482.807.041	
Relación Beneficio-Costo		10,7	18	\$ 109.237.956	\$ 1.592.044.997	
Cobertura - servicio de deuda	Sin deuda		19	\$ 111.364.197	\$ 1.703.409.194	
Costo de reducción de GEI	CLP/tCO2	\$ -380.177	20	\$ 113.530.504	\$ 1.816.939.698	
			21	\$ 115.737.577	\$ 1.932.677.275	
			22	\$ 117.986.122	\$ 2.050.663.397	
			23	\$ 120.276.858	\$ 2.170.940.255	
			24	\$ 122.610.511	\$ 2.293.550.766	
			25	\$ 124.987.818	\$ 2.418.538.584	

Fuente: RETScreen.

Se consideran los valores entregados por medio del software RETScreen, en donde se aprecia que este proyecto tiene un TIR del 94.9 %, valor a considerar para poder tener una respuesta al momento de escoger cual proyecto tiene mejor proyección.

A continuación, se muestra la figura N° 5.5 con el gráfico correspondiente a la inversión y ganancias anuales y la figura N° 5.6 con gráfico correspondiente al flujo efectivo acumulado.

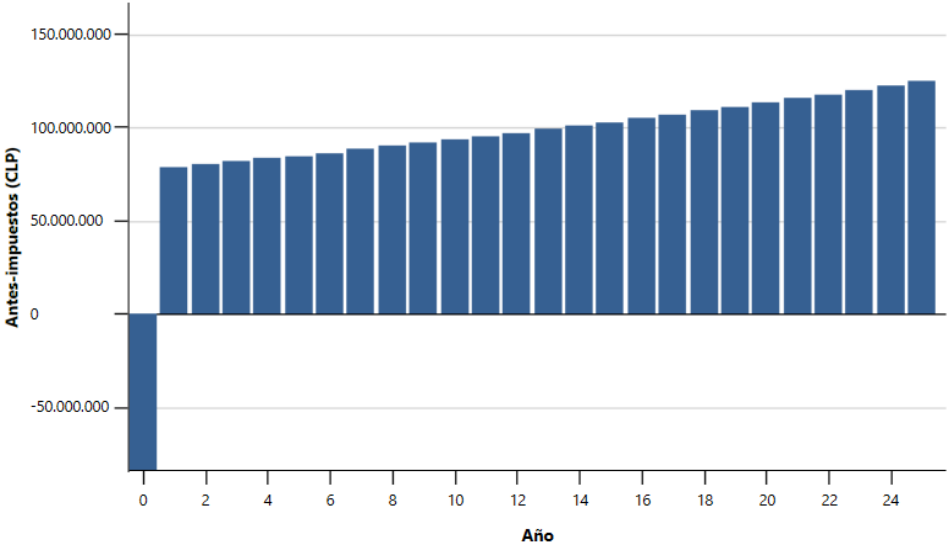


Figura N° 5.5: Gráfico de inversión y ganancias anuales

Fuente: RETScreen.

