

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS DE FACTORES EXTERNOS QUE INCIDEN EN LA
EFICIENCIA DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS RESIDENCIALES
EN QUITO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DELGADO PIEDRA ESTEBAN FERNANDO

DIRECTOR: SALAZAR YÉPEZ GABRIEL BENJAMÍN

QUITO, JULIO 2022

AVAL

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Esteban Fernando Delgado Piedra, bajo mi supervisión.

Dr. Ing. Gabriel Salazar Yépez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Esteban Fernando Delgado Piedra, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

ESTEBAN FERNANDO DELGADO PIEDRA

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo y Sylvia que siempre ha estado presente con amor, paciencia y sabiduría, guiando mi vida y motivándome para seguir adelante cumpliendo mis objetivos.

A mi hermano Daniel, que siempre ha estado a mi lado con su amor y apoyo, es la persona que más admiro y mi modelo a seguir.

A mi hermana Karina, quien con todo su cariño y amor me ha apoyado en cada paso de mi vida.

Con mucho amor.

Esteban

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre guiarme y permitir que cumpla mis sueños.

A mis padres Eduardo y Sylvia, siempre estaré agradecido por todo su esfuerzo y apoyo durante todo este proceso.

A mis hermanos, Daniel y Karina, siempre han sido mi apoyo en momentos buenos y malos, gracias por su compañía.

Al Dr. Gabriel Salazar y a su esposa Ing. Ivonne Pérez, gracias por su dirección, paciencia, conocimiento y enseñanzas para lograr el desarrollo de este trabajo, y por su confianza para crecer a diario como profesional.

A mis amigos, por ser grandes personas y juntos formar parte de esta gran experiencia, agradezco por su apoyo y gran amistad.

A mis maestros de la Escuela Politécnica Nacional, por brindarme sus enseñanzas y compartir su sabiduría en mi formación académica.

¡Gracias a todos!

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ALCANCE	3
2 MARCO TEÓRICO	4
2.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA	4
2.1.1 RECURSO SOLAR.....	4
2.1.1.1 Radiación Solar.....	4
2.1.1.2 Carta Solar	5
2.1.1.3 Horas de sol pico (HSP).....	6
2.1.2 GENERACIÓN Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	7
2.1.2.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	8
2.1.2.2 Subsistemas de Centrales Fotovoltaicas	11
2.1.2.3 Estructuras de Montaje	16
2.1.3 EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO	18
2.1.3.1 Factores que inciden en la Eficiencia del Panel Fotovoltaico.....	18
2.2 ANÁLISIS NORMATIVA DEL ECUADOR.....	20
2.2.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	21
2.2.2 LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (LOSPEE).....	21
2.2.3 REGULACIÓN NRO. ARCERNNR 001/21.....	22
2.2.4 REGULACIÓN NRO. ARCERNNR 002/21.....	23
3 METODOLOGÍA.....	25
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES FOTOVOLTAICAS	25
3.1.1 CENTRAL FOTOVOLTAICA 1	25
3.1.1.1 Características del Sistema Fotovoltaico	26

3.1.2	CENTRAL FOTOVOLTAICA 2	29
3.1.2.1	Características del Sistema Fotovoltaico	30
3.2	MEDICIÓN Y RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN	33
3.2.1	SUCIEDAD	33
3.2.2	SOMBRA	35
3.2.3	INCLINACIÓN.....	36
3.3	USO DEL SOFTWARE PVSYSY PARA EL MODELAMIENTO	37
3.4	MÉTODOS DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS	45
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1	ANÁLISIS DE LA SUCIEDAD	47
4.2	ANÁLISIS DE LA SOMBRA	50
4.3	ANÁLISIS DE LA INCLINACIÓN.....	52
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1	CONCLUSIONES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.2	RECOMENDACIONES	55
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXOS	61
	ANEXO A	62
	ANEXO B	64
	ANEXO C.....	66
	ORDEN DE EMPASTADO	69

RESUMEN

A través del desarrollo de investigaciones se ha logrado determinar los factores que inciden en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, entre los principales se encuentra la temperatura, suciedad, variaciones climáticas, efectos de reflexión, ángulo de inclinación y sombreado.

El objetivo es analizar la influencia de la inclinación, sombra y suciedad en la producción de energía eléctrica de centrales fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica en Quito.

El análisis estuvo constituido por 3 subconjuntos de cada central previamente estandarizados, se recolectó la energía eléctrica producida en diferentes condiciones: suciedad, sombra e inclinación. Estos factores fueron medidos en media de producción diarias por 7 días o más y posteriormente comparados con una simulación en el programa PVSyst.

En la sombra la simulación sobreestima la capacidad de generación de energía 10% al tener cubierta 2% del área de un panel solar. Al tener 4% presenta una reducción de rendimiento igual a la medición en campo. En la suciedad la simulación subestima la generación de energía del panel en un 11% al tener 20 g/m² de suciedad, y en un 22% al tener 40 g/m² de suciedad. En la Inclinación la energía es igual a la tomada en campo inclinado.

Se recomienda configurar un 10% menos de porcentaje sobre la capacidad de generación de energía en la simulación, la suciedad se recomienda reducir el factor de perdidas por suciedad de un 3% a 5%, en cuanto a la inclinación se recomienda seguir usando el mismo simulador.

Palabras clave: central fotovoltaica, factores que afectan el rendimiento en centrales fotovoltaicas, inclinación de paneles fotovoltaicos, sombreado en paneles fotovoltaicos, suciedad en paneles fotovoltaicos.

ABSTRACT

Through the development of research, it has been possible to determine the factors that affect the performance of photovoltaic modules, among the main ones are temperature, dirt, climatic variations, reflection effects, angle of inclination and shading.

The objective is to analyze the influence of inclination, shade, and dirt in the production of electrical energy from photovoltaic plants for the generation of electrical energy in Quito.

The analysis consisted of 3 previously standardized subsets of each plant, the electrical energy produced in different conditions was collected: dirt, shade, and inclination. These factors were measured in average daily production for 7 days or more and later compared with a simulation in the PVSyst program.

In the shade, the simulation overestimates the power generation capacity by 10% as it covers 2% of the area of a solar panel. Having 4% presents a yield reduction equal to the field measurement. In dirt, the simulation underestimates the energy generation of the panel by 11% when it has 20 g/m² of dirt, and by 22% when it has 40 g/m² of dirt. In the Inclination, the energy is equal to that taken in the inclined field.

It is recommended to configure a 10% less percentage of the power generation capacity in the simulation, dirt it is recommended to reduce the loss factor due to dirt from 3% to 5%, in terms of inclination it is recommended to continue using the same simulator.

Key Words: photovoltaic power plant, factors that affect the performance in photovoltaic power plants, inclination of photovoltaic panels, shading on photovoltaic panels, dirt on photovoltaic panels.

1 INTRODUCCIÓN

Los paneles solares están conformados por un grupo de celdas fotovoltaicas instaladas sobre un marco de apoyo para el montaje. Los paneles aprovechan la luz proveniente del sol como fuente de energía para generar electricidad de corriente directa. La generación fotovoltaica se basa en generar energía eléctrica transformando la radiación solar en electricidad de corriente directa utilizando materiales semiconductores con características favorables para el uso de efecto fotovoltaico [1], [23].

La radiación solar es la energía proveniente del sol y se propaga en forma de emisiones electromagnéticas. Esta radiación es de aproximadamente $1\ 000\ \text{W/m}^2$, y está constituida por fotones que varían de acuerdo con las frecuencias de las ondas son ultravioleta, infrarroja y luz dentro del rango visible.

La radiación directa es la más importante y la mayor utilizada en las aplicaciones fotovoltaicas. Sin embargo, en días nublados en los cuales no se recibe radiación directa, llega radiación solar sobre la superficie debido a la radiación difusa.

La eficiencia energética se puede definir como la relación entre la energía eléctrica generada y la energía solar que incide sobre el panel. El material base que se utilizan para fabricar celdas fotovoltaicas son los semiconductores. En la actualidad, existe una gran variedad de celdas elaboradas por diferentes materiales y estructuras, entre los distintos tipos de celdas sobresalen las elaboradas con silicio monocristalino con una eficiencia de 24,7%.

A través del desarrollo de investigaciones se ha logrado determinar los factores que inciden en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, con el propósito de amenorar su afectación en la eficiencia para los sistemas fotovoltaicos. Estos factores están clasificados en propios o internos y externos dependiendo de su origen. Los factores propios son condiciones que se generan dentro de la composición estructural del módulo fotovoltaico, y pueden llegar a afectar su operación óptima. Entre estos factores se encuentra la temperatura de operación, efectos de reflexión del módulo. Los factores externos a los módulos fotovoltaicos se encuentran aspectos como la variación del clima, ángulo de inclinación y las sombras sobre el panel.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de la incidencia de la inclinación, sombra y suciedad en la producción de energía eléctrica de centrales fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica en Quito.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este Proyecto Técnico es Realizar un análisis de la incidencia de la inclinación, sombra y suciedad en la producción de energía eléctrica de centrales fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica en Quito.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Caracterizar los equipos y dispositivos que forman parte de las dos centrales fotovoltaicas residenciales desarrolladas en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Estudiar desde el punto de vista teórico y con mediciones en sitio la incidencia de la inclinación, sombra y suciedad en la producción energética de las centrales fotovoltaicas bajo estudio.
- Modelar condiciones de inclinación, sombra y suciedad en un software de simulación que permitan establecer su incidencia en la producción de energía eléctrica en las centrales fotovoltaicas residenciales bajo estudio.
- Determinar la incidencia de cada factor externo analizado en la producción y rendimiento de las centrales fotovoltaicas bajo estudio.
- Proponer las mejores prácticas para controlar los factores analizados permitiendo maximizar la producción de energía eléctrica de las centrales fotovoltaicas residenciales en el Distrito Metropolitano de Quito.

1.2 ALCANCE

En el presente trabajo se desarrollará un marco teórico en el cual se detallen todos los equipos y dispositivos que conforman una planta fotovoltaica y los aspectos que pueden afectar la generación de energía eléctrica.

Se resumirá el marco normativo que incentiva y rige en la generación eléctrica para autoconsumo y generación distribuida. Esto contemplará el análisis de los artículos de la Constitución de la República, la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) y su Reglamento que mencionan las energías renovables, la regulación Nro. ARCERNNR 001/21 y la regulación Nro. ARCERNNR 002/21.

Se caracterizará a las centrales fotovoltaicas que serán estudiadas. Se establecerán sus parámetros técnicos y su producción de energía eléctrica histórica. Se analizará la incidencia de la inclinación, suciedad y sombras en la energía eléctrica producida por la central fotovoltaica residencial con medidas en sitio.

Se modelará en un software de simulación las condiciones de inclinación, sombra y suciedad para estimar su incidencia en la energía eléctrica generada de las centrales fotovoltaicas en estudio.

Se propondrá buenas prácticas en el diseño de las centrales fotovoltaicas para maximizar la energía eléctrica generado por las centrales fotovoltaicas residenciales en el Distrito Metropolitano de Quito.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

2.1.1 RECURSO SOLAR

La energía renovable es aquella que se obtiene a partir de recursos naturales que, por su disponibilidad en el tiempo, tasa de regeneración y rapidez de consumo son consideradas inagotables. La principal fuente de energía renovable del planeta se encuentra en el Sol. La energía del Sol por su parte es la que genera el movimiento del viento y el agua, por ello es considerada el origen de una gran cantidad de las fuentes renovables como: eólica, hidroeléctrica, biomasa, etc. [2].

La energía solar puede ser aprovechada de manera directa a través de dos formas: convirtiendo la energía solar en energía calorífica o transformando la energía solar mediante el efecto fotovoltaico en energía eléctrica [3].

A nivel mundial, se evidenció un crecimiento en la incorporación de recursos renovables como fuentes de energía dentro de la matriz de generación de energía eléctrica. Las energías solar y eólica representaron el 90 % de generación renovable recientemente incorporada en todo el mundo [4].

2.1.1.1 Radiación Solar

La radiación solar es la energía proveniente del sol y se propaga en forma de emisiones electromagnéticas. Esta radiación es de aproximadamente $1\ 000\ \text{W/m}^2$, y está constituida por fotones que varían de acuerdo a las frecuencias de las ondas son ultravioleta, infrarroja y luz dentro del rango visible [5], [6].

Debido a la disposición de los objetos en la superficie terrestre, la radiación se puede clasificar en los tipos siguientes que se representa en la Figura 2.1:

- **Radiación directa:** radiación que llega de forma directa del sol, sin reflexiones o refracciones en su recorrido por la atmósfera [5]–[8].
- **Radiación difusa:** radiación que llega del sol que sufre cambios debido a la reflexión y difusión con cualquier objeto dentro de la atmósfera (nubes, polvo, etc.) [5]–[8].

- **Radiación reflejada:** radiación reflejada es toda radiación directa y difusa que se recibe por la reflexión de otras superficies terrestres [5]–[8].



Figura 2.1. Radiación Solar [8].

La radiación directa es la más importante y la mayor utilizada en las aplicaciones fotovoltaicas. Sin embargo, en días nublados en los cuales no se recibe radiación directa, llega radiación solar sobre la superficie debido a la radiación difusa [6].

2.1.1.2 Carta Solar

Esta carta consiste en el diseño de un diagrama en el que se observa en cualquier latitud registrar la posición del Sol en la cúpula celeste. Este diagrama de la carta solar se puede apreciar en la Figura 2.2.

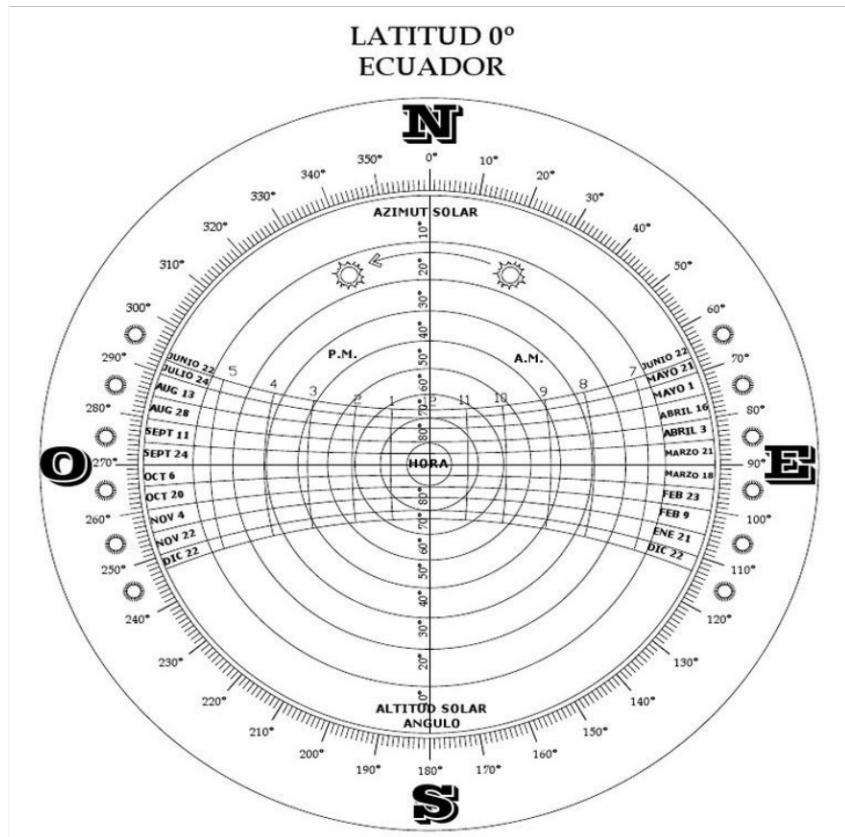


Figura 2.2. Carta solar de Ecuador [9].

2.1.1.3 Horas de sol pico (HSP)

Sirve para poder evaluar la energía que un panel solar puede producir cada día. Este concepto para definir una equivalencia entre la cantidad de horas diarias que recibe el panel a una radiación promedio de $1\ 000\ \text{W/m}^2$ y la radiación total al día que recibe el mismo [7], [10].

En Ecuador, por la ubicación tiene en promedio 6 horas al día de luz solar de forma perpendicular por día [11]. En la Figura 2.3 se puede observar un esquema de Atlas Solar del Ecuador con su Radiación Global Anual.

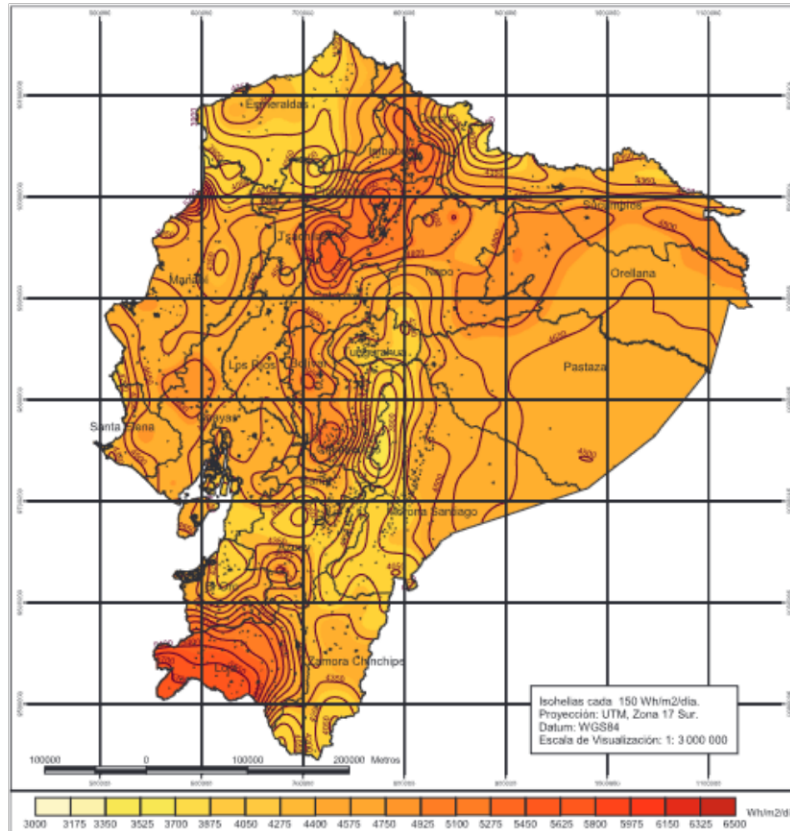


Figura 2.3. Atlas Solar del Ecuador, Radiación Global Anual [12].

