

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA
RED PARA EL AUTOABASTECIMIENTO DE DOS EMPRESAS DEL
SECTOR AGROINDUSTRIAL**

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA
RED PARA LOS NUEVOS INVERNADEROS DE LA EMPRESA
VEJAN FLOWERS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

JULIO EDUARDO SANTACRUZ MEDINA

julio.santacruz@epn.edu.ec

DIRECTOR: PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

patricia.otero@epn.edu.ec

DMQ, ABRIL - 2023

CERTIFICACIONES

Yo, SANTACRUZ MEDINA JULIO EDUARDO declaro que el trabajo de integración curricular 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.

JULIO SANTACRUZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por SANTACRUZ MEDINA JULIO EDUARDO, bajo mi supervisión.

MGS. PATRICIA OTERO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JULIO EDUARDO SANTACRUZ MEDINA

PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que son parte de mi vida, en especial a mis padres, quienes son un eje fundamental para el desarrollo personal y académico, son quienes me han enseñado a nunca decaer, también a mis hermanos y hermanas por todo el apoyo brindado siempre en cada paso de mi vida.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, brindarme fortaleza en cada paso de mi vida.

A mis padres por guiarme, apoyarme y aconsejarme en todo momento.

Quiero agradecer a mis amigos y profesores, quienes han sido parte fundamental en mi vida estudiantil, en especial a la persona que me acompañó durante el desarrollo de este proyecto a mi tutora Mgs. Patricia Otero.

A todos mis hermanos y hermanas por el apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil, ya que sin su apoyo este sueño, solo sería un sueño.

Gracias a todos.

INDICE

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Recursos energéticos y energías renovables.....	3
1.4.2 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos.....	4
1.4.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	5
1.4.4 Autoconsumo – autogeneración	6
1.4.5 Componentes de un sistema fotovoltaico	7
1.4.6 Inversores.....	11
1.4.7 Medidor bidireccional.....	12
1.4.8 System model advisor (SAM)	12
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Ubicación geográfica del sistema fotovoltaico.....	15
2.2 Estimación de la demanda	16
2.3 Recurso solar disponible en el sector.....	17
2.3.1 Radiación solar	18
2.3.2 Radiación solar difusa y directa.....	18
2.4 Hora solar pico	18

2.5	Potencia máxima de diseño	19
2.6	Determinación de los módulos	20
2.7	Determinación de la inclinación óptima del panel fotovoltaico (β_{opt})	20
2.7.1	Número mínimo de paneles en serie	21
2.7.2	Número máximo de paneles en serie	21
2.7.3	Numero de ramales	21
2.7.4	Número total de paneles.....	22
2.8	Determinación del inversor.....	22
2.8.1	Determinación del número de inversores	22
2.9	Energía generada del campo fotovoltaico	23
2.10	Análisis económico	23
2.11	Determinación de protecciones.....	24
3	DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	26
3.1	Características básicas de la instalación.....	26
3.2	Potencia máxima de diseño	26
3.3	Selección del módulo fotovoltaico	27
3.4	Selección del inversor	27
3.5	Ubicación de los paneles en el sitio	30
3.6	Modelo de estructuras de los paneles.....	31
3.7	Diagrama unifilar preliminar del campo fotovoltaico	31
3.8	Simulación energética del sistema fotovoltaico	31
3.8.1	Ingreso de datos en el software SAM	32
3.8.2	Datos numéricos para la simulación	33
3.8.3	Resultados generales	34
3.9	Análisis económico.....	35
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	38
4.1	Conclusiones.....	38