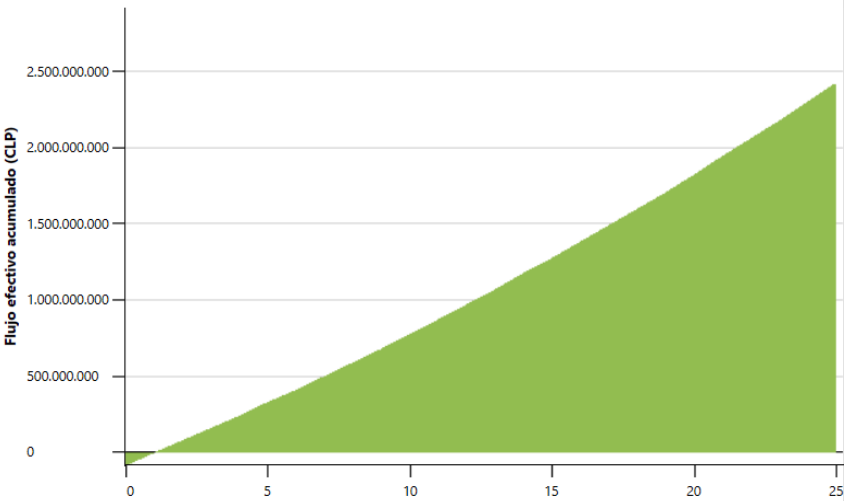


Figura N° 5.6: Gráfico de flujo de efectivo acumulado.

Fuente: RETScreen.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Para este proyecto se ha concluido lo siguiente, en base al estudio de la potencia mediante el instrumento PowerPad y a las simulaciones realizadas mediante el software de RETScreen se obtuvo un resultado bien cercano a lo esperado, en donde el retorno de capital aumenta a medida que se dispone de mayor potencia suministrada hacia la red. Sin embargo, teniendo en cuenta la disponibilidad inmediata del capital resulta fácil interpretar los resultados obtenidos en el capítulo previo.

Primero se concluye de manera concreta que para una inversión mayor siendo la configuración de 50% y con una disponibilidad inmediata del capital total para la inversión inicial, es el proyecto más rentable al largo plazo, definiendo un tiempo de vida de 25 años.

Así mismo, las otras dos configuraciones siendo el 30 % y el 10 % del total de la potencia analizada en el capítulo III, siguen siendo rentables debido a los porcentajes del TIR y el MTIR obtenidos por la simulación del software RETScreen. Pero no compiten con el retorno total de la inversión inicial de la configuración del 50 %.

Por otra parte, teniendo en cuenta los tiempos de demora de la puesta en marcha de cada configuración y de la no disponibilidad del total del capital para la inversión inicial el resultado del retorno del capital no se ve influenciado, debido a que es rentable la configuración del 50 % bajo cualquier punto de vista.

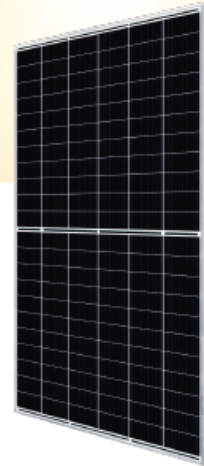
Por último, la decisión final dependerá netamente de la empresa y cuanto capital dispone para realizar un sistema solar fotovoltaico como medida para abaratar costos por consumo energético en las oficinas de El Escorial de PUCOBRE

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Fotovoltaica: Manual de diseño e instalación, SOLAR ENERGY INTERNATIONAL FOTOVOLTAICA.
- ✚ Diseño de sistemas fotovoltaicos - Autor: Perpiñán, O
- ✚ Barrio, M., & Casa Vilaseca, M. (2017). Instalaciones solares fotovoltaicas.
- ✚ Ministerio de Energía de Chile. (2020). Guía de Sistemas Fotovoltaicos para Empresas e Industrias – actualizada.
- ✚ Cantos J., Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas 2ª edición. Paraninfo.
- ✚ RIC-N11-Instalaciones-Especiales.
- ✚ RIC-N04-Conductores-y-Canalizaciones.
- ✚ RIC-N06-Puesta-a-Tierra.
- ✚ RIC-N09-Sistemas-de-autogeneracion.