2.1.2 GENERACIÓN Y SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La generación fotovoltaica se basa en generar energía eléctrica transformando la radiación solar en electricidad de corriente directa utilizando materiales semiconductores con características favorables para el uso de efecto fotovoltaico [1]. Estos semiconductores generan un flujo de electrones dentro del material que es utilizada para la generación de electricidad [8] .

Los sistemas fotovoltaicos son el conjunto de equipos eléctricos con un nuevo enfoque de energía renovable para transformar la radiación incidente en electricidad producida por medio del efecto foto eléctrico [13], [14]. Se pueden observar ventajas al momento de utilizar ese tipo de sistemas, ya que genera una disminución de elementos que contaminan la atmósfera como el CO² generado por industrias, etc. [15], [16] .

2.1.2.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Estos sistemas se pueden clasificar dependiendo de su configuración como se observa en la Figura 2.4:

- Sistemas Aislados o Autónomos (Off-Grid)
- Sistemas con conexión a la Red (On-Grid)
- Sistemas Híbrido

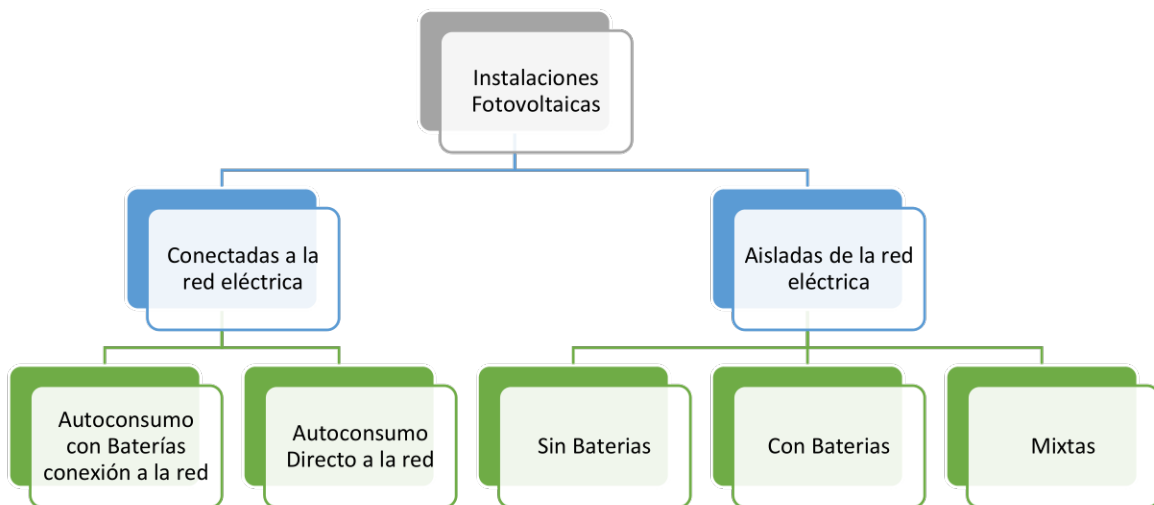


Figura 2.4. Clasificación de Sistemas de generación fotovoltaica [Elaboración Propia].

2.1.2.1.1 Sistemas fotovoltaicos con conexión a la red

Es un sistema que se instala en viviendas o edificaciones dentro de las zonas urbanas. Radica en un conjunto de módulos fotovoltaicos relacionado a uno o varios inversores y opera en sincronismo con la red eléctrica. La central fotovoltaica entrega energía a la red cuando la generación es mayor a la demanda local, y la carga recibe energía de la red en caso contrario [17], [18]. En la Figura 2.5 se presenta un sistema fotovoltaico en general que se conecta a la red y la manera en la que se distribuye hasta llegar al consumidor.

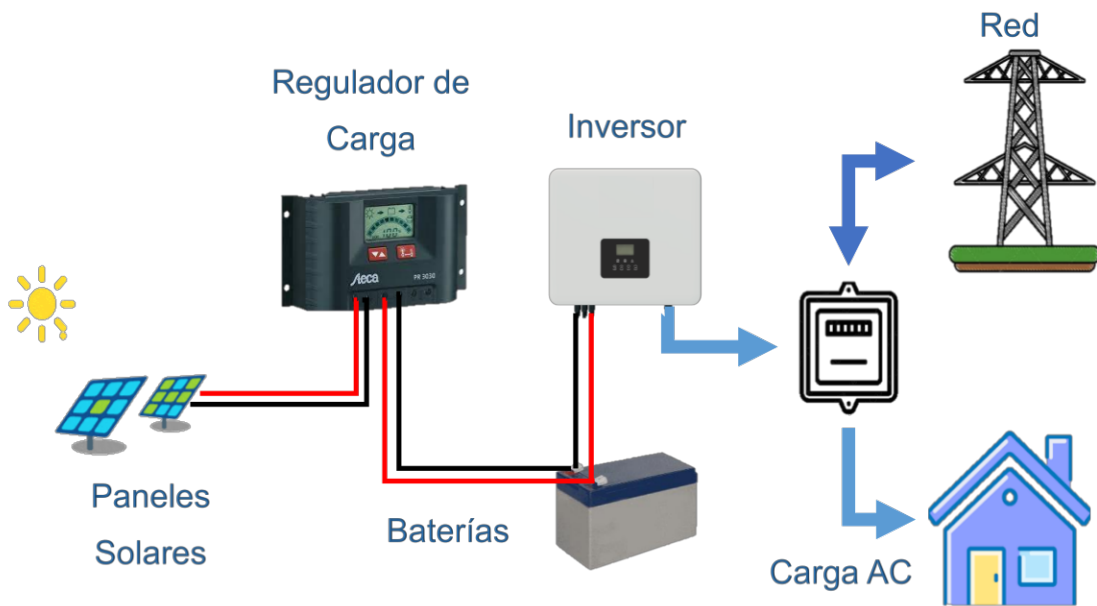


Figura 2.5. Sistema Fotovoltaico conectado a la red. [Elaboración Propia].

2.1.2.1.2 Sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos

Los sistemas aislados o autónomos se manejan en sectores donde no existe conexión a la red eléctrica. Estos sistemas generan energía eléctrica mediante los paneles fotovoltaicos hola durante las horas de sol, los inversores convierten la corriente continua en corriente alterna. Además, es indispensable en el sistema fotovoltaico se tenga un regulador de voltaje y baterías para almacenamiento y distribución energía a la demanda cuando se lo requiera [7], [8]. Este sistema se representa en la Figura 2.6 a continuación.

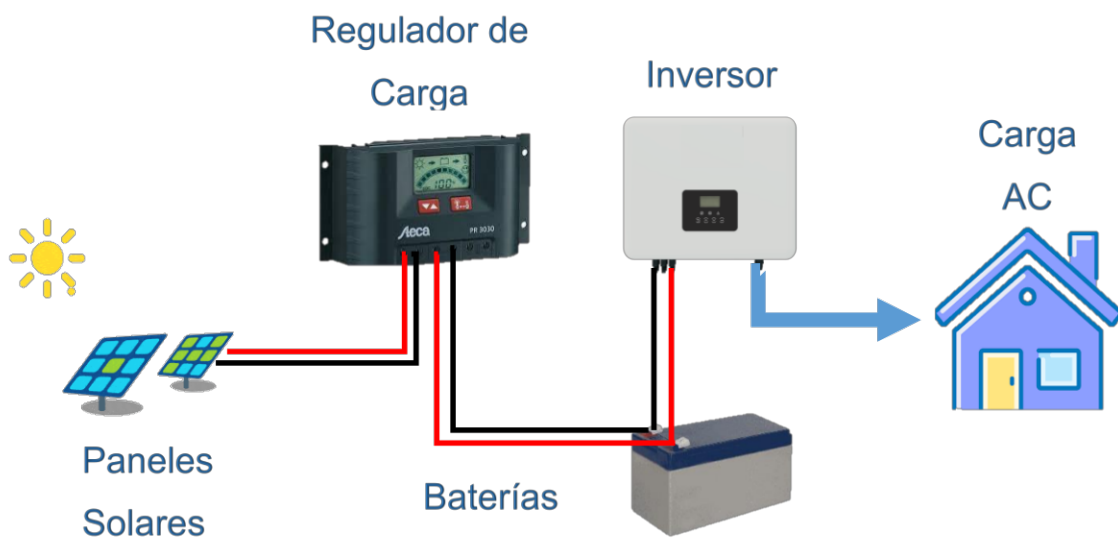


Figura 2.6. Sistema fotovoltaico aislado o autónomo. [Elaboración Propia].

La instalación de estos sistemas aislados puede ser de dos tipos:

Sistema centralizado

Los sistemas fotovoltaicos aislados centralizados suelen estar situados en el punto en el que se dispone del mejor recurso. Se caracteriza por ser una instalación a gran escala de paneles solares que sirven como estaciones de generación de una cantidad significativa de electricidad. Este sistema requiere una cantidad de terreno extensa para su instalación, lo que a su vez depende de la situación geográfica del país [19], [20].

Sistema descentralizado

Los sistemas fotovoltaicos aislados descentralizados son sistemas energéticos más pequeños, caracterizados por producir energía *in situ* o cerca del lugar de los consumidores. Este sistema, a comparación del anterior es una solución energética con menos o ninguna pérdida de voltaje, ya que no se requiere de una gran línea de transmisión para hacer llegar la electricidad a los consumidores [19].

2.1.2.1.3 Sistemas fotovoltaicos Híbridos

Estos sistemas combinan dos o más fuentes de energía renovable con una o más fuentes de energía convencionales. Generalmente son independientes de las grandes redes interconectadas y en su mayoría se utilizan en áreas poco accesibles. El propósito de un sistema de energía híbrido es producir la mayor cantidad de energía a partir de fuentes de energía renovables para garantizar la demanda de carga [21]. En la Figura 2.7 presenta un sistema fotovoltaico híbrido que implementa energía eólica, fotovoltaica y térmica.

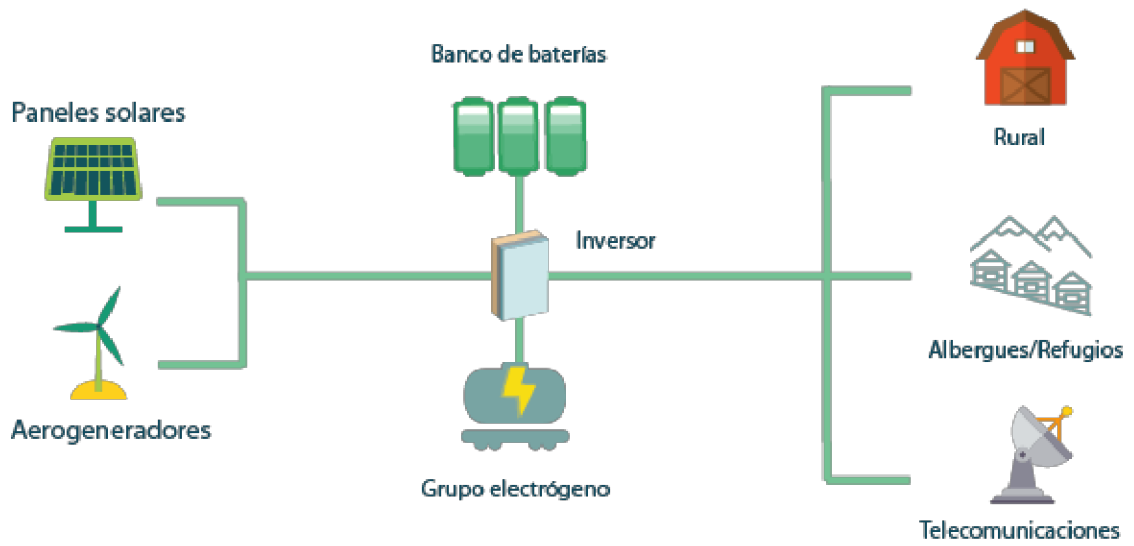


Figura 2.7. Sistema fotovoltaico híbrido [22].

2.1.2.2 Subsistemas de Centrales Fotovoltaicas

Los equipos necesarios para una instalación fotovoltaica están distribuidos en los siguientes subsistemas como es mostrado en la Figura 2.8:

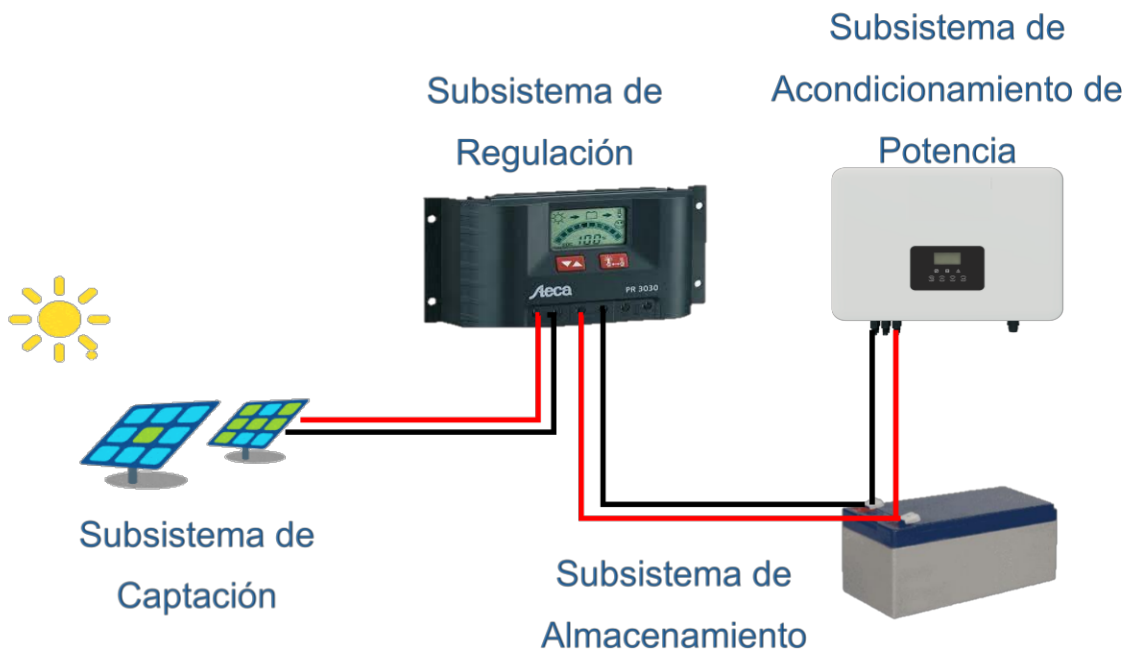


Figura 2.8. Subsistemas de un Sistema Fotovoltaico [Elaboración Propia].

2.1.2.2.1 Subsistema de captación

- **Paneles solares**

Los paneles solares están conformados por un grupo de celdas fotovoltaicas instaladas sobre un marco de apoyo para el montaje. Los paneles aprovechan la luz proveniente del sol como fuente de energía para generar electricidad de corriente directa.

El rendimiento de los módulos fotovoltaicos depende de su ángulo de inclinación al plano horizontal para absorber la radiación perpendicular, independientemente de las condiciones meteorológicas. El conjunto de módulos fotovoltaicos se los denomina panel fotovoltaico [23], [24].

Principalmente existen cuatro tipos de paneles solares, los primeros y más antiguos denominados como de primera generación son los que se producen en placas de silicio y actualmente se mantienen como los más populares debido a su alta eficiencia energética. Le siguen los paneles de segunda generación que se basan en un sistema de producción epitaxial. Estos paneles se constituyen por una película fina de silicio amorfo, aunque también se fabrican con telurio de cadmio, diseleniuro de cobre, indio y galio.

Los paneles de tercera generación fundamentados en nuevas tecnologías que se basan en nano cristales, polímeros, concentradas o sensibilizadas por colorantes. Por último y la más moderna, son los denominados paneles solares transparentes que se caracterizan por utilizar conductores FTO o ITO sobre una película delgada de vidrio con un espesor de menos de 20 nm [25].

Estos tipos de paneles se muestran en la Figura 2.9 a continuación:



Figura 2.9. Tipos de Paneles Solares [23].

2.1.2.2.2 Subsistema de almacenamiento

- **Baterías**

El uso de baterías dentro de un sistema fotovoltaico independiente es para almacenar energía y distribuirla de manera estable a la demanda, debido a la variación de la energía solar a causada por las condiciones ambientales, como la intensidad de la radiación solar y la temperatura. Esto provocará que la potencia generada y la potencia requerida por la carga no sean iguales. Por esta razón las baterías se encargan de transformar la energía eléctrica en energía química que se almacena con el uso de un convertidor eléctrico-químico [26].

Mientras que, para su uso la energía química almacenada se convierte en energía eléctrica por medio del convertidor químico-eléctrico. Los convertidores son celdas electroquímicas, su potencia está determinada por las celdas electroquímicas y su capacidad por la unidad de almacenamiento [27].

Un ejemplo de baterías que se pueden utilizar para los sistemas fotovoltaicos se presenta en la Figura 2.10.



Figura 2.10. Baterías para paneles solares [8].

2.1.2.2.3 Subsistema de regulación

- **Reguladores de carga**

Este equipo como se visualiza en la Figura 2.11, tiene el objetivo de regular el ciclo de carga y descarga de las baterías de ciclo profundo, además debe protegerlas frente a una sobrecarga o descarga extrema. Al completar la carga de la batería, el regulador interrumpe el proceso, evitando pérdidas y calentamiento de los acumuladores [28].

Una sobrecarga reduce la vida útil de la batería, por lo que el regulador cierra automáticamente el paso de corriente eléctrica hacia las baterías protegiendo a las mismas. Acorde las baterías han alcanzado su nivel máxima carga, el regulador desconecta progresivamente el flujo de energía [29].



Figura 2.11. Reguladores de carga [30].

2.1.2.2.4 Subsistema de acondicionamiento

- **Inversores**

Es un dispositivo como se observa en la Figura 2.12, que transforma la corriente continua (CC) en corriente alterna (AC). Esto sucede por el cambio en el nivel de voltaje o la forma de onda alterna y la regulación del valor eficaz del voltaje de salida. El inversor transfiere la potencia a la red inyectando la corriente y el voltaje deseado, de forma segura y normalizada por el agente regulador de la red eléctrica [31], [32].



Figura 2.12. Diferentes tipos de inversores [33].

- **Transformadores**

Es una máquina eléctrica estática visible en la Figura 2.13, transforma la potencia eléctrica alterna de un nivel de voltaje y corriente, a otro nivel de voltaje y corriente. Esto sucede debido a una conversión intermedia a un campo magnético [34].