4.2	Recomendaciones.....	39
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
6	ANEXOS.....	44
	ANEXO I	44
	ANEXO II	46
	ANEXO III	53
	ANEXO IV	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Tipos de energía renovable [6].....	3
Figura 1.2.	Esquema del sistema fotovoltaico conectado a la red [12].....	6
Figura 1.3.	Esquema de autoconsumo [14].....	7
Figura 1.4.	Paneles solares	8
Figura 1.5.	Esquema efecto fotoeléctrico [17]	9
Figura 1.6.	Celdas fotovoltaicas [18]	10
Figura 1.7.	Inversor [21].....	11
Figura 1.8.	Tipos de medidores bidireccionales [22]	12
Figura 2.1.	Ubicación geográfica del lugar	15
Figura 2.2.	Radiación solar NREL 2019 [3]	18
Figura 2.3.	Hora solar pico en Ecuador año 2020 [23]	19
Figura 3.1.	Configuración sistema fotovoltaico	26
Figura 3.2.	Ubicación preliminar de los paneles	30
Figura 3.3.	Diseño preliminar estructuras	31
Figura 3.5.	Producción de energía mensual durante el primer año	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Flujos de energía (a) para toda la tierra, (b) promediados por persona suponiendo una población mundial de 6.000 millones [3].....	4
Tabla 2.1.	Ubicación geográfica.....	15
Tabla 2.3.	Estimación de la demanda de energía eléctrica	16

Tabla 3.1. Características eléctricas y mecánicas del módulo CS6W-550MS.....	27
Tabla 3.2. Características eléctricas y mecánicas del inversor.....	28
Tabla 3.3. Datos ingresados en el SAM.....	33
Tabla 3.4. Resultados simulados en SAM	34
Tabla 3.5. Costos de inversión.....	36
Tabla 3.6. Análisis del VAN para la empresa Vejan Flowers	37

RESUMEN

El objeto del presente trabajo de integración curricular es diseñar y simular un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica para el autoconsumo de la empresa "Vejan Flowers".

El sistema consta de varios procesos para la producción energética por medio del recurso solar disponible, en el cual constituye de paneles fotovoltaicos de la marca CANADIAN SOLAR INC., modelo CS6W-550MS, que se encarga de energizar a un inversor de la marca SMA AMERICA, modelo STP50-US40, y éste a su vez se conecta a la red eléctrica.

Para el dimensionamiento del campo fotovoltaico, parte de un análisis de carga de los equipos que serán alimentados con energía renovable, datos con los cuales ha permitido realizar una estimación de la demanda energética para saber la capacidad total que debe tener el campo fotovoltaico.

Del mismo modo se realiza un breve análisis financiero para determinar la viabilidad del proyecto y con estos datos estar en la capacidad de tomar decisiones para la implementación del sistema fotovoltaico.

PALABRAS CLAVE: sistema fotovoltaico, recurso solar, autoconsumo.

ABSTRACT

The object of the present curricular integration work is to design and simulate a photovoltaic system connected to the electricity network for self-consumption of the company "Vejan Flowers".

The system consists of several processes for energy production through the available solar resource, in which it constitutes photovoltaic panels of the Canadian Solar Inc., Model CS6W-550MS, which is responsible for energizing an inverter of the SMA America brand, STP50-US40 model, and this one in turn connects to the electricity grid.

For the dimensioning of the photovoltaic field, part of a load analysis of the equipment that will be fed with renewable energy, data with which it has allowed an estimate of the energy demand to know the total capacity that the photovoltaic field must have.

In the same way, a brief financial analysis is carried out to determine the viability of the project and with this data be in the ability to make decisions for the implementation of the photovoltaic system.

KEYWORDS: photovoltaic system, solar resource, self-consumption.

1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, son sistemas de generación eléctrica que pueden brindar soporte para industrias con consumo de energía alto, estos sistemas están basados en el uso y aprovechamiento del recurso solar disponible.

El desarrollo de nuevas tecnologías cada vez es más importante para combatir el cambio climático producido por el uso de combustibles fósiles [1]. Ecuador al estar en la línea ecuatorial, es considerado un lugar con alto potencial para el desarrollo de energía solar fotovoltaica [2], ya que cuenta con mayor tiempo de aprovechamiento del sol durante el día y todas las estaciones.