ANEXO A

HOJAS DE DATOS



HiKu7 Mono PERC

645 W ~ 675 W

CS7N|645 | 650 | 655 | 660 | 665 | 670 | 675MS

MORE POWER

- Module power up to 675 W
Module efficiency up to 21.7 %
- Up to 3.5 % lower LCOE
Up to 5.7 % lower system cost
- Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- 40 °C lower hot spot temperature, greatly reduce module failure rate
- Minimizes micro-crack impacts
- Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

- Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*
- Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001 : 2015 / Quality management system
ISO 14001 : 2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001 : 2018 / International standards for occupational health & safety
IEC62941 : 2019 / Photovoltaic module manufacturing quality system

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 63126 Level1 / IEC 60068-2-68
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



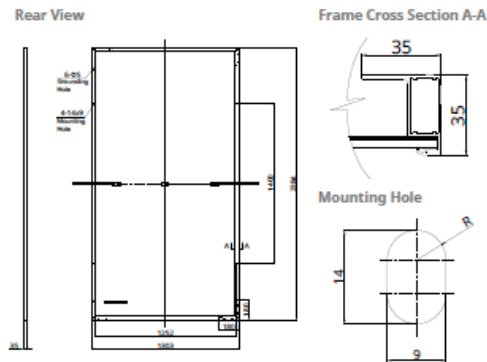
* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar photovoltaic modules, solar energy and battery storage solutions to customers. The company was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey. Over the past 23 years, it has successfully delivered over 125 GW of premium-quality solar modules across the world.

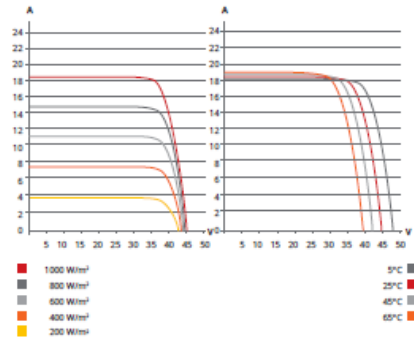
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W	675 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A	17.36 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A	18.59 A
Module Efficiency	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%	21.7%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Protection Class	Class II						
Power Tolerance	0 ~ +10 W						

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W	506 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A	13.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V	43.5 V
Short Circuit Current (Isc)	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A	14.99 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	33.9 kg (74.7 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	360 mm (14.2 in) (+) / 200 mm (7.9 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	558 pieces

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

Jul. 2024. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V2.81_EN

SUNNY TRIPower X 12 / 15 / 20 / 25 powered by ennexOS



STP 12-50 / STP 15-50 / STP 20-50 / STP 25-50



En periodo de lanzamiento al mercado: licencia gratuita para SMA Dynamic Power Control



**SMA
ShadeFix**



**SMA
ArcFix**



**SMA
Smart Connected**

Gestor de sistemas integrado	Seguridad incluida	Máximo rendimiento	Mayor flexibilidad
<ul style="list-style-type: none"> • Monitorización y control de hasta 5 inversores (máx. 135 kVA) • Acceso directo a Sunny Portal powered by ennexOS • SMA Dynamic Power Control 	<ul style="list-style-type: none"> • Función de protección contra arco voltaico SMA ArcFix • Protección contra sobretensión de CC • Protección simplificada de la planta y de la red 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del rendimiento gracias a la integración de SMA ShadeFix • Diagnóstico de generadores LV¹⁾ • SMA Smart Connected 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 seguidores MPP • Mayor corriente de entrada para módulos fotovoltaicos potentes • Posibilidad de ampliación modular para futuras funciones de gestión energética

SUNNY TRIPower X 12 / 15 / 20 / 25

Inteligencia integrada en un diseño preparado para el futuro

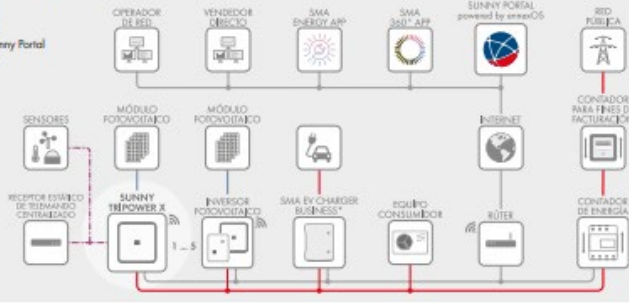
El nuevo Sunny Tripower X es la solución innovadora para plantas fotovoltaicas industriales y plantas privadas de gran tamaño. La función de gestor de sistemas integrado con acceso directo al Sunny Portal powered by ennexOS controla hasta cinco inversores SMA y un Energy Meter. Este permite regular de forma dinámica la potencia activa y reactiva a través de SMA Dynamic Power Control. Gracias a su amplio rango de tensión de entrada y a la alta capacidad de corriente de entrada es compatible con los potentes módulos fotovoltaicos de última generación. A través del innovador diseño de la carcasa se consigue una refrigeración eficiente de los componentes electrónicos, lo que maximiza la vida útil del Sunny Tripower X.