Figura 2.13. Transformador de Potencia [35].

- **Elementos de protección y desconexión**

Seccionador de Potencia de Corriente Continua

El dispositivo ayuda a desconectar el generador del inversor cuando presente una falla. Además, asegura un seccionamiento sin la producción de un arco eléctrico y evitar daños a las conexiones con el inversor [36].

Protección contra cortocircuitos

Los dispositivos adecuados para instalar son los interruptores magnetotérmicos en cada circuito de la instalación [29].

Protección contra sobrevoltajes

Los inversores poseen varistores que protegen al inversor frente a fallas en la red eléctrica o descargas atmosféricas [29].

Protección frente a choques eléctricos

Es importante la protección hacia el usuario, por ello es primordial colocar un sistema de protección en el lado de corriente directa y el de corriente alterna. En el lado de corriente alterna se instala un interruptor diferencial de 30mA, y una malla puesta a tierra para protección del equipo y del usuario [29].

2.1.2.3 Estructuras de Montaje

Los paneles fotovoltaicos son colocados sobre estructuras de soporte que permitan conservar el ángulo de inclinación y orientación óptima, incluso para las peores condiciones ambientales.

Las estructuras para el montaje son las encargadas de sujetar los paneles fotovoltaicos a la superficie designada para ser instalados [29]. Existen varios tipos de estructuras entre ellos:

- Soportes fijos: Son utilizados en zonas donde la latitud no influye mucho en la energía generada, y se puede optar por un ángulo fijo de inclinación, es decir en lugares donde la reducción de eficiencia sea insignificante. En la Figura 2.14 se muestra un ejemplo de soporte fijo.



Figura 2.14. Estructura de montaje fija [37].

- Soporte automático: Este tipo de estructura se utiliza para poder seguir la trayectoria del sol desde el amanecer al atardecer, y en las diferentes estacionalidades del año. Existen de dos tipos: seguidor pasivo y seguidor activo. En la Figura 2.15 se muestra un ejemplo de soporte automático.



Figura 2.15. Estructura de montaje móvil [37].

2.1.3 EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO

La eficiencia energética se puede definir como la relación entre la energía eléctrica generada y la energía solar que incide sobre el panel [28]. El material base que se utilizan para fabricar celdas fotovoltaicas son los semiconductores. En la actualidad, existe una gran variedad de celdas elaboradas por diferentes materiales y estructuras. En la Tabla 2.1 se muestran los distintos tipos de celdas y sus eficiencias. La eficiencia del panel es diferente a la eficiencia de una celda fotovoltaica, debido a pérdidas por la reflexión del vidrio del panel, sombra del marco, temperaturas más altas a las condiciones estándar de ensayo. Se dice que la eficiencia de los módulos fotovoltaicos es menor a la eficiencia de las celdas entre 1% al 3% [38].

Tabla 2.1. Eficiencia para algunos tipos de celdas fotovoltaicas [39].

Tipo de celda fotovoltaica	Eficiencia [n]
Arseniuro de galio	25,1
Seleniuro de cobre e indio	18,4
Silicio amorfo	12,7
Silicio cristalino	24,7
Silicio policristalino	19,8
Teluro de cadmio	16,4

2.1.3.1 Factores que inciden en la Eficiencia del Panel Fotovoltaico

A través del desarrollo de investigaciones se ha logrado determinar los factores que inciden en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, con el propósito de amenorar su afectación en la eficiencia para los sistemas fotovoltaicos. Estos factores están clasificados en propios o internos y externos dependiendo de su origen [40].

2.1.3.1.1 Factores propios del panel

Los factores propios son condiciones que se generan dentro de la composición estructural del módulo fotovoltaico, y pueden llegar a afectar su operación óptima. Entre estos factores se encuentra la temperatura de operación, efectos de reflexión del módulo.

Temperatura de funcionamiento del panel fotovoltaico

Los paneles fotovoltaicos reciben alrededor de un 80% de la radiación solar. No obstante, una parte de esta se transforma en energía eléctrica y lo demás en calor [41], [42]. La fracción que se convierte en calor aumenta la temperatura del panel, reduciendo la eficiencia y deterioro en el módulo fotovoltaico.

Efecto de la reflexión y suciedad en la superficie de los paneles fotovoltaicos

La cantidad de radiación solar que se recibe por las células fotovoltaicas en el interior del panel es inferior a la que llega a la superficie de este por la reflexión y suciedad [43].

En un estudio de Ota et al., [44] analizaron el efecto de aplicar una capa de recubrimiento de sílice con propiedades anti-reflexión y anti-suciedad para corroborar las propiedades. Para esto añadió una capa delgada del recubrimiento de sílice a un sustrato de vidrio sosa-cal. Con el uso de este recubrimiento se notó un aumento del 3,2% en la potencia de salida del sistema fotovoltaico, en comparación al control que fue la que no estaba cubierta [44].

Además, Wang et al., [45] desarrollaron una capa anti-reflexión y superhidrofoba (AR-S), para así reducir costos de limpieza y lograr aumentar el rendimiento de la generación de energía. Esta capa indicó una notable propiedad de auto limpieza y un mejoramiento de la producción de energía en un 10,1% [45].

2.1.3.1.2 Factores externos del panel

Los factores externos a los módulos fotovoltaicos se encuentran aspectos como la variación del clima, ángulo de inclinación y las sombras sobre el panel.

Efecto de las variaciones climáticas

Las variaciones climáticas que pueden afectar a los sistemas fotovoltaicos son la radiación solar y la temperatura ambiente. Cuando un panel fotovoltaico es sometido a variaciones climáticas repentinas o drásticas, el sistema puede indicar una variación de su punto máximo de potencia. Lo que genera una variación en la curva "Corriente - Voltaje" [46].

Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

El ángulo de inclinación del panel fotovoltaico incide en la radiación que llega a la superficie de este. Cuando el panel se sitúa de manera perpendicular en dirección al sol recibe la máxima radiación por un intervalo de tiempo, considerándose el ángulo óptimo. El ángulo de inclinación puede modificarse por factores como la latitud, radiación solar y el periodo de utilización [47], [48].

En el estudio de Fathabadi [49], propuso un nuevo seguidor solar bidireccional de alta precisión, que rastrea la dirección del sol. Sin embargo, hay un intervalo de error de solo 0,43°. Estos seguidores solares buscan disminuir totalmente las pérdidas debido a la inclinación fija que presenta el panel fotovoltaico. Los resultados de este trabajo indicaron que la implementación de este seguidor fueron del 19,1% al 30,2 % con respecto a los paneles fotovoltaicos sin seguidor solar [49].

Sombreado en la superficie del panel fotovoltaico

El efecto sombreado es causado cuando hay obstáculos que no permiten que llegue la luz al panel. Esto provoca una variación de voltaje y corriente en el sistema fotovoltaico. El sombreado se debe a formaciones de sombras producidas por elementos cercanos a los paneles como estructuras o agentes externos, árboles, casas, etc. El efecto de sombreado provoca pérdidas en la acumulación de energía, lo que provoca la reducción de potencia de salida y la eficiencia en la conversión de energía [50], [51].

2.2 ANÁLISIS NORMATIVA DEL ECUADOR

Ecuador incentiva la implementación de centrales de generación fotovoltaica mediante artículos de la Constitución de la República, la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE). Además, se establecen la regulación Nro. ARCERNNR 001/21 y la regulación Nro. ARCERNNR 002/21 que fijan condiciones de participación técnicas y comerciales de centrales de generación distribuida y de autoabastecimiento de energías renovables. Este marco regulatorio muestra la importancia que el Ecuador brinda al desarrollo sostenible y conservación del medio ambiente a través del uso de energías renovables en el sector eléctrico.

2.2.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

En los artículos 15 y 413 de Constitución de la República, describen la penuria de establecer políticas que permitan la conservación del medio ambiente. Además, se busca promover el uso de tecnologías amigables, no contaminantes y de bajo impacto:

“**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.” [52].

“**Art. 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.” [52].

2.2.2 LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (LOSPEE)

La LOSPEE tiene como objetivo “garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de ... sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Esta ley regula la promoción y ejecución de planes y proyectos con fuentes de energías renovables, y el establecimiento de mecanismos de eficiencia energética” [53].

Los artículos 26, 74 y 75, describen aspectos de eficiencia energética:

“**Art. 26.-** Energías renovables no convencionales. - El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía.”

“**Art. 74.- Objetivos.** - La eficiencia energética tendrá como objetivo general la obtención de un mismo servicio o producto con el menor consumo de energía. En particular, los siguientes:

1. Fomentar la eficiencia en la economía y en la sociedad en general, y en particular en el sistema eléctrico;

2. Promover valores y conductas orientados al empleo racional de los recursos energéticos, priorizando el uso de energías renovables;
3. Propiciar la utilización racional de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales;
4. Incentivar la reducción de costos de producción a través del uso eficiente de la energía, para promover la competitividad;
5. Disminuir el consumo de combustibles fósiles;
6. Orientar y defender los derechos del consumidor o usuario final; y,
7. Disminuir los impactos ambientales con el manejo sustentable del sistema energético.”

“**Art. 75.-** Establecimiento de políticas de eficiencia energética. - Las políticas y normas que se adopten por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, para el cumplimiento de los objetivos establecidos en esta materia, procurarán una mayor eficiencia en el aprovechamiento de las fuentes de energía y en el uso de la energía eléctrica por parte de los consumidores o usuarios finales. Dichas políticas deberán estar en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo.”

2.2.3 REGULACIÓN NRO. ARCERNNR 001/21

ARCERNNR-001/2021 nombrada “Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica.”. Esta regulación se puede aplicar a las empresas distribuidoras y para clientes regulados, que decidan instalar Sistemas de Generación Distribuida para el Autoabastecimiento (SGDA). Los SGDA podrán tener una capacidad máxima de salida de 1 MW en alto, medio y/o bajo voltaje, que se encuentren conectados a la red. Además, que la producción sea para consumo en su propio predio o dentro del área de concesión de una misma empresa distribuidora y en caso de que existan, se entregue posibles excedentes a la red.

Esta regulación establece que la central de autoabastecimiento puede ser de tipo solar, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz e hidroeléctrica. La misma determina:

- Las condiciones técnicas y comerciales para la instalación de sistemas de hasta 1 MW de capacidad AC;
- Los requisitos y procedimiento para la conexión a las redes de la empresa distribuidora y la autorización de instalación y operación del SGDA;
- Las condiciones para la medición;
- La operación en sincronismo con la red de distribución; y;

- El tratamiento comercial de la energía producida, de la energía consumida y eventuales excedentes de generación entregados al sistema de distribución.

Al estar conectado a la red el SGDA, La regulación permite realizar un balance energía mensual que se conoce como Net Metering, El balance se realiza entre la energía inyectada a la red y la consumida por el mismo predio. Para ello, se instala un medidor bidireccional que registre energía de entrada y de salida si el SGDA se encuentra en el mismo predio. Si el SGDA está ubicado en otro predio diferente el cliente se utiliza 2 medidores, uno para el SGDA y otro para el cliente.

2.2.4 REGULACIÓN NRO. ARCERNNR 002/21

ARCERNNR-002/2021 nombrada “Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación.”. Esta regulación establece las condiciones técnicas y comerciales que deben cumplirse en cuanto al desarrollo y operación de centrales de generación distribuida, de propiedad de empresas que sean habilitadas por el Ministerio Rector para ejecutar la actividad de generación. La regulación realiza un análisis de lo siguiente:

- Se considera como central de generación distribuida si la capacidad nominal de dicha central es igual o mayor a 100 kW y menor a 10 MW, y se encuentra conectada en las redes de distribución de nivel de voltaje menor o igual a 138 kV. La Central de Generación Distribuida deberá aprovechar energía renovable no convencional como fuente de energía y será construida, operada, mantenida y administrada por Empresas de generación distribuida Habilitadas.
- Las Centrales de generación distribuida podrán ser desarrolladas por: Empresas Eléctricas Públicas, Empresas Privadas, de la Economía Popular y Solidaria y de Economía Mixta. Los proyectos que se definan dentro del Plan Maestro de Electrificación (PME), serán asignados a las empresas eléctricas públicas por medio del ministerio Rector, de ser el caso de que no se realicen los proyectos por las empresas públicas, podrán ser elaborados por Empresas Privadas, de la Economía Popular y Solidaria y de Economía Mixta. Además, dichas empresas pueden proponer el desarrollo de una central de generación distribuida destinada a la venta de grandes consumidores o a la venta de la demanda regulada.
- Los aspectos que sobre la generación distribuida se considerarán en la planificación de los sistemas de distribución.
- El procedimiento y los requisitos para la solicitud, evaluación y otorgamiento de la factibilidad de conexión de las centrales de generación distribuida.

- Las consideraciones generales sobre la gestión y reversión de los bienes, sobre la implementación, despacho y operación y el tratamiento comercial de la energía de las centrales de generación distribuida.
- Las Distribuidoras implementarán las acciones que sean necesarias a fin de que puedan cumplir con las obligaciones con relación a la gestión de la información sobre generación distribuida.

3 METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CENTRALES FOTOVOLTAICAS

Para realizar el análisis del presente estudio, se consideran dos centrales fotovoltaicas residenciales que se describen a continuación:

3.1.1 CENTRAL FOTOVOLTAICA 1

La residencia 1 se encuentra ubicada en la parroquia de Puembo, en el Distrito Metropolitano de Quito, en la Figura 3.1 se muestra una imagen satelital del lugar y las coordenadas geográficas se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Coordenadas geográficas de la residencia 1 [Elaboración Propia].

Coordenadas Geográficas	
Latitud	-0,1725°
Longitud	-78,3643°
Altitud	2 410 m



Figura 3.1. Imagen Satelital de la ubicación de la residencia 1 [Elaboración Propia].

El domicilio cuenta con una central fotovoltaica para autoconsumo que se encuentra conectada a la red de distribución de la Empresa Eléctrica Quito, mediante un medidor bidireccional.

3.1.1.1 Características del Sistema Fotovoltaico

La central fotovoltaica 1 se constituye de los siguientes equipos:

- **Paneles fotovoltaicos**

La central está conformada por 21 paneles JKM405M-72H de la marca Jinko Solar, con una potencia de 405 vatios cada uno. El conjunto de paneles tiene una potencia instalada total de 8 505 vatios pico.

En la Tabla 3.2 se resumen los datos básicos de los módulos, la hoja de datos del panel fotovoltaico se encuentra en el Anexo A.

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas del módulo - JKM405M-72H [Elaboración Propia].

Parámetros	Valor [STC]
Potencia máxima [Pmax]	405 [Wp]
Voltaje a potencia máxima [Vmp]	42 [V]
Corriente a potencia máxima [Imp]	9,65 [A]
Voltaje de circuito abierto [Voc]	50,1 [V]
Corriente de cortocircuito [Isc]	10,48 [A]
Eficiencia del panel [%]	20,13 [%]

- **Inversores**

De igual manera la central consta de tres inversores Huawei SUN2000-2KTL-L1, con una potencia nominal de 2 000 vatios, con una capacidad instalada total de 6 kVA.

En la Tabla 3.3 se resumen los datos básicos de los inversores, la hoja de datos de los inversores de la central se encuentra en el Anexo B.

Tabla 3.3. Especificaciones técnicas del inversor - Huawei SUN2000-2KTL-L1
[Elaboración Propia].

Parámetros	Valor
Entrada CC	
Potencia máxima recomendada en CC	3 000 [Wp]
Voltaje máximo	600 [V]
Voltaje de puesta en marcha	100 [V]
Voltaje nominal	360 [V]
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas	2
Corriente máxima por MPPT	12,5 [A]
Salida CA	
Potencia nominal	2 000 [W]
Potencia aparente máxima	2 200 [VA]
Voltaje nominal	220 Vca / 230 Vca / 240 Vca
Frecuencia nominal	50 Hz / 60 Hz
Corriente máxima	10 [A]
Factor de potencia	0,8 atraso ... 0,8 adelanto
Eficiencia máxima	98,2 [%]

Esquema de Conexión

La configuración de la central consiste en un total de 21 paneles fotovoltaicos distribuidos en tres cadenas de 7 paneles en serie, cada una conectada a un inversor de 2 kW. Los tres inversores se conectan a nivel de 220 V con una conexión bifásica, al ser tres inversores se encuentra balanceado el sistema.

Para el estudio, se consideró que la central fotovoltaica ubicada en Puembo se puede analizar en 3 subconjuntos de similares características e independientes entre sí, cada uno está formado por un inversor y 7 paneles, con la misma inclinación y orientación entre subconjuntos. En la Tabla 3.4 se describe las características de cada subconjunto.

Tabla 3.4. Características técnicas por inversor de la central 1 [Elaboración Propia].

Especificaciones	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
Azimut	-173 [°]	-173 [°]	-173 [°]
Inclinación	6 [°]	6 [°]	6 [°]
Número de paneles	7	7	7
Número de inversores	1	1	1
Potencia CC	2 835 [Wp]	2 835 [Wp]	2 835 [Wp]
Potencia CA	2 000 [W]	2 000 [W]	2 000 [W]

En la Figura 3.2 se observa la conexión de los paneles a los inversores de la central fotovoltaica.