Las herramientas de soporte que se utilizarán para obtener datos meteorológicos y para el desarrollo del diseño, son plataformas de simulación y análisis económico, en este trabajo se realizará por medio del software System Advisor Model (SAM), varios modelos informáticos desarrollados por "The National Renewable Energy Laboratory" (NREL), en la que se está enfocado energías alternativas como la fotovoltaica, marina, viento, geotermal, biomasa [3].

En el Ecuador la implementación de sistemas fotovoltaicos se encuentra regulada por normativas establecidas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, específicamente la regulación "ARCERNNR 001/2021: Marco Normativo de la Generación Distribuida para el Autoabastecimiento de Consumidores Regulados de Energía Eléctrica".

En este trabajo de integración curricular se busca realizar el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el abastecimiento energético de la empresa Vejan Flowers ubicada en el Cantón Cayambe, la que contaría con sistema de iluminación perimetral e interna, sistema de riego y cuartos fríos.

1.1 Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red para el autoabastecimiento de la empresa "Vejan Flowers".

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica sobre sistemas fotovoltaicos para autoabastecimiento de instalaciones conectadas a la red.
2. Realizar un estudio de demanda para determinar la potencia requerida y establecer los parámetros de diseño del sistema fotovoltaico.
3. Diseñar el sistema fotovoltaico conectado a la red para autoconsumo de la empresa Vejan Flowers, con el uso del software System Advisor Model (SAM).
4. Analizar la viabilidad técnica – económica del sistema fotovoltaico con los datos obtenidos de la simulación.

1.3 Alcance

El presente trabajo de integración curricular parte del análisis de la necesidad de la energía eléctrica para los nuevos invernaderos de Vejan Flowers, esto contempla una revisión bibliográfica de sistemas fotovoltaicos conectados a la red aplicados a procesos productivos para el autoabastecimiento.

Se incluye una investigación bibliográfica del recurso energético, estudio de la radiación en el sector y determinación del recurso solar disponible utilizando el software SAM. Se realiza el estudio de la demanda de energía eléctrica que tendrán los nuevos invernaderos para determinar la potencia máxima de generación, la determinación de la orientación de los paneles, el diseño y simulación del sistema fotovoltaico conectado a la red. El diseño se realiza con ayuda del software SAM que además permite realizar un análisis económico, para determinar la viabilidad del proyecto.

1.4 Marco teórico

A continuación, se presentan conceptos básicos de energía renovable, autoconsumo, sistemas de generación fotovoltaico y un análisis del System Model Advisor (SAM).

1.4.1 Recursos energéticos y energías renovables

Los recursos energéticos son formas de energía potencial que se pueden utilizar para realizar un trabajo, se clasifican en renovables y no renovables estos recursos se emplean para obtener energía y con ella generar luz, calor o potencia. La energía es un término usado para describir una cantidad de trabajo, en el caso de la energía cinética hace referencia a un tipo de trabajo realizado por la materia, en el caso de energía potencial se refiere al trabajo que se encuentra almacenado dentro de la materia, cualquiera de los dos tipos la energía puede tomar la forma de energía eléctrica, química, mecánica, térmica o fisión nuclear. Los recursos energéticos renovables son aquellos que se utilizan como fuente de energía de manera continua sin llegar a agotarse, y pueden suministrar esta energía sin contaminar por lo que se considera que son una fuente de energía limpia[4].

Cuando se trata de recursos energéticos, siempre está el argumento de la sostenibilidad, y es importante que proporcionen suficiente energía para satisfacer necesidades de los consumidores. También es importante considerar como usar dichos recursos de manera adecuada y a largo plazo [5].