La puesta en marcha se puede realizar fácil y rápidamente de forma centralizada para todos los equipos del sistema. Durante el funcionamiento, los usuarios pueden disfrutar de las soluciones de software integradas: SMA ShadeFix, que eleva el rendimiento de la planta fotovoltaica incluso en caso de sombreado parcial y SMA ArcFix, que detecta de manera efectiva los arcos voltaicos, y permite reducir el riesgo de incendios.

¹⁾ planificado para Q4/2022

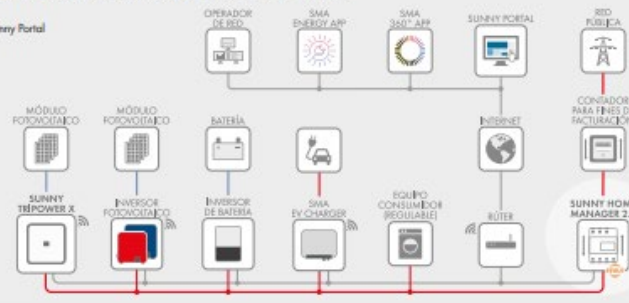
SUNNY TRIPOWER X como gestor de sistemas

- Hasta 5 inversores y 1 contador de energía
- Conexión directa al Sunny Portal powered by enxOS



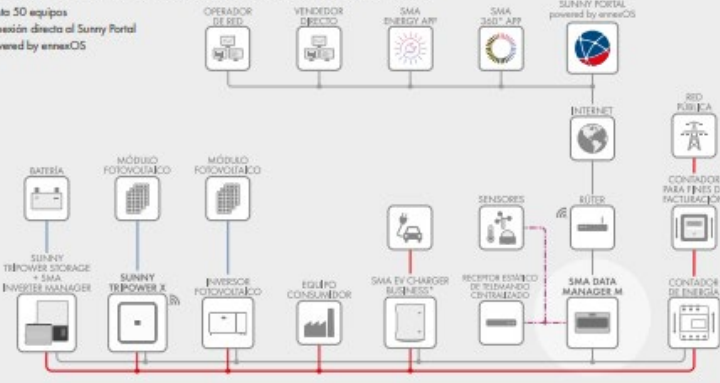
SUNNY TRIPOWER X con Sunny Home Manager 2.0 como gestor de sistemas