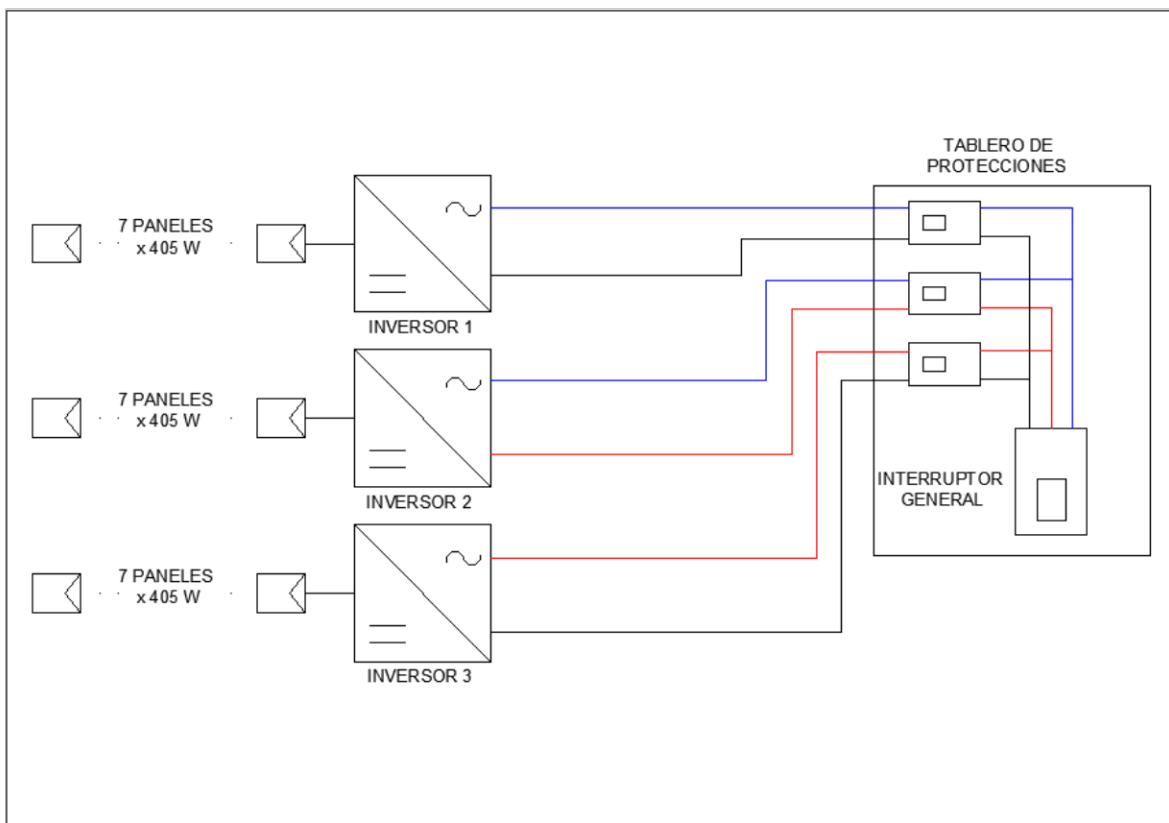


Figura 3.2. Configuración de la central fotovoltaica 1 [Elaboración Propia].

3.1.2 CENTRAL FOTOVOLTAICA 2

La residencia 2 se encuentra ubicada en la parroquia de Cumbayá, en el Distrito Metropolitano de Quito, en la Figura 3.3 se muestra una imagen satelital del lugar y las coordenadas geográficas se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Coordenadas geográficas de la residencia 2 [Elaboración Propia].

Coordenadas Geográficas	
Latitud	-0,1961°
Longitud	-78,4236°
Altitud	2 335 m

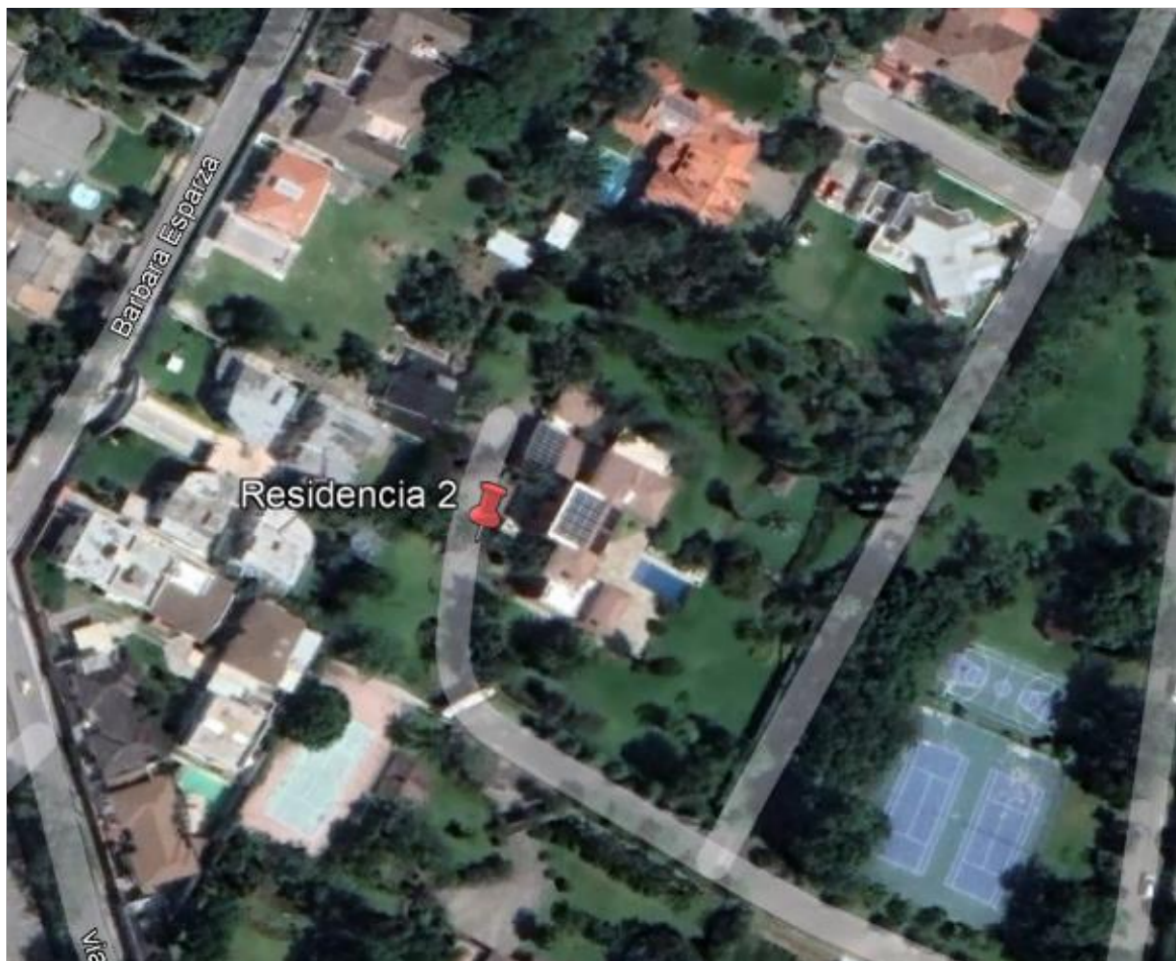


Figura 3.3. Imagen Satelital de la ubicación de la residencia 2 [Elaboración Propia].

El domicilio cuenta con una central fotovoltaica para autoconsumo que se encuentra conectada a la red de distribución de la Empresa Eléctrica Quito, mediante un medidor bidireccional.

3.1.2.1 Características del Sistema Fotovoltaico

La central fotovoltaica 2 se constituye de los siguientes equipos:

- **Paneles fotovoltaicos**

La central está conformada por 57 paneles JKM410M-72H de la marca Jinko Solar, con una potencia de 410 vatios cada uno. El conjunto de paneles tiene una potencia instalada total de 23 370 vatios pico.

En la Tabla 3.6 se resumen los datos básicos de los módulos, la hoja de datos del panel fotovoltaico se encuentra en el Anexo A.

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas del módulo - JKM410M-72H [Elaboración Propia].

Parámetros	Valor [STC]
Potencia máxima [Pmax]	410 [Wp]
Voltaje a potencia máxima [Vmp]	42,3 [V]
Corriente a potencia máxima [Imp]	9,69 [A]
Voltaje de circuito abierto [Voc]	50,4 [V]
Corriente de cortocircuito [Isc]	10,6 [A]
Eficiencia del panel [%]	20,38 [%]

- **Inversores**

De igual manera la central consta de tres inversores Huawei SUN2000-6KTL-L1, con una potencia nominal de 6 000 vatios, con una capacidad instalada total de 18 kVA.

En la Tabla 3.7 se resumen los datos básicos de los inversores, la hoja de datos de los inversores de la central se encuentra en el Anexo B.

Tabla 3.7. Especificaciones técnicas del inversor - Huawei SUN2000-6KTL-L1
[Elaboración Propia].

Parámetros	Valor
Entrada CC	
Potencia máxima recomendada en CC	9 000 [Wp]
Voltaje máximo	600 [V]
Voltaje de puesta en marcha	100 [V]
Voltaje nominal	360 [V]
Número de MPPT	2
Número máximo de entradas	2
Corriente máxima por MPPT	12,5 [A]
Salida CA	
Potencia nominal	6 000 [W]
Potencia aparente máxima	6 600 [VA]
Voltaje nominal	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac
Frecuencia nominal	50 Hz / 60 Hz
Corriente máxima	27,3 [A]
Factor de potencia	0,8 atraso ... 0,8 adelanto
Eficiencia máxima	98,4 [%]

Esquema de Conexión

La configuración de la central consiste en un total de 57 paneles fotovoltaicos distribuidos para cada inversor una cadena de 10 paneles en serie y una cadena de 9 paneles en serie, en total se conecta 19 paneles a cada inversor de 6 kW. Los tres inversores se conectan a nivel de 220 V con una conexión bifásica, al ser tres inversores se encuentra balanceado el sistema.

Los paneles fotovoltaicos se encuentran distribuidos en 2 áreas disponibles del domicilio, un área con inclinación fija de 9° y en la otra se construyó una estructura de acero de 6° de inclinación.

Para el estudio, se consideró que la central fotovoltaica se puede analizar en 3 subconjuntos de similares características e independientes entre sí, cada uno está formado

por un inversor y 19 paneles, con la misma orientación entre subconjuntos. En la Tabla 3.8 se describe las características de cada subconjunto.

Tabla 3.8. Características técnicas por inversor de la central 2 [Elaboración Propia].

Especificaciones	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
Azimut	-28 [°]	-28 [°]	-28 [°]
Inclinación	6 [°]	9 [°]	Combinado 6° y 9°
Numero de paneles	19	19	19
Numero de inversores	1	1	1
Potencia CC	7 790 [Wp]	7 790 [Wp]	7 790 [Wp]
Potencia CA	6 000 [W]	6 000 [W]	6 000 [W]

En la Figura 3.4 se observa la conexión de los paneles a los inversores de la central fotovoltaica.

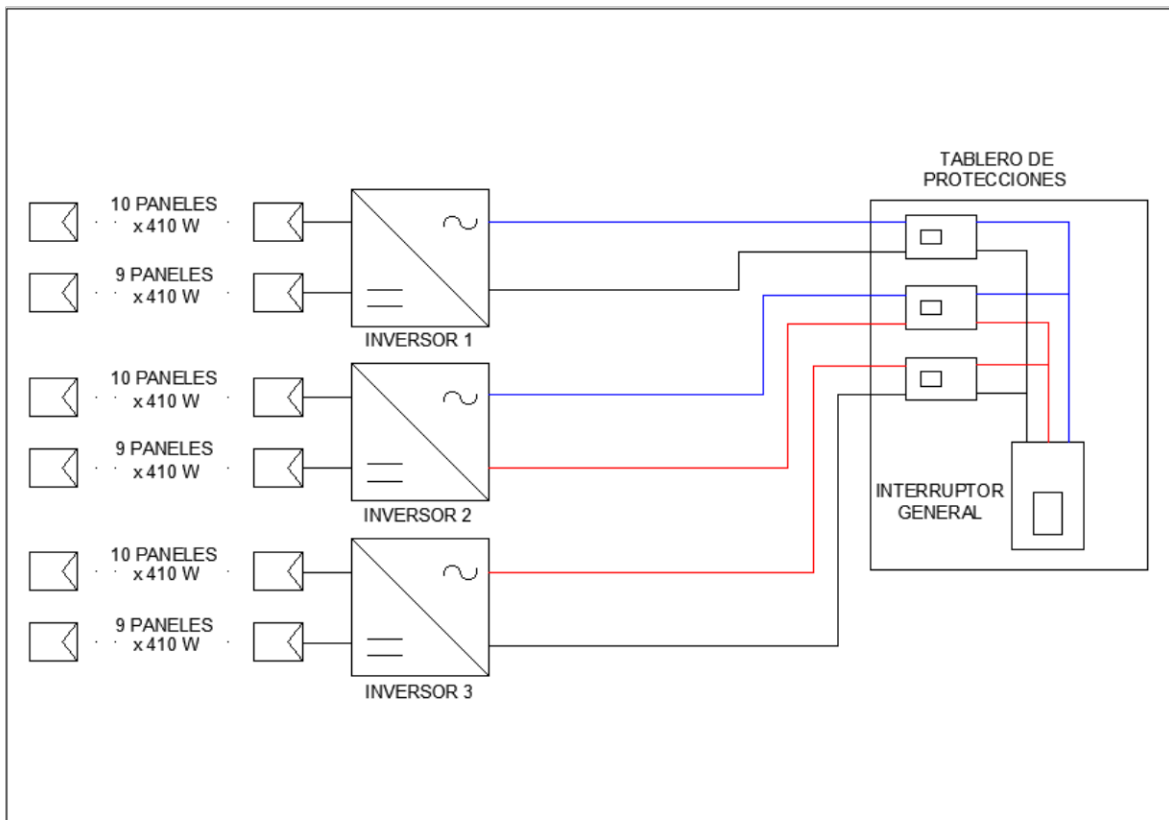


Figura 3.4. Configuración de la central fotovoltaica 2 [Elaboración Propia].

3.2 MEDICIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para determinar la incidencia de los factores de sombra, suciedad e inclinación en la generación de energía eléctrica, se realizaron pruebas en las dos centrales fotovoltaicas.

Debido a la configuración y diseño de cada central, para el análisis de la suciedad y sombra, se utilizó como sistema fotovoltaico de estudio a la central fotovoltaica ubicada en Puembo, mientras que, para el análisis de la inclinación se utilizó la central fotovoltaica ubicada en Cumbayá.

A continuación, se describe las pruebas realizadas para cada factor en estudio.

3.2.1 SUCIEDAD

Para el análisis de la suciedad, se estableció tres escenarios de suciedad para cada subconjunto de la central 1, los escenarios planteados fueron: sin suciedad, con 20 gramos de polvo por m^2 y con 40 gramos de polvo por m^2 , tal como se muestra en la Tabla 3.9. Estos valores fueron tomados como referencia del estudio realizado por Y. Ota [43] en la cual fueron previamente analizados.

Tabla 3.9. Escenarios para el análisis de Suciedad [Elaboración Propia].

Factor	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
Suciedad	Sin Suciedad	20 g/m ²	40 g/m ²

Este análisis se lo realiza por un periodo de 7 días, recopilando las mediciones de generación de energía eléctrica a diario. En la Figura 3.5 se puede observar que hay tres cadenas de paneles, cada una con diferente grado de suciedad. En la Figura 3.6 se muestra los paneles cubiertos con 20 g/m² de polvo, mientras que en la Figura 3.7 se observa los paneles cubiertos con 40 g/m² de polvo.



Figura 3.5. Central fotovoltaica 1, escenarios de suciedad [Elaboración Propia].



Figura 3.6. Panel con 20 g/m² de polvo [Elaboración Propia].



Figura 3.7. Panel con 40 g/m² de polvo [Elaboración Propia].

3.2.2 SOMBRA

Para el análisis de sombreado al igual que para la suciedad, se estableció tres escenarios de sombras para cada subconjunto de la central 1, estos escenarios fueron: sin sombreado, con 2% de sombreado del área del panel y 4% de sombreado. En la Tabla 3.10 se puede observar los escenarios establecidos.

Tabla 3.10. Escenarios para el análisis de Sombras [Elaboración Propia].

Factor	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
Sombra	Sin Sombra	2% área sombreada	4% área sombreada

Este análisis se lo realiza por un periodo de 7 días, recopilando las mediciones de generación de energía eléctrica a diario. En la Figura 3.8 se muestra cómo se cubrió el 2% del área de los paneles, mientras que en la Figura 3.9 se observa cómo se cubrió el 4% del área de los paneles.



Figura 3.8. Sombreado del 2% del área de los paneles [Elaboración Propia].



Figura 3.9. Sombreado del 4% del área de los paneles [Elaboración Propia].

3.2.3 INCLINACIÓN

Para el análisis de inclinación, se aprovecharon las diferentes inclinaciones que tienen los subconjuntos 1 y 2 de la central fotovoltaica (inclinaciones típicas de centrales fotovoltaicas en la región) ubicada en Cumbayá, como se puede apreciar en la Tabla 3.8. De esta forma se puede analizar la incidencia de la del factor inclinación sobre la producción de energía eléctrica de cada subconjunto. Para este análisis se recopiló las mediciones de generación de energía eléctrica de un período de 9 días.

En la Figura 3.10 se aprecia los paneles fotovoltaicos sobre el techo de la casa de la central fotovoltaica.



Figura 3.10. Paneles fotovoltaicos sobre cubierta con inclinación de 9° [Elaboración Propia].

3.3 USO DEL SOFTWARE PVSYST PARA EL MODELAMIENTO

Para la modelación de los sistemas fotovoltaicos se utiliza el software PVsyst versión 7.2, el mismo que nos permite modelar tanto sistemas fotovoltaicos conectados a una red, como sistemas fotovoltaicos aislados o independientes, como se muestra en la Figura 3.11.

Para cada simulación, se modela un caso de estudio tomando en cuenta los parámetros de cada central fotovoltaica detallados en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. Escenarios para simulación en el programa PVsyst

Caso de Estudio	Azimut	Inclinación	Suciedad	Sombreado	Número de paneles	Número de inversores
Caso 1	-28 [°]	6 [°]	-	-	19	1
Caso 2	-28 [°]	9 [°]	-	-	19	1
Caso 3	-173 [°]	6 [°]	-	-	7	1
Caso 4	-173 [°]	6 [°]	16%	-	7	1
Caso 5	-173 [°]	6 [°]	31%	-	7	1
Caso 6	-173 [°]	6 [°]	-	-	7	1
Caso 7	-173 [°]	6 [°]	-	2%	7	1
Caso 8	-173 [°]	6 [°]	-	4%	7	1



Figura 3.11. Interfaz principal del Software PVSyst [Elaboración Propia].

Para simular las centrales fotovoltaicas en estudio, se selecciona la opción de proyectos conectados a la red, dentro del programa se puede ubicar el sitio exacto de un proyecto mediante un mapa interactivo o ingresando los datos de las coordenadas geográficas. En la Figura 3.12 se muestra la ubicación de la central 1 utilizando el mapa interactivo.