Dentro de la clasificación de energías renovable se presentan las siguientes que se aprecian en la Figura1.1 [6]:

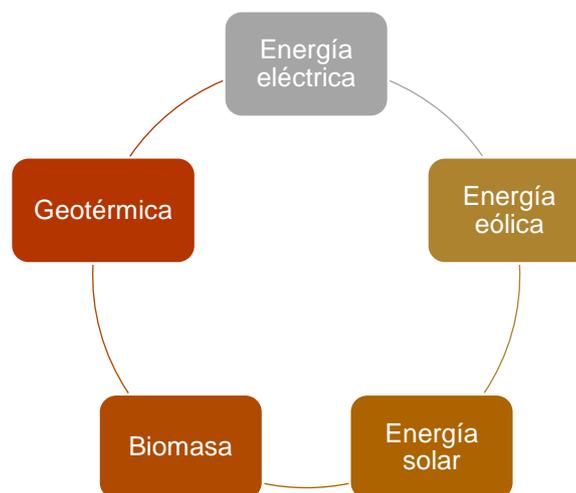


Figura 1.1. Tipos de energía renovable [6]

Los flujos totales de energía renovable son muy grandes. La Tabla 1.1 cuantifica estos flujos como potencialmente disponibles para su uso: (a) en la superficie de la Tierra, y (b) como valores per cápita suponiendo una población mundial de 6.000

millones (la población en el año 2000). La misma tabla incluye el uso actual equivalente de los combustibles fósiles y nucleares. La demanda de energía per cápita varía enormemente dentro de los países, desde unos 10 kW/per cápita de EE. UU., hasta 0,1 kW por las poblaciones urbanas de África Central [7].

Tabla 1.1. Flujos de energía (a) para toda la tierra, (b) promediados por persona suponiendo una población mundial de 6.000 millones [3]

Tipo de energía renovable	a) Total 10⁹ kW	b) Per cápita kW
Radiación solar desde el espacio	122 00	20 000
Calentamiento solar sensible	55 000	9 000
Viento	1 200	200
Onda	3	0.5
Hidráulica	65 000	11 000
Biomasa	133	22
Geotérmica	30	5
Mareas	3	0.5
Desechos antropogénicos (industriales, urbanos, etc.)	1	0.2
Combustibles fósiles	8	1.3
Energía nuclear (para producción de electricidad)	0.5	0.1
Requerida para una sociedad de alta tecnología	12	2.0

1.4.2 Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos

El desarrollo de la energía eléctrica es un proceso que más ha impactado en el progreso de la humanidad y para constatarlo se puede ver nuestro alrededor y percibir que todo lo que nos rodea requiere del uso de energía eléctrica [8].

La población que no tiene acceso a energía eléctrica, ya sea por su ubicación geográfica o baja capacidad de pago, se presenta una de las alternativas para

disponer de electricidad que es a través del uso de la energía fotovoltaica para autoconsumo, dentro de las aplicaciones que usan este tipo de energía son [9]:

- Centrales de generación
- Electrificación de viviendas.
- Aplicaciones agrícolas (invernaderos, granjas, sistemas de riego de agua, entre otras).
- Sistemas de iluminación
- Telecomunicaciones
- Industrias

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos categorías, autónomos y conectados a la red. Esta clasificación se basa en requisitos operativos y funcionales, la configuración de componentes y conexión a cargas eléctricas y fuentes de energía. Además, los sistemas fotovoltaicos funcionan de forma independiente o interconectados con la red eléctrica, y están diseñados para dar servicio de alimentación de CA y/o CC [10]. Ecuador al encontrarse en una ubicación privilegiada la incidencia del sol es directa y su aprovechamiento es más adecuado en varios sectores.

1.4.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) produce energía eléctrica bajo los parámetros necesarios para intercambiarla con la red de distribución. Está compuesto por un generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas.

La energía producida por este sistema se consumirá parcial o totalmente en las inmediaciones del lugar de instalación, y la energía sobrante se inyectará a la red para ser distribuida a otros puntos de consumo [11].

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red no necesitan el uso de baterías, ya que toda la energía generada por la planta fotovoltaica se encuentra interconectada a la red para su transmisión, distribución y consumo directo [12].

Dentro de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red existen varios campos de aplicación, que pueden ser desde centrales de generación fotovoltaica, hasta sistemas muy pequeños como el de un hogar [13].