- Hasta 24 equipos
- Conexión directa al Sunny Portal



SUNNY TRIPOWER X con SMA DATA MANAGER M como gestor de sistemas

- Hasta 30 equipos
- Conexión directa al Sunny Portal powered by enxOS



*1 disponible a partir de 2023

CC CA Ethernet/Internet Radio Salida externa

Datos técnicos	Sunny Tripower X 12	Sunny Tripower X 15	Sunny Tripower X 20	Sunny Tripower X 25
Entrada (CC)				
Potencia máx. del generador fotovoltaico	18000 Wp STC	22500 Wp STC	30000 Wp STC	37500 Wp STC
Tensión de entrada máx.	1000 V			
Rango de tensión del MPPT	210 V a 800 V	260 V a 800 V	345 V a 800 V	430 V a 800 V
Tensión asignada de entrada	580 V			
Tensión de entrada mín. / Tensión de entrada de inicio	150 V / 188 V			
Corriente máx. de entrada utilizable por seguidor del MPPT	24 A			
Corriente máx. de control por seguidor del MPPT	37,5 A			
Cantidad de seguidores del MPPT independiente / Strings por seguidor del MPPT	3 / 2			
Salida (CA)				
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	12000 W	15000 W	20000 W	25000 W
Potencia aparente asignada / Potencia aparente máx.	12000 VA/12000 VA	15000 VA/15000 VA	20000 VA/20000 VA	25000 VA/25000 VA
Tensión nominal de CA	220 V / 380 V	230 V / 400 V	240 V / 415 V	
Rango de tensión	176 V a 275 V / 304 V a 477 V			
Frecuencia de red / Rango	50 Hz / 44 Hz a 56 Hz 60 Hz / 54 Hz a 66 Hz			
Frecuencia de red asignada / Tensión de red asignada	50 Hz / 230 V			
Corriente de salida asignada / Corriente de salida máx.	17,6 A / 36,6 A	21,7 A / 36,6 A	29 A / 36,6 A	36,2 A / 36,6 A
Fase de inyección / Conexión de CA	3 / 3(N)PE			
Factor de potencia a potencia asignada / Factor de desfase ajustable	1 / 0 inductivo a 0 capacitivo			
Armónicos (THD)	< 3 %			
Rendimiento				
Rendimiento máx. / Rendimiento europeo	98,2 % / 97,6 %	98,2 % / 97,8 %	98,2 % / 97,9 %	98,2 % / 98,0 %
Dispositivos de protección				
Punto de desconexión en el lado de entrada	●			
Monitorización de toma a tierra / Monitorización de red	● / ●			
Protección contra polarización inversa de CC / Resistencia al cortocircuito de CA	● / ●			
Dispositivo de monitorización de corriente residual sensible a cualquier corriente	●			
Clase de protección (según IEC 62109-1) / Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)	I / CA; II; CC; II			
Función de protección contra arco voltaico (APC) / Diagnóstico de generadores I-V	● / ● ¹⁾			
Descargador de sobretensión CC (tipo 2, tipo 1/2)	○			
Datos generales				
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	728 mm / 762 mm / 266 mm (28,7 in / 30,0 in / 10,5 in)			
Peso	35 kg (77 lb)			
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 °C a +60 °C (-13 °F a +140 °F)			
Emisores de ruido, máximo (1 m)	59 dB(A)			
Autocorrección (software)	< 5 W			
Topología / Principio de refrigeración	Sin separación galvánica / OptiCool			
Tipo de protección (según IEC 60529)	IP65			
Categoría de clima (según IEC 60721-3-4)	4K26			
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %			
Equipamiento / Función / Accesorios				
Conexión de CC / Conexión de CA	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte			
Indicador led (estado / error / comunicación)	●			
Interfaz Ethernet / WLAN / RS485	● (2 puertos) / ● / ○ ²⁾			
Protocolos de datos: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire	● / ● / ●			
Relé multifunción / Ranura para módulo de amplificación	● / ● (1 puerto)			
Número de entradas digitales	6			
Tipo de montaje	Montaje mural			
SMA ShadeFix / Integrated Pwr Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●			
Compatible con redes aisladas / Compatible con SMA Hybrid Controller	● / ●			
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 años	● / ○ / ○ / ○			
Certificaciones y autorizaciones (sobre petición)	VDE ARN 4105/4110:2018, EN 50549-1/2:2018, CE, UKCA			
Función de gestor de sistemas				
Número total de equipos compatibles, de los cuales:	6			
Número máximo de inversores SMA compatibles	5			
Número máximo de contadores de energía compatibles	1			
Potencia nominal de la planta máxima de los inversores fotovoltaicos (potencia nominal de CA)	135 kVA			
Puede en marcha centralizada de todos los equipos en el sistema	●			
Parametrización remota de equipos de SMA con Sunny Portal powered by enesOS	●			
Venta directa con SMA SPOT (Alemania)	●			
SMA Dynamic Power Control (p. ej.: inyección cero / Q[UI])	○			
Modelo comercial	STP 12-30	STP 15-50	STP 20-50	STP 25-50