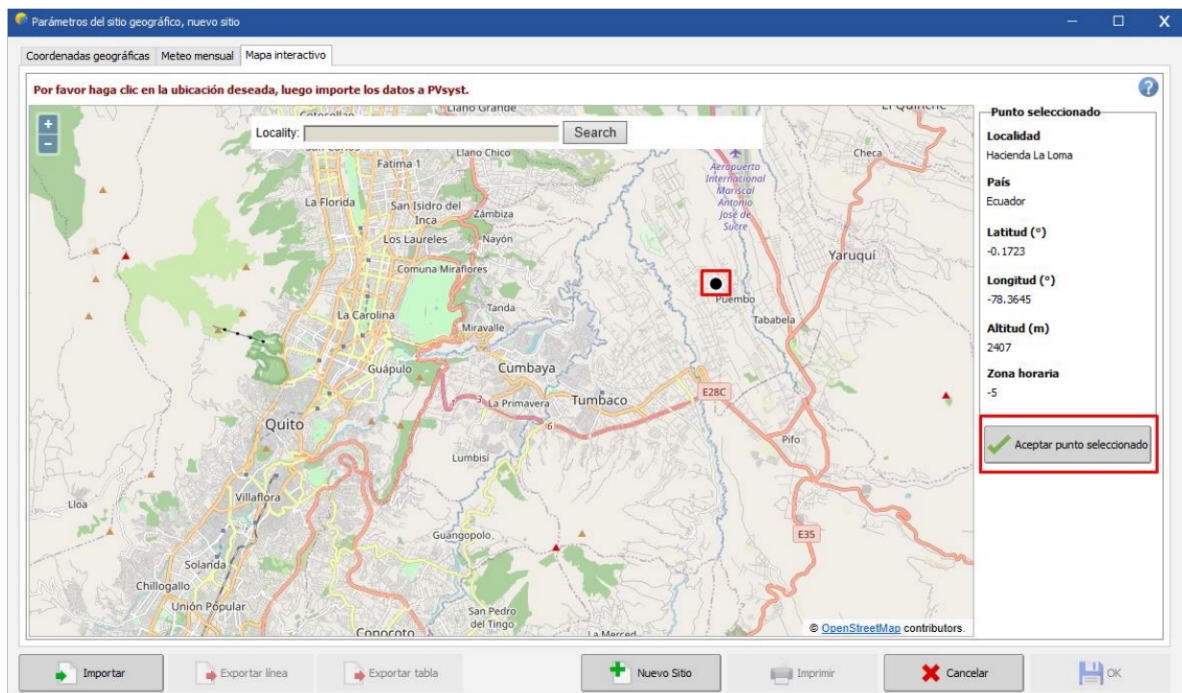


Figura 3.12. Mapa interactivo para ubicar geográficamente el proyecto [Elaboración Propia].

El software PVSyst tiene acceso a varias bases meteorológicas que recopilan información de estaciones meteorológicas distribuidas por todo el mundo. En la Figura 3.13 se observa

la recopilación de información mensual como: irradiación global, irradiación difusa, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento. El software también permite ingresar esta información de manera manual.

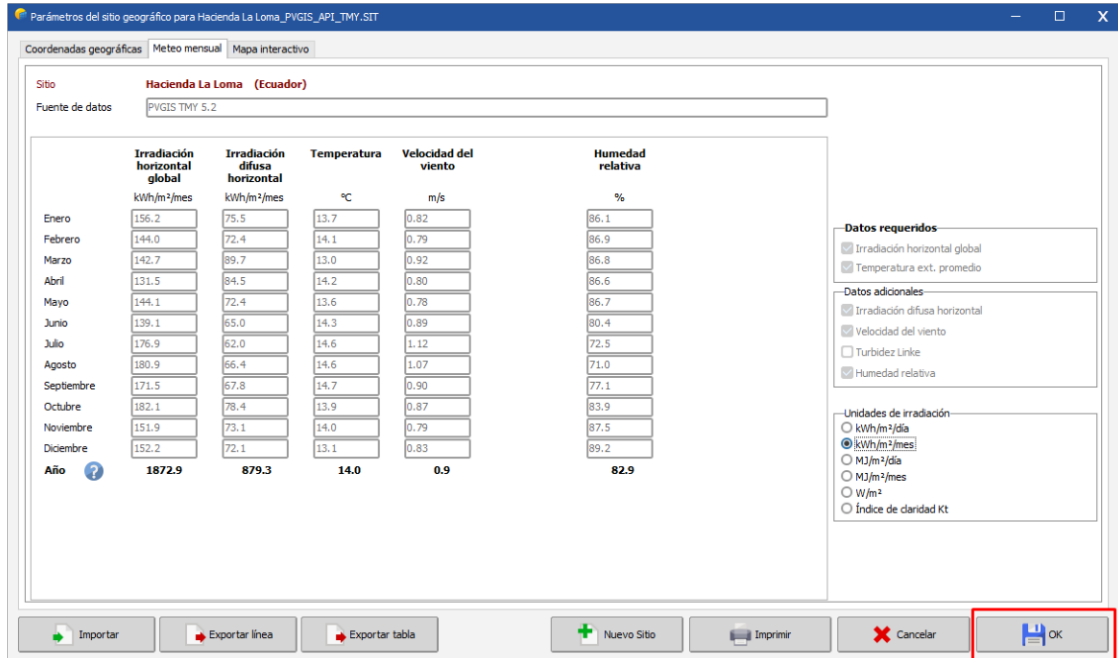


Figura 3.13. Datos meteorológicos de la ubicación del proyecto importados a PVSyst [Elaboración Propia].

Para la modelación de las centrales en estudio, se prioriza los parámetros principales que son la orientación, datos técnicos del sistema, pérdidas detalladas y sombreados cercanos. En la Figura 3.14 se resaltan los parámetros a modelar.

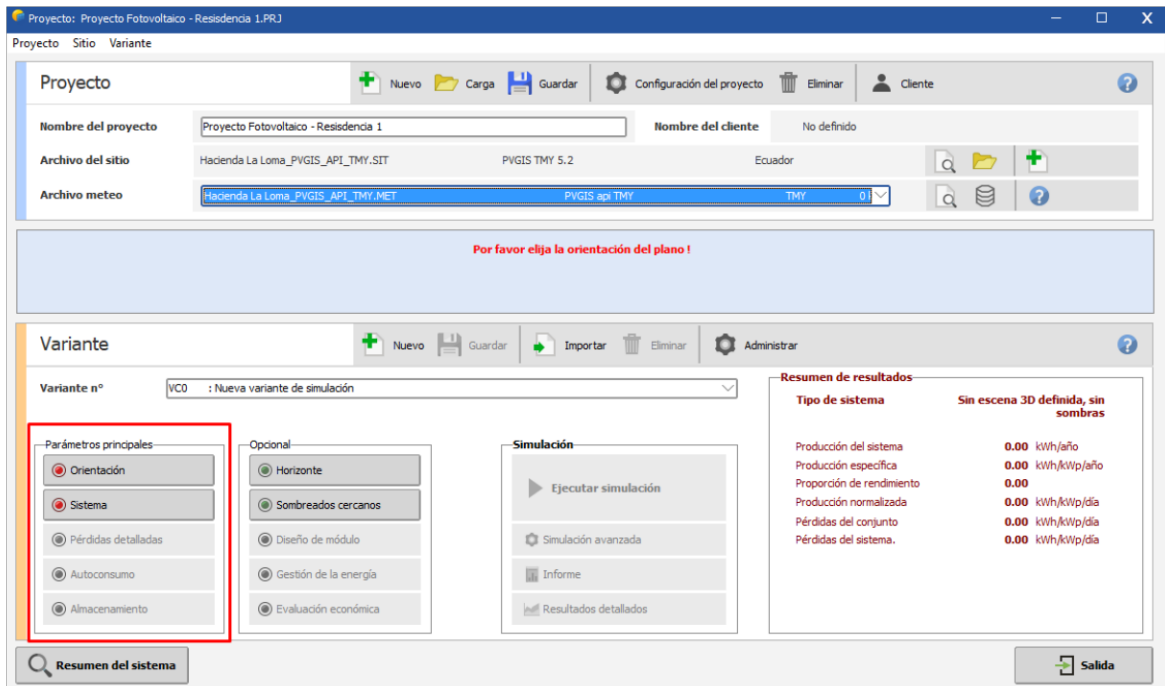


Figura 3.14. Interfaz de diseño de un proyecto [Elaboración Propia].

Dentro de los parámetros de orientación, como se puede observar en la Figura 3.15 se puede ingresar el tipo de inclinación, la inclinación del plano y el azimut. En el programa el ángulo azimut tiene las siguientes definiciones:

En el hemisferio norte, el azimut se define como el ángulo entre el sur y la orientación del plano del panel. Este ángulo se toma como negativo hacia el este.

En el hemisferio sur, el azimut se define como el ángulo entre el norte y la orientación del plano del panel. Este ángulo se toma como negativo hacia el este.

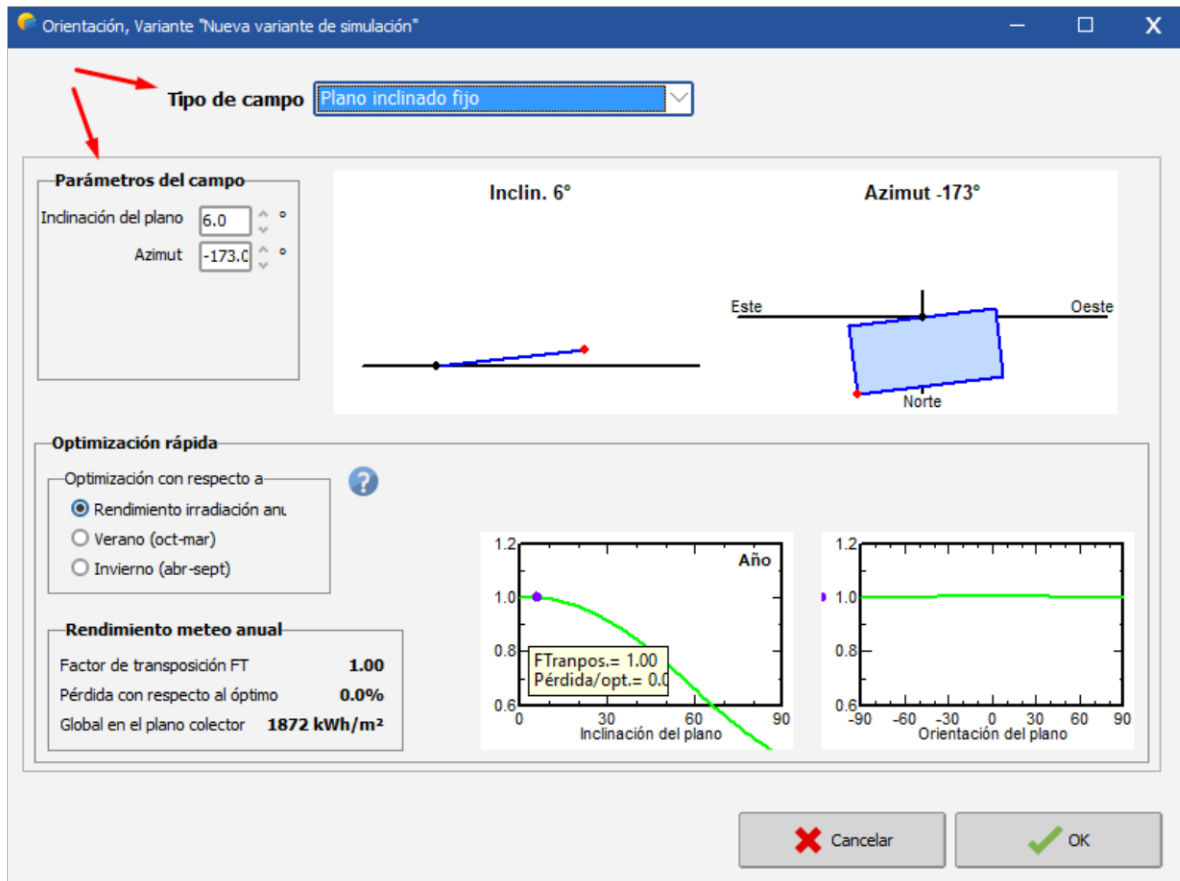


Figura 3.15. Interfaz de Orientación de los paneles [Elaboración Propia].

En la Figura 3.16 se observa la configuración de los parámetros técnicos del sistema, se escoge el modelo y marca del módulo fotovoltaico e inversor utilizados, también se selecciona el número de inversores y la configuración de conexión de los paneles solares. Además, si se diseña un nuevo proyecto el software tiene una herramienta de ayuda de dimensionamiento que indica la distribución más recomendable para la conexión de los módulos fotovoltaicos.

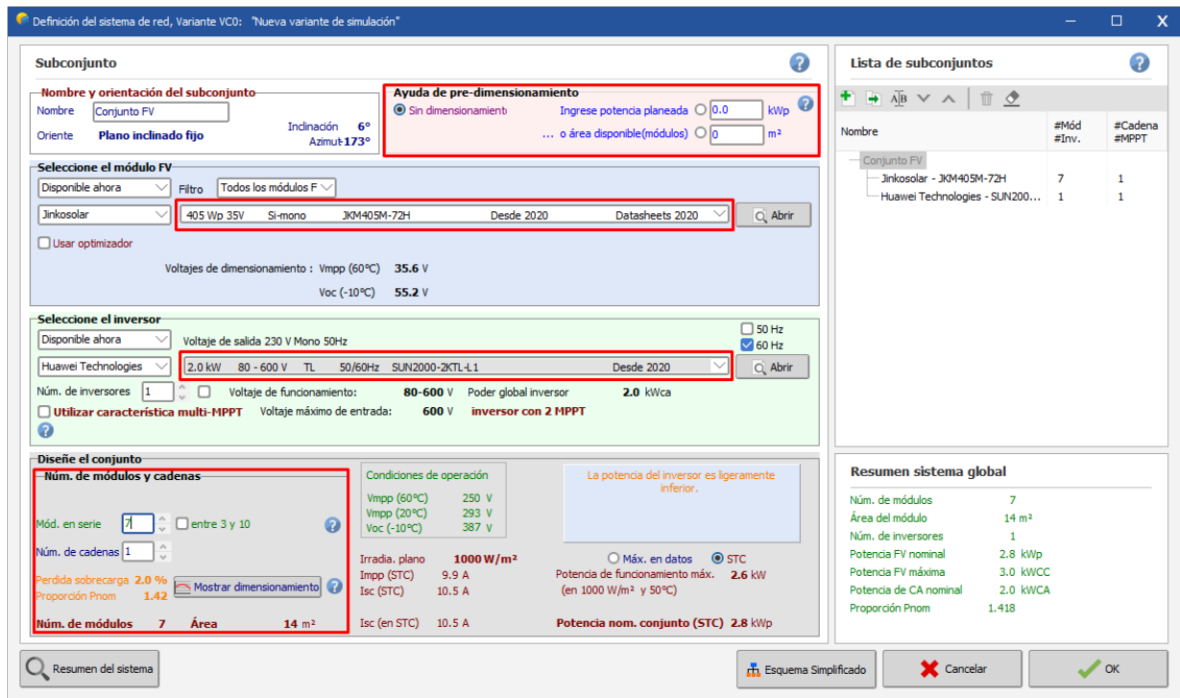


Figura 3.16. Interfaz de parametrización del proyecto fotovoltaico [Elaboración Propia].

Dentro de los parámetros por pérdidas, los más utilizados son las pérdidas óhmicas, pérdidas de suciedad y pérdidas térmicas, en la Figura 3.17 se observa que el software define valores por defecto para estas pérdidas, sin embargo, se puede ingresar datos por el usuario, sí se dispone de información más precisa.

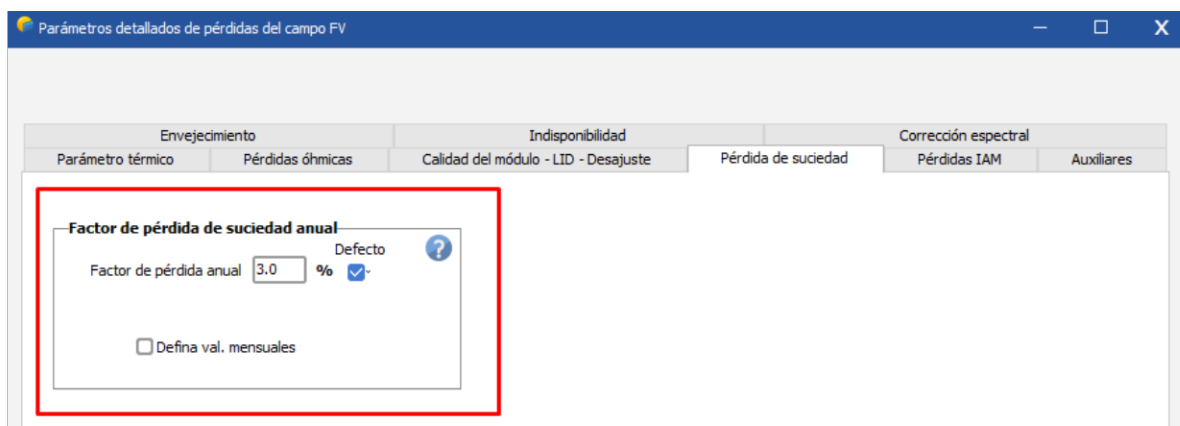


Figura 3.17. Configuración del factor de pérdidas [Elaboración Propia].

Para la modelación de sombras como se muestra en la Figura 3.18, el software PVSyst tiene la herramienta de construcción de escenarios en 3D, nos permite representar de manera aproximada el entorno cercano al proyecto fotovoltaico, con el fin de precisar los sombreados que puedan afectar a la central.