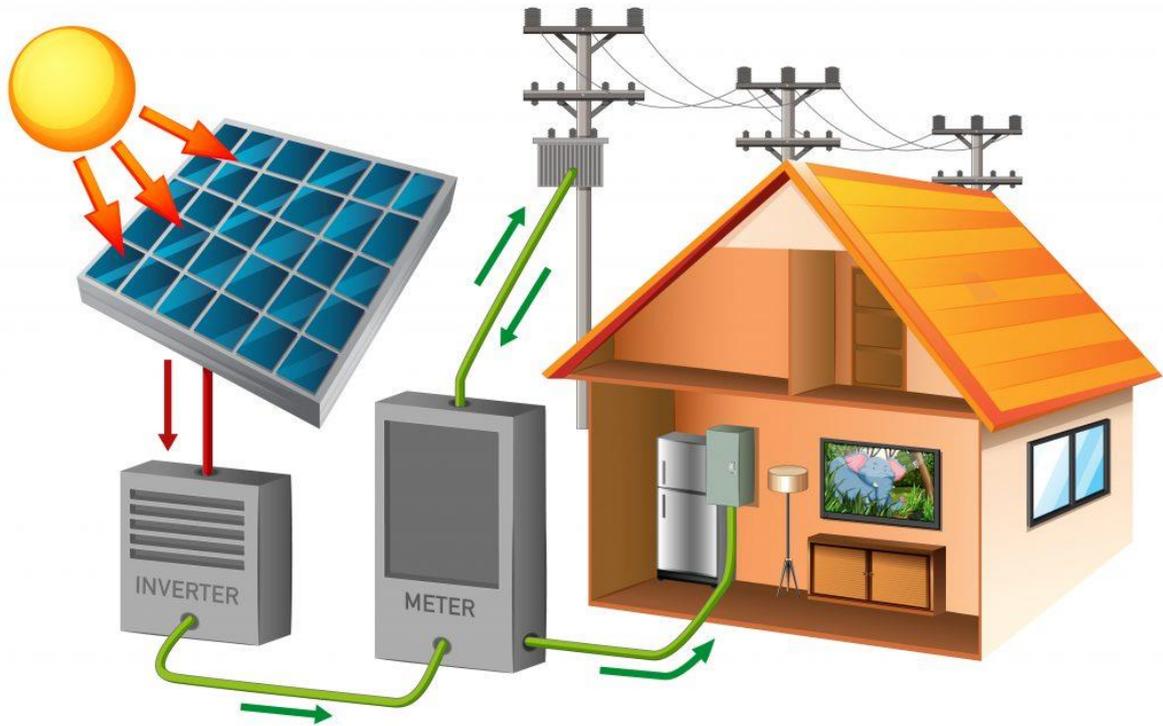


Figura 1.2. Esquema del sistema fotovoltaico conectado a la red [12]

En la Figura 1.2. se representa una configuración típica de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Es decir, se produce electricidad por medio de paneles solares para el consumo y sigue conectado a la red de distribución. Estos sistemas son usados como medida de ahorro frente al consumo de la red eléctrica, con lo que permite un ahorro mensual del gasto de electricidad [12].

1.4.4 Autoconsumo – autogeneración

De manera general las empresas tienen consumos de energía elevados, por lo que una alternativa de ahorro es la autogeneración que permite además inyectar excedentes a la red de distribución, teniendo en cuenta las características del sistema [13].

El autoconsumo eléctrico permite que cualquier persona o empresa pueda generar electricidad renovable instalando en sus inmediaciones paneles fotovoltaicos u otro sistema de generación renovable, parte de la energía generada cubre el consumo

eléctrico, lo que supone un ahorro directo en la factura, en la Figura 1.3 se observa el esquema general de el autoconsumo [14].