● De serie ○ Opcional – No disponible *STC: Condiciones de prueba estándares Datos en condiciones nominales Versión: 08/2022 1) planificado para Q4/2022 2) planificado para 2023

Accesorios

 SMA Sensor Module MD SEN 40 ³⁾	 SMA RS485 Module MD 485-60 ⁴⁾	 Descargador de sobretensión CC (Tipo I-II): DC_SPD_KIT7_1112 (Tipo II): DC_SPD_KIT6-10	 Cubierta de la conexión de CC DC-TERM-COVER ⁵⁾
---	--	--	---

SUNNY TRIPOWER X 12 / 15 / 20 / 25 powered by ennexOS



SMA ShadeFix - Optimización inteligente del rendimiento energético

Sus características probadas y sus soluciones de software integradas garantizan una optimización del rendimiento a lo largo de toda la vida útil de la planta, incluso en condiciones de sombra. SMA ShadeFix es un software para inversores patentado destinado a optimizar el rendimiento energético prácticamente en cualquier situación. La monitorización de inversores SMA Smart Connected ofrece seguridad adicional, ya que permite detectar errores con antelación y emite una notificación automática al instalador.



SMA ArcFix - Evitar los arcos voltaicos de manera efectiva

El sistema de detección e interrupción de arcos voltaicos (AFCI) detecta de manera efectiva posibles arcos voltaicos en la planta fotovoltaica, de manera que el inversor finaliza el funcionamiento de inyección antes de que se pueda producir un incendio. SMA fue uno de los pioneros en la introducción del AFCI en Estados Unidos y ha seguido perfeccionando esta solución en la última década. En el futuro dotaremos todos nuestros inversores de string con el sistema de detección e interrupción de arcos eléctricos SMA ArcFix en todo el mundo. De esta forma seguiremos impulsando sistemáticamente los ya de por sí elevados estándares de seguridad de las plantas fotovoltaicas.



SMA Smart Connected - Comunicación proactiva en caso de errores

SMA Smart Connected* es la monitorización gratuita del inversor a través del Sunny Portal de SMA. Si se produce un error en un inversor, SMA informa de manera proactiva al operador de la planta y al instalador. Esto permite ahorrar valiosas horas de trabajo y costes.

Con SMA Smart Connected, el instalador se beneficia del diagnóstico rápido de SMA, lo que le permite solucionar los errores con rapidez y ofrecer al cliente atractivas prestaciones adicionales.

*) Para más detalles, véase el documento "Descripción de los servicios SMA SMART CONNECTED"

SMA-Solar.com

SMA Solar Technology AG

© SMA Solar Technology AG 2020. SMA Solar Technology AG es una empresa registrada en el Registro del Comercio de la Cámara de Comercio de Düsseldorf, Alemania. Número de registro: HRB 17093. El número de identificación fiscal (VAT) es DE 253379242. SMA Solar Technology AG es una empresa registrada en el Registro del Comercio de la Cámara de Comercio de Düsseldorf, Alemania. Número de registro: HRB 17093. El número de identificación fiscal (VAT) es DE 253379242. SMA Solar Technology AG es una empresa registrada en el Registro del Comercio de la Cámara de Comercio de Düsseldorf, Alemania. Número de registro: HRB 17093. El número de identificación fiscal (VAT) es DE 253379242.