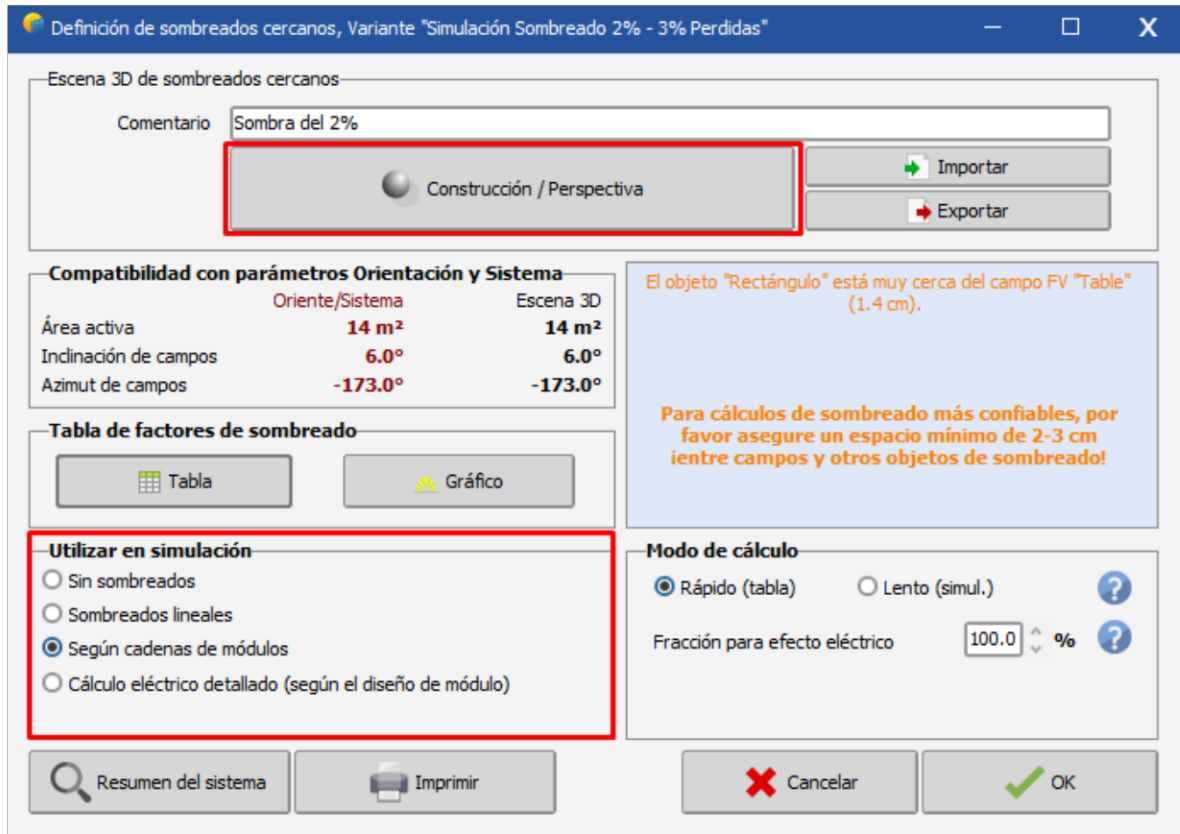


Figura 3.18. Interfaz de sombreados cercanos al proyecto [Elaboración Propia].

Por último, después de ingresar los parámetros necesarios para el modelamiento del proyecto fotovoltaico se procede a ejecutar la simulación, el software cuenta con una simulación predeterminada en la cual calcula la producción energética anual del proyecto. En la Figura 3.19 se aprecia que hay la opción de simulación avanzada que analiza con más detalle la producción energética del proyecto.

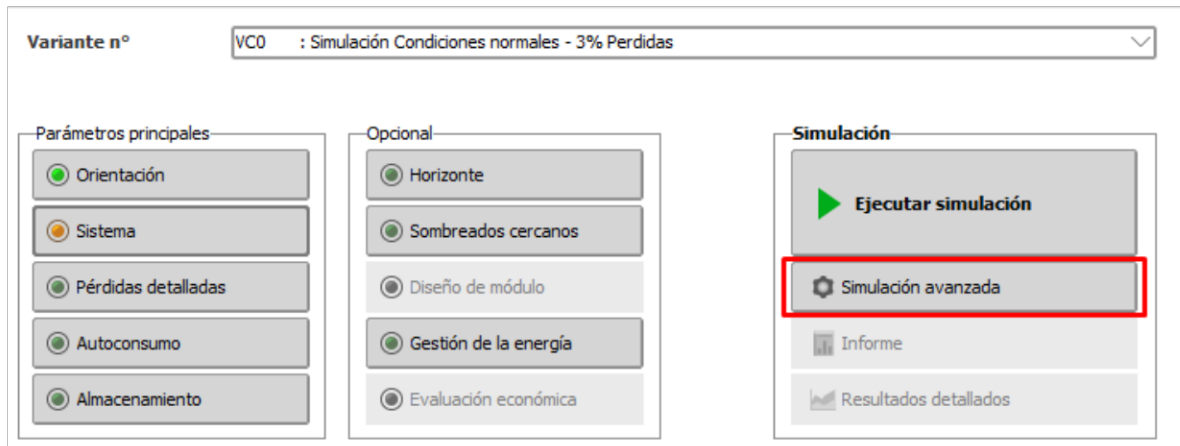


Figura 3.19. Sección de Simulación avanzada [Elaboración Propia].

Al ser más específica la simulación avanzada, resulta útil para el presente estudio debido a que nos ayuda a comparar la producción energética en cortos periodos de tiempo. En la Figura 3.20 nos muestra que existen gráficas predefinidas que facilitan el análisis de la producción energética además de generar un informe detallando la información simulada.

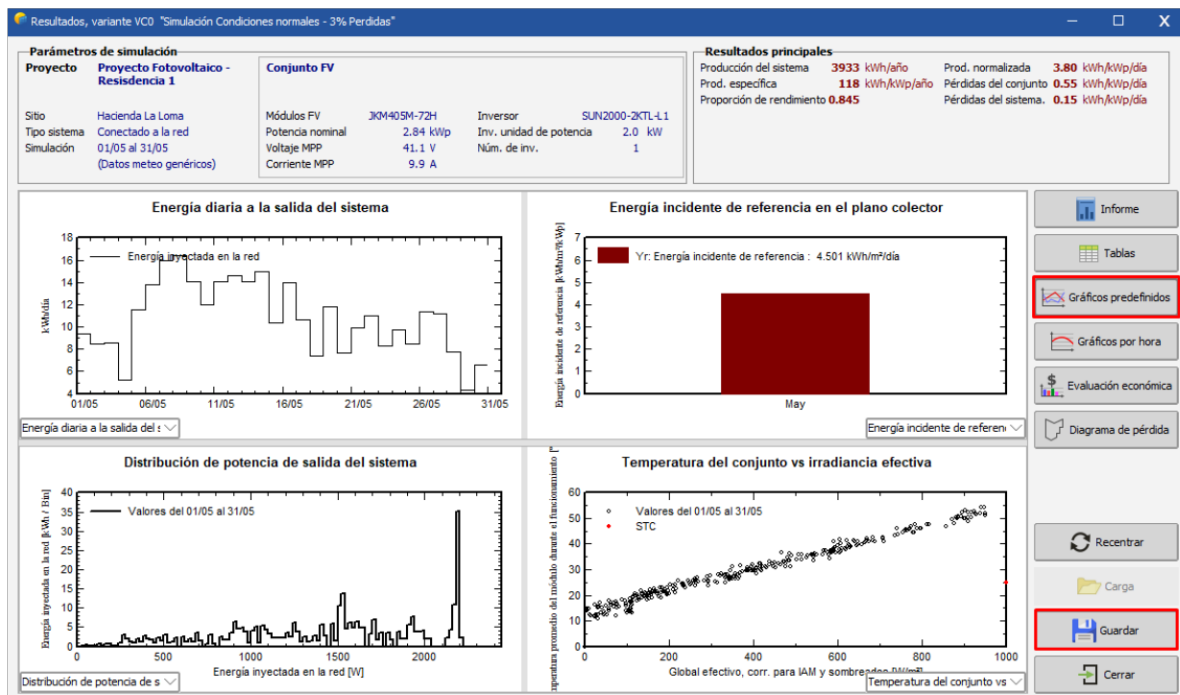


Figura 3.20. Interfaz de Resultados [Elaboración Propia].

3.4 MÉTODOS DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS

Los inversores Huawei cuentan con conexión wifi para enlazarse con la aplicación FusionSolar. La información en campo se obtuvo del monitoreo de la central fotovoltaica mediante la aplicación a la cual se puede acceder desde un computador o dispositivo móvil. Además, la aplicación almacena mediciones de variables como Voltaje, Corriente, Potencia y energía generada que entran y salen del inversor.

La información de la simulación se obtuvo del software PVSyst generando reportes de los resultados para cada escenario simulado. Se puede obtener una gran variedad de datos, entre los más importantes están la energía incidente los paneles y la energía inyectada a la red.

Se registro los datos obtenidos de la información en campo y de las simulaciones realizadas en Microsoft Excel®, los valores registrados se presentan en el Anexo C. Posteriormente, el análisis estadístico se efectuó en Stata 14. (StataCorp. 2015. Stata Statistical Software: Release 14. College Station, TX: StataCorp LP).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previamente al desarrollo del experimento se realizó un análisis del coeficiente de variación entre los 3 subconjuntos de la central 1 utilizados para el estudio, en los cuales los valores obtenidos se distribuyeron de manera normal y se utilizó una prueba ANOVA para ver la correlación entre los 3 subconjuntos teniendo como resultado que las medias de los inversores son iguales entre sí con una $p = 0,9999$. Los resultados de medias de cada inversor se observan en la Tabla 4.1 y su distribución en una gráfica de cajas se observa en la Figura 4.1, donde se observan que los 3 subconjuntos generan la misma cantidad de energía eléctrica.

Tabla 4.1. Resumen de la media de energía eléctrica generada por los inversores [Elaboración Propia].

Subconjuntos	Días	Media	Desviación Estándar	Min	Max	ANOVA
Inversor 1	7	11,667	± 2,876	6,210	15,160	$p = 0,9999 †$
Inversor 2	7	11,650	± 2,885	6,200	15,190	
Inversor 3	7	11,736	± 2,898	6,270	15,290	

† Test que prueba que no hay diferencia

* $p < 0,05$

En la Figura 4.1 se observa un diagrama de cajas, el cual muestra una generación uniforme en los 3 inversores utilizados para el estudio. No existe variación significativa entre la energía eléctrica generada por los diferentes subconjuntos.

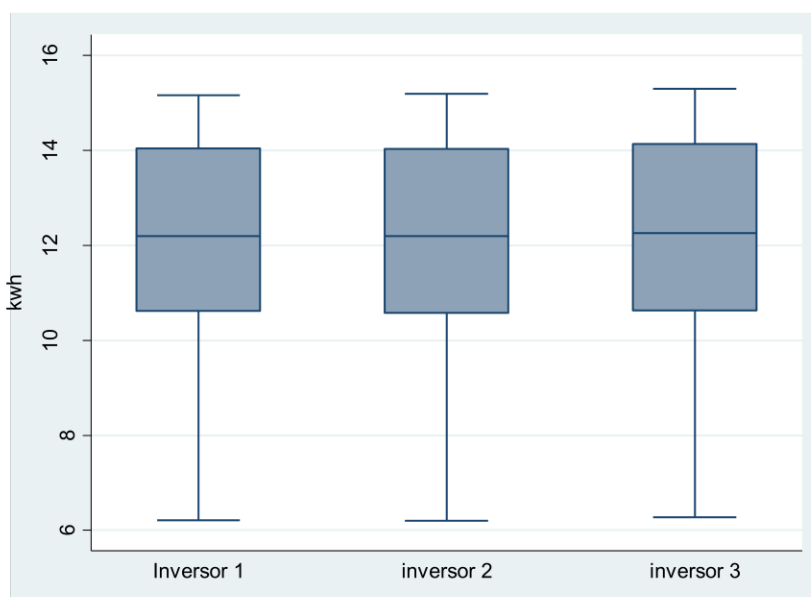


Figura 4.1. Dispersión de la generación de los 3 inversores [Elaboración Propia].

El análisis estuvo constituido por 3 subconjuntos previamente estandarizados, de los cuales se recolectó la energía eléctrica producida en diferentes condiciones:

- Suciedad (control sin suciedad, 20 g/m² de suciedad y 40 g/m² de suciedad)
- Sombra (control sin sombra, sombra de 2% del inversor, 4% del inversor)
- Inclinación (6° y 9°).

Estos factores fueron medidos en media de producción diarias por 7 días o más.

4.1 ANÁLISIS DE LA SUCIEDAD

Para medición en campo de la suciedad se obtuvieron 3 datos diarios de energía generada, tanto en medición en campo como en simulación:

- Inversor 1: Panel solar control sin suciedad
- Inversor 2: Panel solar con 20 g/m² de suciedad
- Inversor 3: Panel solar con 40 g/m² de suciedad

Para la interpretación de los datos y posterior comparación de los paneles solares con suciedad fue necesario diariamente obtener el porcentaje de pérdida (%P) con las siguientes ecuaciones:

- Porcentaje de rendimiento del panel solar con 20 g/m² de suciedad.

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar con } 20g/m^2 \text{ de suciedad}}{kWh \text{ Panel solar control sin suciedad}} \times 100 \quad (4.1)$$

- Porcentaje de rendimiento del panel solar con 40 g/m² de suciedad.

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar con } 40g/m^2 \text{ de suciedad}}{kWh \text{ Panel solar control sin suciedad}} \times 100 \quad (4.2)$$

El mismo procedimiento se realizó con la simulación. En el programa de simulación PVSyst fue necesario ajustar los porcentajes de pérdida por suciedad con los siguientes parámetros 16% de pérdida en caso de 20 g/m² de suciedad y 31% de pérdida en caso de 40 g/m² de suciedad. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo C.

Los valores recopilados por suciedad medida en campo y simulada con 20 g/m² (16% de pérdida) no cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para la comparación de diferencia de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una p = 0,0104 lo cual nos explica que los resultados

son estadísticamente significativos, esto quiere decir que la simulación estima una media de 11% más de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, subestima la capacidad de generación de energía del panel solar en un 11% al tener 20 g/m² de suciedad. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.2 y en la Figura 4.2.

Con relación a la suciedad medida en campo y simulada con 40 g/m² (31% de pérdida) los datos no cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para la comparación de diferencia de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una p = 0,0116 lo cual nos explica que los resultados son estadísticamente significativos, esto quiere decir que la simulación estima una media de 22% más de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, subestima la capacidad de generación de energía del panel solar en un 22% al tener 40 g/m² de suciedad. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.2 y en la Figura 4.3.

Tabla 4.2. Resumen de la media del porcentaje de pérdida por suciedad en los 2 grupos [Elaboración Propia].

Suciedad* (g/m ²)	Días	Media (%)	Desviación Estándar	Min	Max	p valor
20 g/m² de Suciedad						p = 0,0104** ϕ
Medición en Campo	8	2%	± 6%	-1%	16%	
Simulación	8	13%	±0,4%	12%	13%	
Porcentaje de Diferencia		-11% (IC***: -15% a -7%)				
40 g/m² de Suciedad						p = 0,0116** ϕ
Medición en Campo	8	5%	±11%	1%	31%	
Simulación	8	28%	±0,7%	27%	29%	
Porcentaje de Diferencia		-22% (IC***: -30% a -14%)				

ϕ Prueba U de Mann-Whitney

*aproximadamente 16% de pérdida

**p<0,05

***IC: Intervalo de Confianza al 95%

En la Figura 4.2 se puede observar el grupo de paneles solares con 20 g/m² de suciedad y los 2 tipos de mediciones (Medición en campo y simulación) en relación con el porcentaje de pérdida.

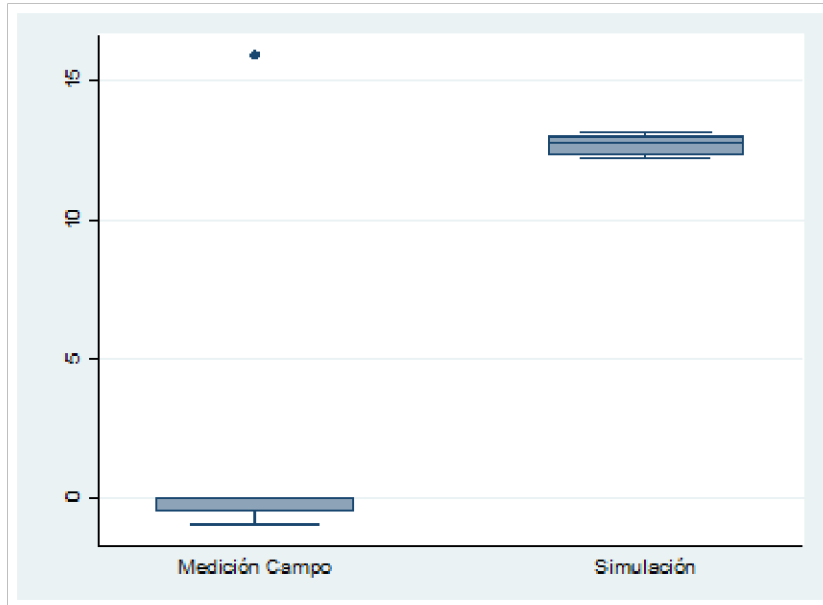


Figura 4.2. Dispersión del porcentaje de pérdida de energía con 20 g/m² de suciedad [Elaboración Propia].

En la Figura 4.3 se observa el grupo de paneles solares ensuciados con 40 g/m² de suciedad y los 2 tipos de mediciones (medición en campo y simulación) en relación con el porcentaje de pérdida.

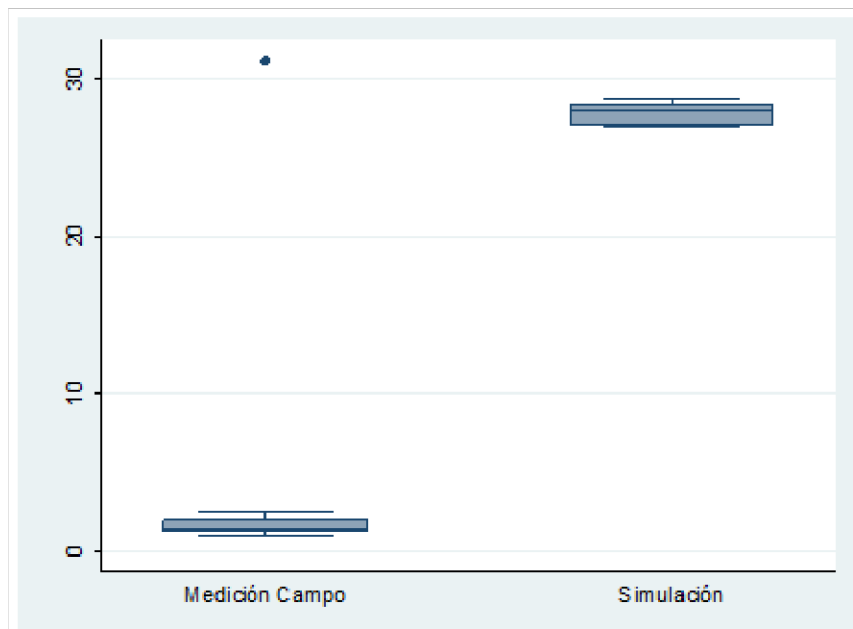


Figura 4.3. Dispersión del porcentaje de pérdida de energía con 40 g/m² de suciedad [Elaboración Propia].