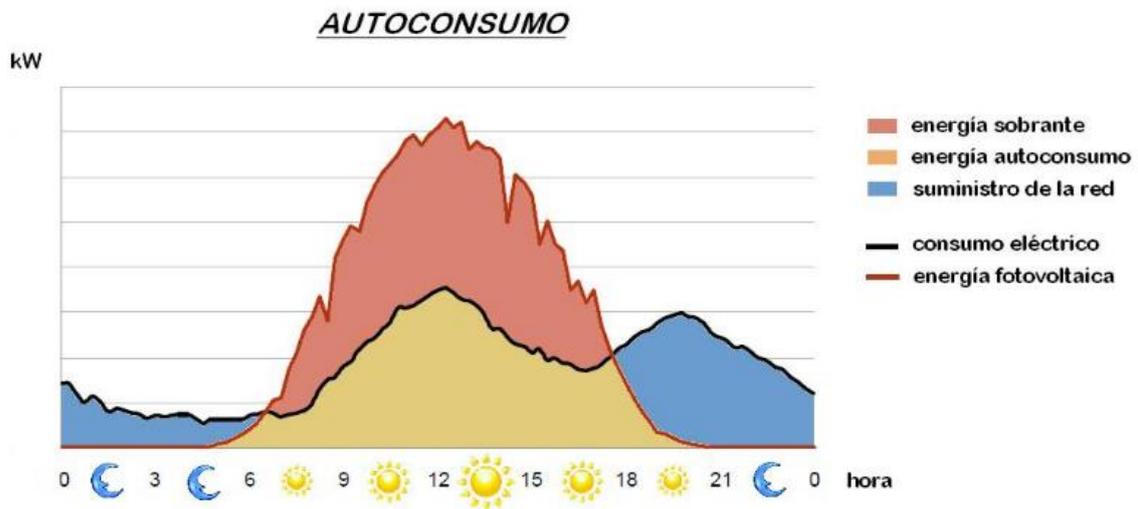


Figura 1.3. Esquema de autoconsumo [14]

En la zona azul muestra a la energía consumida desde la red o suministro eléctrico, en la zona amarilla es la energía solar de autoconsumo y en rojo muestra la energía solar sobrante vertida a la red, por cada kilovatio hora se recibe una compensación en la factura.

1.4.5 Componentes de un sistema fotovoltaico

1.4.5.1 Paneles solares

Los paneles o módulos solares fotovoltaicos se encuentran conformados por celdas solares las cuales están compuestas por una pequeña capa de silicio que es un semiconductor, pero se requiere de una capa de silicio dopado con una capa de electrones y una capa con huecos, es decir un semiconductor tipo N y un semiconductor tipo P. Los paneles solares son un conjunto de placas que utilizan el efecto fotoeléctrico y estas placas son capaces de convertir la luz del sol en energía eléctrica ver Figura 1.4.

Un módulo solar individual produce corriente continua y una potencia que suele oscilar entre 1 y 2 W, apenas suficiente para alimentar la mayoría de las aplicaciones. Por ejemplo, en el caso de las células solares de silicio cristalino con una superficie típica de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, la potencia de salida suele ser de unos $1,5 \text{ W}_p$,

con $V_{oc} \approx 0,6 \text{ V}$ e $I_{sc} \approx 3,5 \text{ A}$. Para el uso real, las células solares se interconectan en combinaciones serie/paralelo para formar un módulo fotovoltaico [15].



Figura 1.4. Paneles solares

Los paneles solares se fabrican hoy en día como módulos independientes grandes y pequeños, lo que los hace muy adecuados para su uso en áreas abiertas, en los techos de industrias o incluso en edificios de oficinas. Con un mantenimiento mínimo, además es una tecnología limpia que no contamina, no emite humo, no emite CO_2 , no emite gases de impacto negativo [16].

1.4.5.2 Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es uno de los fenómenos que se está implementando en los dispositivos tecnológicos actuales. Este efecto fue descubierto por Heinrich Hertz en 1887 [17], cuando observó que algunos metales emiten cargas negativas bajo la acción de la luz. Más tarde se descubrió que las partículas emitidas eran electrones y que la emisión se debía principalmente a la radiación ultravioleta. En 1905, el mismo año en que formuló la teoría especial de la relatividad, Albert Einstein demostró que la porción de alta frecuencia del espectro de radiación del cuerpo negro puede entenderse en términos de la cuantificación directa de la energía de la radiación. Einstein basado en la explicación de Planck para el espectro de radiación de cuerpo negro propuso, que toda la radiación electromagnética consiste en discretos paquetes de energía, cada uno con una