SUNNY TRIPower CORE2 STP 110-60



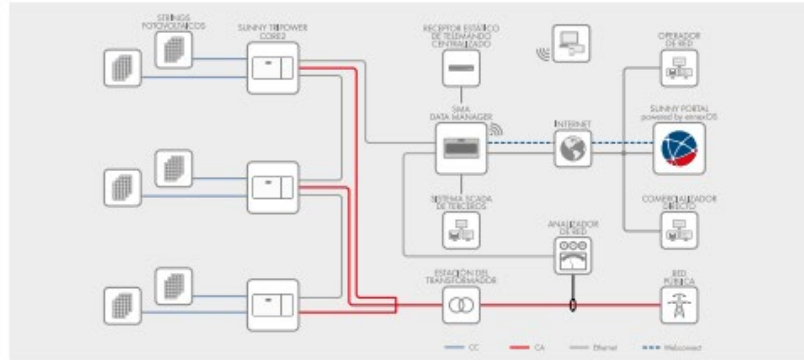
Mayor flexibilidad	Mayor potencia	Mayor rendimiento	Mayor integración del sistema
<ul style="list-style-type: none"> • Para grandes instalaciones de tejado y en campos abiertos hasta el rango de los MW • 12 seguidores del MPP • 24 strings con conectores de enchufe Sunclix de 1100V CC 	<ul style="list-style-type: none"> • 110 kW para estándar de 400 V CA • Rápida puesta en marcha sin DC-Combiner adicional • Rendimiento máximo del 98,6 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio de monitorización premium para un rendimiento fiable de la planta • El máximo rendimiento gracias a una solución de software integrada SMA ShadeFix 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexible y ampliable de cara al futuro en SMA Energy System Business • Gestión de la energía integral con annexOS • Gran seguridad de IT

SUNNY TRIPower CORE2

Diseño de la planta flexible y el máximo rendimiento gracias a funciones integradas

Diseño de la planta flexible para plantas fotovoltaicas comerciales mayores: el Sunny Tripower CORE2 es el inversor ideal para estructuras de plantas descentralizadas hasta el rango de los megavatios. Con una potencia de 110 kilovatios, 24 strings y 12 seguidores del MPP, el Sunny Tripower CORE2 permite un grado de cobertura solar especialmente elevado durante el transcurso del día en plantas en campo abierto, así como con diferentes inclinaciones en los tejados. La solución de software integrada SMA ShadeFix optimiza en todo momento el rendimiento de la planta de forma automática, incluso con módulos parcialmente a la sombra. El servicio de monitorización automática SMA Smart Connected, gracias a una detección de averías precoz, ofrece también el máximo rendimiento de la planta fotovoltaica.

Con el Sunny Tripower CORE2 como componente central del SMA Energy System Business, los instaladores y los operadores de la planta se benefician de componentes de alta calidad de un mismo proveedor y de las posibilidades de ampliación futuro con soluciones de almacenamiento de SMA.