4.2 ANÁLISIS DE LA SOMBRA

Para medición en campo de la sombra se obtuvieron 3 datos diarios de energía generada tanto en medición en campo como en simulación:

- Inversor 1: Panel solar control sin sombra
- Inversor 2: Panel solar con 2% de sombra
- Inversor 3: Panel solar con 4% de sombra

Para la interpretación de los datos y posterior comparación de los paneles solares con sombra fue necesario diariamente obtener el porcentaje de pérdida (%P) con las siguientes ecuaciones:

- Porcentaje de rendimiento del panel solar con 2% de sombra.

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar con } 2 \% \text{ de Sombra}}{kWh \text{ Panel solar control sin sombra}} \times 100 \quad (4.3)$$

- Porcentaje de rendimiento del panel solar con 4% de sombra.

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar con } 4 \% \text{ de Sombra}}{kWh \text{ Panel solar control sin sombra}} \times 100 \quad (4.4)$$

El mismo procedimiento se realizó con la simulación. Los cálculos realizados se pueden observar en el Anexo C.

Con relación a la sombra medida en campo y simulada al 2% los datos no cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para la comparación de diferencia de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una $p = 0,0009$ lo cual nos explica que los resultados son estadísticamente significativos, esto quiere decir que la simulación estima una media de 10% menos de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, sobreestima la capacidad de generación de energía eléctrica al tener sombra que cubra 2% del área de un panel solar. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.3 y en la Figura 4.4.

Con relación a la Sombra medida en campo y simulada al 4% los datos cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba estadística t-Student para la comparación de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una $p = 0,242$ lo cual nos explica que los resultados no son estadísticamente significativos, esto quiere decir que no existe diferencia entre los grupos, por lo tanto, los resultados de la simulación de la generación de energía eléctrica al tener sombra que cubra 4% del área de un panel

solar es igual a la medición en campo. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.3. En la Figura 4.4 se puede observar una distribución más uniforme en la medición en campo.

Tabla 4.3. Resumen de la media del porcentaje de pérdida por sombra en los 2 grupos [Elaboración Propia].

Porcentaje de pérdida (%p)	Días	Media (%)	Desviación Estándar	Min	Max	p valor
Sombra al 2%						p = 0,0009* ϕ
Medición en Campo	9	24%	±2%	22%	29%	
Simulación	9	14%	±5%	6%	23%	
Porcentaje de Diferencia		10% (IC**: 6% a 14%)				
Sombra al 4%						p = 0,242†
Medición en Campo	6	43%	±1%	42%	45%	
Simulación	9	41%	±11%	23%	57%	
Porcentaje de Diferencia		2% (IC**: -6% a 11%)				

† Prueba T-Student

ϕ Prueba U de Mann-Whitney

*p<0,05 / **IC: Intervalo de Confianza al 95%

En la Figura 4.4 se muestra los 2 grupos de sombra (2% y al 4%) y la comparación entre la medición en campo y la simulación en relación con el porcentaje de pérdida.

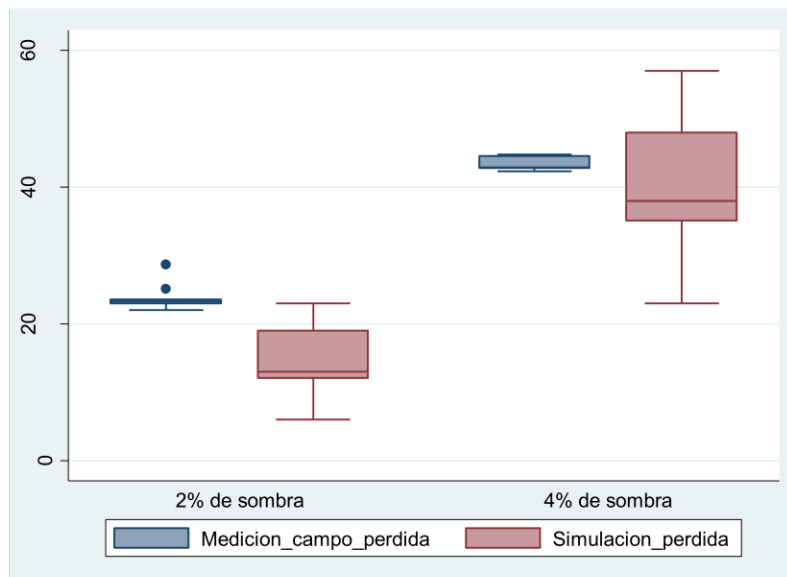


Figura 4.4. Dispersión del porcentaje de pérdida de energía para los dos escenarios de sombras [Elaboración Propia].

4.3 ANÁLISIS DE LA INCLINACIÓN

Para medición en campo de la inclinación se obtuvieron 2 datos diarios de generación de energía eléctrica tanto en medición en campo como en simulación:

- Inversor 1: Panel solar con 6° de inclinación.
- Inversor 2: Panel solar con 9° de inclinación.

Las mismas angulaciones se utilizaron en la simulación.

Los datos obtenidos de la inclinación a 6° medida en campo y simulada cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba estadística t-Student para la comparación de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una $p = 0,9972$ lo cual nos explica que los resultados no son estadísticamente significativos, esto quiere decir que no existe diferencia entre los grupos. La simulación presenta una media de energía producida igual a la medida por el panel solar cuando esta inclinado a 6°. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.4 y en la Figura 4.5.

Los resultados de la inclinación a 9° medida en campo y simulada cumplieron criterios de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) por lo cual se utilizó la prueba estadística t-Student para la comparación de medias de los dos grupos. Teniendo como resultado una $p = 0,9495$ lo cual nos explica que los resultados no son estadísticamente significativos, esto quiere decir que no existe diferencia entre los grupos. La simulación presenta una media de energía producida igual a la medida por el panel solar cuando esta inclinado a 9°. Los resultados se pueden observar en la Tabla 4.4 y en la Figura 4.5.

Tabla 4.4. Resumen de la media de energía generada con respecto a los 2 tipos de inclinaciones en los 2 grupos [Elaboración Propia].

Inclinación	Días	Media (kWh)	Desviación Estándar	Min	Max	p valor
6 grados						
Medición en Campo	14	25,8	± 1,4	16,9	35,6	p = 0,9972 †
Simulación	14	25,8	± 1,4	16,6	35,2	
Diferencia en kWh		0.0 (IC**: -4 a 4)				
9 grados						
Medición en Campo	14	26	±5,3	17	36,6	p = 0,9495 †
Simulación	14	25,9	±5,3	16,6	35,4	
Diferencia en kWh		0.1(IC**: -4 a 4)				

† Prueba T-Student

* $p < 0,05$ / **IC: Intervalo de Confianza al 95%

En la Figura 4.5 se puede ver el grupo de paneles solares inclinados a 6° - 9° y los 2 tipos de mediciones (medición en campo y simulación) en relación con la energía generada en 14 días.

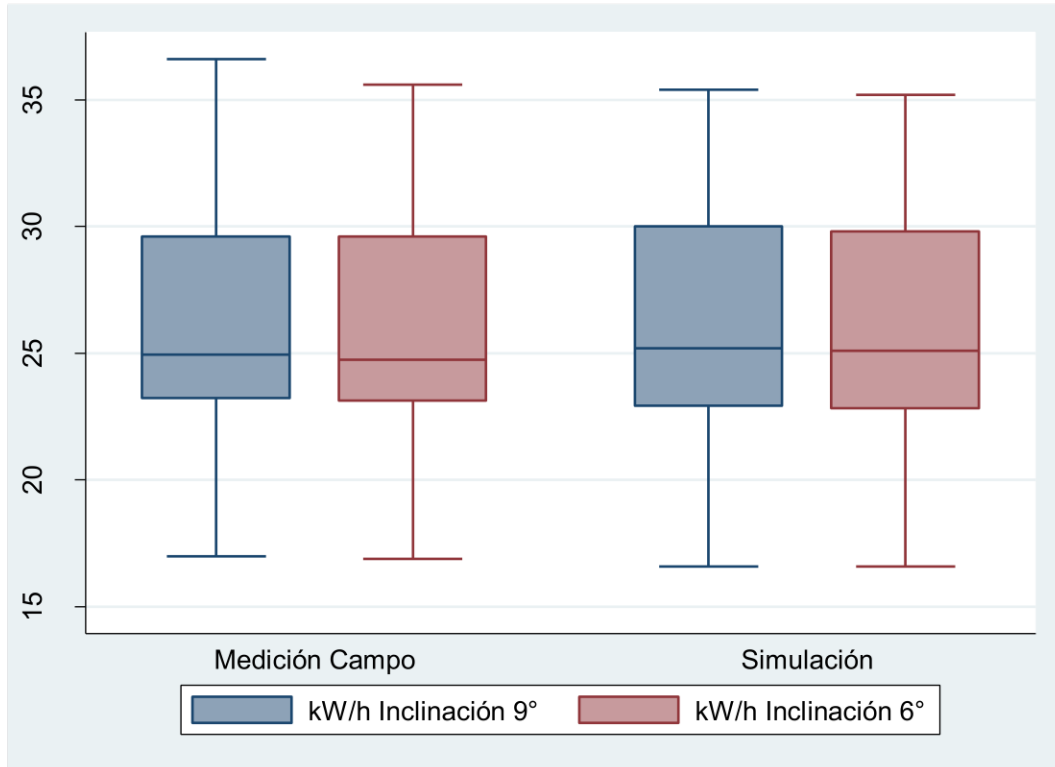


Figura 4.5. Dispersión del porcentaje de pérdida de energía para los dos escenarios de inclinación [Elaboración Propia].

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Al Modelar los factores que condicionan la generación de energía (sombra, suciedad e Inclinación) obtuvimos que:

En cuanto al análisis de la sombra:

- La simulación en el programa PVSyst estima una media de 10% menos de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, sobreestima la capacidad de generación de energía 10% al tener sombra que cubra 2% del área de un panel solar.
- La simulación en el programa PVSyst sobre la generación de energía al tener sombra que cubra 4% del área de un panel solar presenta porcentajes de pérdida iguales a la medición en campo.

En cuanto al análisis de la suciedad:

- La simulación en el programa PVSyst estima una media de 11% más de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, subestima la capacidad de generación de energía del panel solar en un 11% al tener 20 g/m² de suciedad.
- La simulación en el programa PVSyst estima una media de 22% más de porcentaje de pérdida con relación a la medición en campo, por lo tanto, subestima la capacidad de generación de energía del panel solar en un 22% al tener 40 g/m² de suciedad.

En cuanto al análisis de la Inclinación:

- La simulación en el programa PVSyst estima una media en energía producida igual a la media tomada en campo en el panel solar cuando esta inclinado a 6°.
- La simulación en el programa PVSyst estima una media en energía producida igual a la media tomada en campo en el panel solar cuando esta inclinado a 9°.

5.2 RECOMENDACIONES

En relación con el factor de sombreado se recomienda realizar la instalación lo más alejado de las verdaderas sombras que lleguen a perjudicar la producción de energía eléctrica, si no se puede evitar el sombreado, existen equipos como optimizadores que se conectan en los paneles que están expuestos a la sombra y nos ayudan a optimizar la producción de energía.

En cuanto a la simulación de la sombra en el programa PVSyst se recomienda configurar un 10% menos de porcentaje sobre la capacidad de generación de energía, siempre y cuando se tenga al menos una sombra que cubra 2% del área de un panel solar. En caso de tener sombra de 4% o más no es recomendable realizar este ajuste.

Con respecto a el factor de suciedad se recomienda realizar un lavado de paneles anualmente para eliminar residuos de polvo, que no puedan ser limpiados por factores como el viento y la lluvia.

En cuanto a la suciedad se recomienda siempre que el panel solar esté inclinado realizar la simulación en el programa PVSyst reduciendo el factor de pérdidas por suciedad de un 3% a 5%, debido a que el software no considera factores como la lluvia o viento que favorecen la limpieza del panel solar.

Referente al factor de inclinación para la zona del DMQ, al encontrar que no es muy significativo en la pérdida de producción energética, se recomienda dar una inclinación entre 6° y 10° para una mejor limpieza por factores de viento y lluvia.

La simulación en el programa PVSyst es precisa en cuanto a la energía eléctrica generada del panel solar cuando está inclinado a 6° y a 9°, por lo cual se recomienda seguir usando el mismo para calcular simulaciones en estas condiciones.

Se recomienda realizar estudios en intervalos de tiempo más amplios (Anuales) para realizar comparaciones en relación con los solsticios y estaciones en el año.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Bhatia, "Energy resources and their utilisation," in *Advanced Renewable Energy Systems*, ScienceDirect, 2014, pp. 1–31. doi: 10.4018/978-1-7998-8561-0.ch013.
- [2] J. C. Vega de Kuyper and S. Ramírez Morales, *Fuentes de Energía, Renovables y No Renovables. Aplicaciones*. México D.F. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A., 2014.
- [3] C. Espejo Marín, "La energía solar fotovoltaica en España," *Nimbus Rev. Climatol. Meteorol. y paisaje*, no. 13, pp. 5–32, 2004.
- [4] IRENA, *Renewable Energy Statistics 2020. Renewable hydropower (including mixed plants)*. 2020.
- [5] D. Domínguez and B. Salvatierra, "Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos conectados a la red," Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, 2016.
- [6] M. Pareja Aparicio, "Radiación solar y su aprovechamiento," Oene Disse., Barcelona, España: Marcombo S.A. Gran Vía de los Corts Catalanes 594, 2010, pp. 14–16.
- [7] K. Navarrete, "Análisis técnico -económico de un sistema fotovoltaico con influencia de suciedad , viento y lluvia en Arequipa - Perú," *Univ. Tecnológica del Perú*, vol. 1, 2019.
- [8] J. Schallenberg Rodríguez *et al.*, *Energías renovables y eficiencia energética*, 1st ed. Canarias, España: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008.
- [9] Scribd, "Diagrama Solar- Latitud 0°-Ecuador-Model," 2020.
- [10] W. Mogrovejo León and J. Sarmiento Vintimilla, "Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivien," Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2011.
- [11] B. Marín Toro, "Impacto en el alimentador ciudad del sol en la ciudad de Machala debido a la incorporación de generación distribuida por sistemas fotovoltaicos," Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2021.
- [12] CONELEC, "Atlas solar del ecuador," *Conelec*, pp. 1–51, 2008.

- [13] A. Al-Hmoud, D. Sebastia-Saez, and H. Arellano-Garcia, *Comparative CFD analysis of thermal energy storage materials in photovoltaic/thermal panels*, vol. 46. Elsevier Masson SAS, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-818634-3.50133-8.
- [14] D. M. Morales, M. Cappelletti, G. Casas, W. Hasperue, and E. Peltzer y Blance, “Estudio basado en Algoritmos Genéticos de celdas solares expuestas a radiación,” *IlyA*, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1109/argencon.2016.7585262.
- [15] B. Cevallos Cevallos, D. F. Llangarí Rojas, L. E. Dominguez Ruiz, B. A. Cruz Manya, and M. E. Yerovi Juiña, “La energía fotovoltaica,” *Rev. Académica Contrib. a la Econ.*, pp. 1–22, 2019.
- [16] C. R. Prado Mora, “Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada,” 2008.
- [17] B. Parlá Moreno, “Análisis dinámico de los sistemas fotovoltaicos aislados,” Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Cuba, 2011.
- [18] R. González, H. Jiménez, and J. Lagunas, “Sistemas fotovoltaicos conectados a la red,” *Boletín IIE*, pp. 140–144, 2003.
- [19] F. Binte Mustafa, I. Ahmed, and M. MobasSharin, “Centralized and decentralized solar power control and distribution: a comparative analysis of operational and economic aspects,” BRAC University, Dhaka, Bangladesh, 2017.
- [20] B. Zakeri, G. Gisse Castagneto, P. E. Dodds, and D. Subkhankulova, “Centralized vs. distributed energy storage – Benefits for residential users,” *ScienceDirect*, vol. 236, pp. 1–12, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121443.
- [21] D. Rekioua and E. Matagne, “Hybrid Photovoltaic Systems,” in *Optimization of Photovoltaic Power Systems*, vol. 102, Springer, London: Green Energy and Technology, 2012, pp. 223–273. doi: 10.1007/978-1-4471-2403-0.
- [22] Desigenia, “Sistema Fotovoltaico Híbrido,” 2017.
- [23] M. Nfaoui and K. El-Hami, “Extracting the maximum energy from solar panels,” *ScienceDirect*, vol. 4, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1016/j.egy.2018.05.002.
- [24] Y. Xu, J. Li, Q. Tan, A. L. Peters, and C. Yang, “Global status of recycling waste solar panels: A review,” *ScienceDirect*, vol. 75, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.036.
- [25] C. S. Durganjali, S. Bethanabhotla, S. Kasina, and D. S. Radhika, “Recent

- Developments and Future Advancements in Solar Panels Technology,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1495, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1495/1/012018.
- [26] P. Manimekalai, R. Harikumar, and S. Raghavan, “An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 82, no. 12, pp. 28–32, 2013, doi: 10.5120/14170-2299.
- [27] A. Jossen, J. Garche, and D. Uwe Sauer, “Operation conditions of batteries in PV applications,” *Sol. Energy*, vol. 76, no. 6, pp. 759–769, 2004, doi: 10.1016/j.solener.2003.12.013.
- [28] D. Pérez Garrido, “ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN, UTILIZANDO AMPOLLETAS DE BAJO CONSUMO Y ALIMENTADO POR PANELES FOTOVOLTAICOS,” Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2009.
- [29] L. G. Macancela Zhumi, “DIAGNÓSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO YANTSA ii ETSARI,” Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2012.
- [30] TECNOSOL, “Regulador de carga solar, PWM o MPPT,” 2016.
- [31] A. Jiménez Álvarez, “Análisis de distintas alternativas de control para inversores monofásicos conectados a red,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2016.
- [32] M. Rashid, “Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones,” in *Electrónica de Potencia*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A, 2004, pp. 3–95.
- [33] ECOFENER, “Tipos de inversores fotovoltaicos aislada,” 2021.
- [34] M. Macri, “Introducción a Transformador Eléctrico de Potencia,” *Univ. Nac. Mar del Plata*, vol. 1, pp. 1–64, 2019.
- [35] CELME, “Transformador de Potencia,” *Direct Industry*, 2022.
- [36] Y. Ayachi Amor, G. Didier, F. Hamoudi, and T. Lubin, “Application of a novel approach of resistive-type superconducting fault current limiter with a fast protection system in multi-terminal direct current network,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 10, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12568.
- [37] M. Siles, “Soportes para placas solares: el patito feo de las instalaciones,” *Solarmat*, 2017. <https://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de->

las-instalaciones/

- [38] N. Flores and M. Domínguez, “Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio .,” *Cent. Investig. en Mater. Av. S.C. Posgrados*, p. 84, 2017, [Online]. Available: [https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/215/1/Tesis MER Norma Rosario Flores Rivera y Mioguel Ángel Dominguez Ramírez.pdf](https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/215/1/Tesis_MER_Norma_Rosario_Flores_Rivera_y_Mioguel_Angel_Dominguez_Ramirez.pdf)
- [39] R. Herrera Salcedo, “Modelado y caracterización de paneles fotovoltaicos,” p. 84, 2013.
- [40] R. Bhol, R. Dash, A. Pradhan, and S. M. Ali, “Environmental effect assessment on performance of solar PV panel,” *IEEE Int. Conf. Circuit, Power Comput. Technol. ICCPCT 2015*, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1109/ICCPCT.2015.7159521.
- [41] K. Kant, A. Shukla, A. Sharma, and H. Biwole, “Thermal response of poly-crystalline silicon photovoltaic panels: Numerical simulation and experimental study,” *Sol. Energy*, vol. 134, pp. 147–155, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.05.002.
- [42] W. G. J. Van Helden, R. J. C. Van Zolingen, and H. A. Zondag, “PV Thermal systems: PV panels supplying renewable electricity **and** heat,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 12, no. 6, pp. 415–426, 2004, doi: 10.1002/pip.559.
- [43] M. Abderrezek and M. Fathi, “Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels’ energy yield,” *ScienceDirect*, vol. 142, pp. 308–320, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2016.12.040.
- [44] Y. Ota, N. Ahmad, and K. Nishioka, “A 3.2% output increase in an existing photovoltaic system using an anti-reflection and anti-soiling silica-based coat,” *ScienceDirect*, vol. 136, pp. 547–552, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.07.038.
- [45] M. Wang *et al.*, “Microstructured superhydrophobic anti-reflection films for performance improvement of photovoltaic devices,” *Mater. Res. Bull.*, vol. 91, pp. 208–213, 2017, doi: 10.1016/j.materresbull.2017.03.019.
- [46] A. Basnet, “Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings,” University of Science and Technology, 2012.
- [47] S. Akhlaghi, M. Sarailoo, M. Rezaeiahari, and H. Sangrody, “Study of sufficient number of optimal tilt angle adjustment to maximize residential solar panels yield,” *2017 IEEE Power Energy Conf. Illinois, PECl 2017*, 2017, doi: 10.1109/PECl.2017.7935747.

- [48] A. Marucci and A. Cappuccini, "Dynamic photovoltaic greenhouse: Energy efficiency in clear sky conditions," *Appl. Energy*, vol. 170, pp. 362–376, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.138.
- [49] H. Fathabadi, "Novel high efficient offline sensorless dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems and solar concentrators," *Renew. Energy*, vol. 95, pp. 485–494, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.04.063.
- [50] D. La Manna, V. Li Vigni, E. Riva Sanseverino, V. Di Dio, and P. Romano, "Reconfigurable electrical interconnection strategies for photovoltaic arrays: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 33, pp. 412–426, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.01.070.
- [51] B. J. G. Montano, Di. J. F. Rombaoa, R. A. S. Pena, and E. Q. B. MacAbebe, "Effects of shading on current, voltage and power output of total cross-tied photovoltaic array configuration," *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, pp. 2–6, 2016, doi: 10.1109/TENCON.2015.7372757.
- [52] Constitución de la Republica del Ecuador, *CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*.
- [53] Tribunal Constitucional de la República del Ecuador, "LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA," *Año II-N°418*, vol. Tercer Sup, pp. 1–28, 2015.

ANEXOS

- Anexo A. Hoja de datos Paneles Fotovoltaicos Jinko Solar (JKM405M-72H Y JKM410M-72H)
- Anexo B. Hoja de datos Inversores solares Huawei (SUN2000-2KTL-L1 y SUN2000-6KTL-L1)
- Anexo C. Datos obtenidos de Mediciones en campo y Simulaciones en Software PVSyst y Cálculo del porcentaje de reducción de rendimiento por factor externo.

ANEXO A

Hoja de datos Paneles Fotovoltaicos Jinko Solar (JKM405M-72H Y JKM410M-72H)

www.jinkosolar.com


Cheetah HC 72M

390-410 Watt

MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell



PERC





KEY FEATURES

- 
5 Busbar Solar Cell
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- 
High Efficiency
 Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).
- 
PID Resistance
 Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.
- 
Low-light Performance
 Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.
- 
Severe Weather Resilience
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- 
Durability Against Extreme Environmental Conditions
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



Year	Standard Performance Warranty (%)	Linear Performance Warranty (%)
1	97.5	97.5
5	97.5	97.5
12	90.0	90.0
25	83.1	83.1

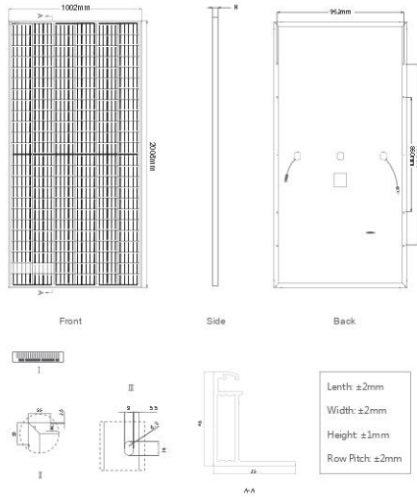




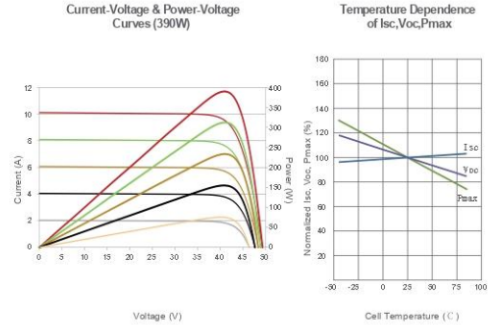


- ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory
- IEC61215, IEC61730, UL1703 certified product

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×40mm (79.06×39.45×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1x4.0mm², (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
27pcs/pallet , 54pcs/stack, 594pcs/40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	JKM390M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM395M-72H-V	JKM400M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM405M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V	JKM410M-72H-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	294Wp	395Wp	298Wp	400Wp	302Wp	405Wp	306Wp	410Wp	310Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	41.1V	39.1V	41.4V	39.3V	41.7V	39.6V	42.0V	39.8V	42.3V	40.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.49A	7.54A	9.55A	7.60A	9.60A	7.66A	9.65A	7.72A	9.69A	7.76A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.3V	48.0V	49.5V	48.2V	49.8V	48.5V	50.1V	48.7V	50.4V	48.9V
Short-circuit Current (Isc)	10.12A	8.02A	10.23A	8.09A	10.36A	8.16A	10.48A	8.22A	10.60A	8.26A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📖 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📖 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM390-410M-72H-(V)-A3-EN

ANEXO B

Hoja de datos Inversores solares Huawei (SUN2000-2KTL-L1 y SUN2000-6KTL-L1)

Smart Energy Controller



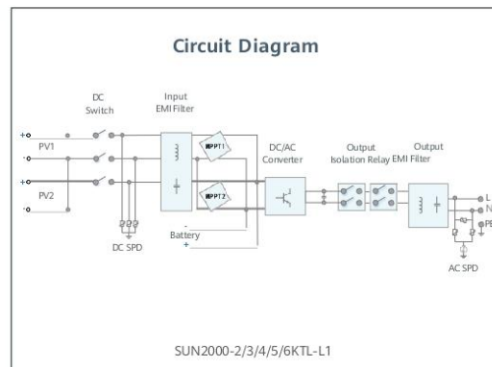
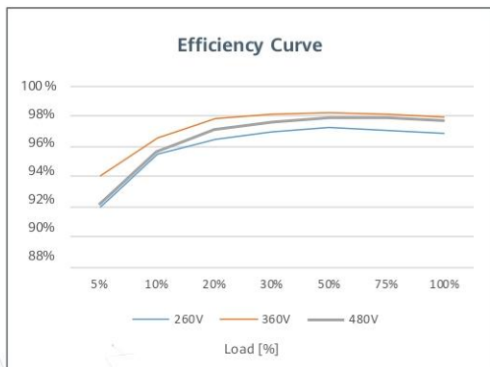
Active Safety
AI Powered
Active Arcing Protection



Higher Yields
Up to 30% More
Energy with Optimizer



2x POWER Battery Ready
5KWAC Output plus
5KW Battery Charge



SUN2000-2/3/4/5/6KTL-L1
Technical Specification

Technical Specification	SUN2000 -2KTL-L1	SUN2000 -3KTL-L1	SUN2000 -4KTL-L1	SUN2000 -5KTL-L1	SUN2000 -6KTL-L1 ¹
Efficiency					
Max. efficiency	98.2 %	98.3 %	98.4 %	98.4 %	98.4 %
European weighted efficiency	96.7 %	97.3 %	97.5 %	97.8 %	97.8 %
Input (PV)					
Recommended max. PV power ²	3,000 Wp	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp
Max. input voltage	600 V ³				
Start-up voltage	100 V				
MPPT operating voltage range	90 V – 560 V ³				
Rated input voltage	360 V				
Max. input current per MPPT	12.5 A				
Max. short-circuit current	18 A				
Number of MPP trackers	2				
Max. number of inputs	2				
Input (DC Battery)					
Compatible Battery	LG Chem RESU 7H_R / 10H_R				
Operating voltage range	350 – 450 Vdc				
Max operating current	10 A @7H_R / 15 A @10H_R				
Max charge power	3,500 W @7H_R / 5,000 W @10H_R				
Max discharge Power @7H_R	2,200 W	3,300 W	3,500 W	3,500 W	3,500 W
Max discharge Power @10H_R	2,200 W	3,300 W	4,400 W	5,000 W	5,000 W
Compatible Battery	HUAWEI Smart ESS Battery 5kWh – 30kWh ¹				
Operating voltage range	350 – 560 Vdc				
Max operating current	15 A				
Max charge Power	5,000 W ⁴				
Max discharge Power	2,200 W	3,300 W	4,400 W	5,000 W	5,000 W
Output					
Grid connection	Single phase				
Rated output power	2,000 W	3,000 W	4,000 W	5,000 W ⁵	6,000 W
Max. apparent power	2,200 VA	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA ⁷	6,000 VA
Rated output voltage	220 Vac / 230 Vac / 240 Vac				
Rated AC grid frequency	50 Hz / 60 Hz				
Max. output current	10 A	15 A	20 A	25 A ⁸	27.3 A
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging				
Max. total harmonic distortion	≤ 3 %				
Backup power output	Yes (via Backup Box-5000 ¹)				
Protection & Feature					
Anti-Islanding protection	Yes				
DC reverse polarity protection	Yes				
Insulation monitoring	Yes				
DC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11				
AC surge protection	Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11				
Residual current monitoring	Yes				
AC overcurrent protection	Yes				
AC short-circuit protection	Yes				
AC overvoltage protection	Yes				
Over-heat protection	Yes				
Arc fault protection	Yes				
Battery reverse charging from grid	Yes				
General Data					
Operating temperature range	-25 ~ +60 °C (Derating above 45°C @ Rated output power)				
Relative operating humidity	0 %RH – 100 %RH				
Operating altitude	0 ~ 4,000 m (Derating above 2,000 m)				
Cooling	Natural convection				
Display	LED indicators; integrated WLAN + FusionSolar APP				
Communication	RS485, WLAN via inverter built-in WLAN module Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional); 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)				
Weight (incl. mounting bracket)	12.0 kg (26.5 lb)				
Dimension (incl. mounting bracket)	365mm * 365mm * 156 mm (14.4 x 14.4 x 6.1 inch)				
Degree of protection	IP65				
Optimizer Compatibility					
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P				
Standard Compliance (more available upon request)					
Safety	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2				
Grid connection standards	G98, G99, EN 50549-1, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777.2, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, IEC61727, IEC62116, NOM, LAPEM				

¹ Available in 2020 Q3.

² Inverter max input PV power is 10,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.

³ The maximum input voltage and operating voltage upper limit will be reduced to 495 V when inverter connects and works with LG battery.

⁴ 2,500 W @ 5kWh HUAWEI ESS battery

⁵ AS4777.2: 4999W. ⁶ VDE-AR-N-4105: 4600VA / AS4777.2: 4999VA. ⁷ AS4777.2: 4999VA. ⁸ AS4777.2: 21.7A

ANEXO C

Datos obtenidos de Mediciones en campo y Simulaciones en Software PVSyst y Cálculo del porcentaje de reducción de rendimiento por factor externo.

MEDICIONES EN CAMPO DE ENERGÍA [kWh]			
CONDICIONES NORMALES			
DÍA	INVERSOR 1	INVERSOR 2	INVERSOR 3
3-may-22	15,2	15,2	15,3
4-may-22	10,6	10,6	10,6
5-may-22	6,2	6,2	6,3
6-may-22	11,2	11,1	11,2
7-may-22	12,2	12,2	12,3
8-may-22	12,3	12,2	12,4
9-may-22	14,0	14,0	14,1
SOMBREADO			
DÍA	2%	SIN SOMBRA	4%
10-may-22	7,2	9,4	5,4
11-may-22	7,1	9,9	5,7
12-may-22	7,1	9,2	8,0
13-may-22	7,6	10,1	8,9
14-may-22	6,3	8,2	6,9
15-may-22	8,8	11,2	6,5
16-may-22	7,7	10,0	5,7
17-may-22	5,6	7,3	4,0
18-may-22	5,3	6,9	3,9
SUCIEDAD			
DÍA	20 g/m²	SIN SUCIEDAD	40 g/m²
19-may-22	8,3	9,9	6,8
20-may-22	11,9	11,9	11,6
21-may-22	15,7	15,6	15,4
22-may-22	15,4	15,4	15,2
23-may-22	12,7	12,7	12,6
24-may-22	15,8	15,7	15,6
25-may-22	10,9	10,8	10,7
26-may-22	10,7	10,6	10,5
INCLINACIÓN			
DÍA	6°	9°	-
4-may-22	24,8	25,5	
5-may-22	16,9	17,0	
6-may-22	26,7	27,1	
7-may-22	35,6	36,6	
8-may-22	34,9	34,8	
10-may-22	29,6	29,6	
11-may-22	24,7	24,4	
12-may-22	23,1	23,2	
13-may-22	23,6	23,9	
14-may-22	23,5	23,9	
15-may-22	29,9	30,3	
16-may-22	25,7	26,0	
17-may-22	20,6	20,8	
18-may-22	21,0	21,3	

ESTIMACIÓN DE ENERGÍA SOFTWARE PVSyst [kWh]			
SOMBREADO			
DÍA	2%	SIN SOMBRA	4%
10-may-22	8,4	9,4	6,1
11-may-22	8,6	9,9	6,1
12-may-22	8,1	9,2	5,5
13-may-22	7,9	10,1	4,4
14-may-22	6,8	8,3	4,3
15-may-22	9,1	11,3	5,2
16-may-22	8,6	9,9	6,1
17-may-22	6,9	7,4	5,7
18-may-22	6,0	6,9	4,6
SUCIEDAD			
DÍA	20 g/m²	SIN SUCIEDAD	40 g/m²
19-may-22	8,6	9,9	7,1
20-may-22	10,4	12,0	8,6
21-may-22	13,7	15,7	11,4
22-may-22	13,5	15,3	11,2
23-may-22	11,2	12,8	9,2
24-may-22	13,8	15,7	11,5
25-may-22	9,5	10,9	7,8
26-may-22	9,2	10,6	7,6
INCLINACIÓN			
DÍA	6°	9°	-
4-may-22	25,1	25,2	
5-may-22	16,6	16,6	
6-may-22	26,6	26,9	
7-may-22	35,2	35,4	
8-may-22	34,9	35,1	
10-may-22	29,8	30,0	
11-may-22	25,1	25,2	
12-may-22	22,8	22,9	
13-may-22	23,5	23,6	
14-may-22	23,5	23,6	
15-may-22	30,1	30,2	
16-may-22	25,7	25,7	
17-may-22	20,8	21,1	
18-may-22	20,8	21,1	

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR SOMBREADO

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar } \% \text{ de Sombra}}{kWh \text{ Panel solar control sin sombra}} \times 100$$

DÍA	Medición en Campo		Simulación Software	
	% de pérdida con sombra al 2 %	% de pérdida con sombra al 4 %	% de pérdida con sombra al 2,08 %	% de pérdida con sombra al 4,16 %
10-may-22	23,5%	43,0%	10,4%	35,0%
11-may-22	28,6%	42,7%	12,6%	38,5%
12-may-22	23,6%	13,7%	11,7%	39,4%
13-may-22	25,1%	11,7%	22,5%	56,8%
14-may-22	22,8%	15,8%	18,7%	48,5%
15-may-22	22,0%	42,3%	19,4%	53,7%
16-may-22	22,9%	42,7%	12,6%	38,5%
17-may-22	23,3%	44,7%	6,3%	23,3%
18-may-22	23,2%	44,5%	12,5%	32,9%

CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PÉRDIDA POR SUCIEDAD

$$\%P = \frac{kWh \text{ Panel Solar } g/m^2 \text{ de suciedad}}{kWh \text{ Panel solar control sin suciedad}} \times 100$$

DÍA	Medición en Campo		Simulación Software	
	% de pérdida con 20 g/m ² de polvo	% de pérdida con 40 g/m ² de polvo	factor de pérdida de 16%	factor de pérdida de 31%
19-may-22	15,9%	31,1%	13,1%	28,7%
20-may-22	0%	2,5%	12,7%	27,9%
21-may-22	0%	1,5%	12,3%	27,1%
22-may-22	0%	1,4%	12,3%	27,1%
23-may-22	0%	1,3%	12,8%	28,0%
24-may-22	0%	1,0%	12,2%	27,0%
25-may-22	-1%	1,1%	13,0%	28,5%
26-may-22	-1%	1,3%	12,9%	28,3%

ORDEN DE EMPASTADO