Datos técnicos		Sunny Tripower CORE2	
Entrada [CC]			
Potencia máx. del generador fotovoltaico		165000 Wp STC	
Tensión de entrada máx.		1100 V	
Rango de tensión del MPP		500 V a 800 V	
Tensión asignada de entrada		585 V	
Tensión de entrada mín. / tensión de entrada de inicio		200 V / 250 V	
Corriente de entrada máx. por seguidor del MPP / Corriente de cortocircuito máx. por seguidor del MPP		26 A (22 A < 600 V) / 40 A	
Cantidad de seguidores del MPP independientes / Strings por seguidor del MPP		12 / 2	
Salida [CA]			
Potencia asignada a tensión nominal		110000 W	
Potencia máx. aparente de CA		110000 VA	
Tensión nominal de CA		400 V	
Rango de tensión de CA		320 V a 460 V	
Frecuencia de red de CA/Rango		50 Hz / 45 Hz a 55 Hz 60 Hz / 55 Hz a 65 Hz	
Frecuencia de red asignada		50 Hz	
Corriente máx. de salida		159 A	
Factor de potencia a potencia asignada / Factor de desfase ajustable		1 / 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo	
Armónicas (THD)		< 3 %	
Fases de inyección / Conexión de CA		3 / 3PE	
Rendimiento			
Rendimiento máx. / Rendimiento europeo		98,6 % / 98,4 %	
Dispositivos de protección			
Punto de desconexión en el lado de entrada		●	
Monitorización de toma a tierra / Monitorización de red / Protección contra polarización inversa de CC		● / ● / ●	
Resistencia al cortocircuito de CA / Con separación galvánica		● / -	
Dispositivo de monitorización de corriente residual sensible a cualquier corriente		●	
Descargadores de sobretensión (tipo II) CA/CC monitorizados		● / ●	
Clase de protección (según IEC 62109-1) / Categoría de sobretensión (según IEC 62109-1)		(I/CA: II; CC: II)	
Datos generales			
Dimensiones [ancho / alto / fondo]		1117 mm / 682 mm / 363 mm (44,0 in / 26,9 in / 14,3 in)	
Peso		93,5 kg (206,1 lb)	
Rango de temperaturas de funcionamiento		De -30 °C a +60 °C (de -22 °F a +140 °F)	
Emissiones de ruido, máximo (1 m)		78 dB(A)	
Autoconsumo [nocturno]		< 5 W	
Topología / Principio de refrigeración		Sin transformador / Refrigeración activa	
Tipo de protección (según IEC 60529)		IP66	
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)		100 %	
Equipamiento / Función / Accesorios			
Conexión de CC/CA		Sunclix / Terminal de cable (hasta 240 mm²)	
Indicador led [estado / error / comunicación]		●	
Interfaz ethernet		● (2 puertos)	
Interfaz de datos		Interfaz web / Modbus SunSpec	
Tipo de montaje		Montaje en pared / Montaje en bastidor	
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 años		● / ● / ● / ●	
Certificados y autorizaciones (selección)		IEC 62109-1/2, EN60569-1/2:2018, VDE-AR-N 4105/4110/4130:2018, IEC 62116, IEC 61737, C10/C11/02/MF1:2018, CEI 0-16:2019, AS/NZS 4777.2, SI 4777, ICR Energy Ipo A/B	
Modelo comercial		STP 110-60	

● De serie ○ Opcional - No disponible Datos en condiciones nominales Versión: 10/2021

SMA-Solar.com

SMA Solar Technology

STP 110-60-00-00 - Diagrama de conexión de un sistema de energía solar SMA Solar Technology. El diagrama muestra la conexión de tres strings de paneles solares a un inversor de potencia centralizado (RECIPRO ESTÁTICO DE POTENCIA CENTRALIZADO) que incluye un SMA Data Manager y un sistema de gestión de baterías (SISTEMA TÉCNICA DE BATERÍAS). El sistema también incluye un estación de transformación (ESTACIÓN DEL TRANSFORMADOR), un analizador de red (ANALIZADOR DE RED) y un generador de red (GENERADOR DE RED). El sistema está conectado a una red pública (RED PÚBLICA) a través de un conmutador eléctrico (COMBUSTOR ELÉCTRICO) y un Sunny PDEAL. Se muestran conexiones para Ethernet y Modbus.

GLOSARIO

- ✚ **Sistema solar fotovoltaico:** Conjunto de equipos que sirven para aprovechar la energía solar y convertirla en electricidad.
- ✚ **Eficiencia energética:** Es el objetivo de reducir la cantidad de energía requerida para proporcionar productos y servicios.
- ✚ **Panel solar:** Plancha de vidrio, estaño y otros materiales, que se coloca en un lugar despejado y recoge la energía solar para conducirla a un transformador de energía eléctrica.
- ✚ **Inversor:** Dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión simétrica de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.
- ✚ **Sunny Design:** Pagina/Software dedicado al dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.
- ✚ **RETScreen:** Software dedicado al análisis financiero.
- ✚ **Explorador Solar:** Pagina del ministerio de la energía que permite conocer entre otras cosas la radiación solar del país.