energía $h\nu$, siendo h la constante de Planck y ν la frecuencia de la radiación, y llamó a estos paquetes cuantos de luz o fotones. También reconoció que el concepto de fotón era la clave para una correcta explicación del efecto fotoeléctrico y formuló la siguiente expresión matemática ver Ecuación 1.1 [18]:

$$K_{max} = h\nu - \phi \quad (1.1)$$

Los fotones son partículas que viajan a través de la luz del sol y estas partículas chocan contra las celdas solares de este choque se producen electrones, al flujo de electrones producido del choque de los fotones y la placa solar se la llama corriente eléctrica, luego la corriente eléctrica es dirigida a un circuito exterior [19], como se muestra en la Figura 1.5, es un esquema básico del efecto fotoeléctrico.

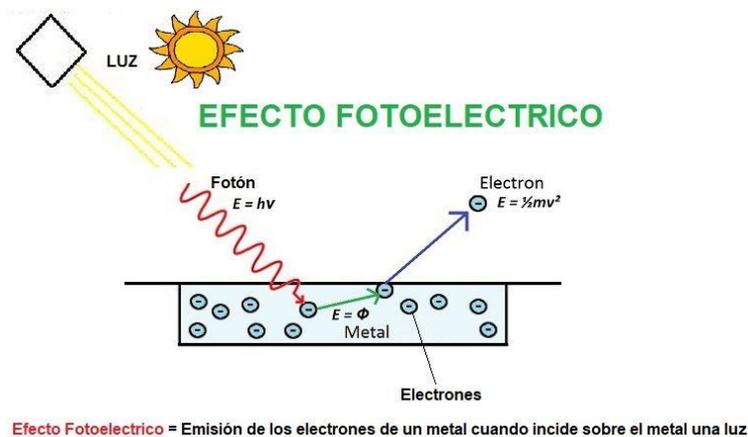


Figura 1.5. Esquema efecto fotoeléctrico [17]

1.4.5.3 Celdas solares

Un panel solar está compuesto por varias celdas solares interconectadas entre sí y éstas absorben la luz del sol, los dispositivos electrónicos están compuestas por materiales semiconductores como el silicio cristalino o el arseniuro de galio, que pueden comportarse como conductores de electricidad o como aislantes según el estado en el que se encuentren, de manera general los paneles solares están compuestos por varias células o celdas fotovoltaicas para convertirse en un panel solar dependiendo del tamaño y potencia del mismo, de modo que por la luz del sol y los materiales usados para armar la celda se genera una corriente eléctrica y todas juntas se producen un campo eléctrico en el panel solar y entonces cuando la luz del sol calienta los paneles solares, las celdas fotovoltaicas producen

electricidad de corriente directa (DC) [18]. Un esquema básico una celda fotovoltaica se muestra en la Figura 1.6.

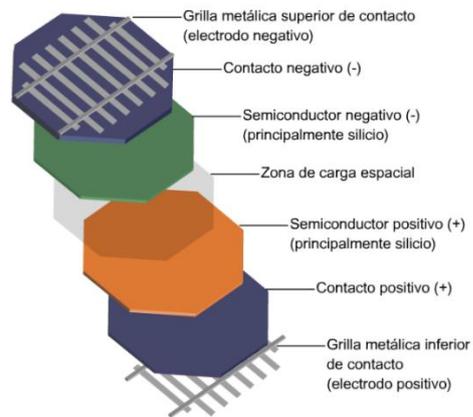


Figura 1.6. Celdas fotovoltaicas [18]

Las celdas solares utilizan un haz de fotones de 6000 K. Es decir, actúa como una máquina de calor con la caldera a 6000 K [20]. En una central térmica, el agua se calienta a 900 °C para producir calor. Las centrales térmicas de vapor y solares calientan el agua a 800 K. Para las centrales térmicas, la eficiencia ideal máxima es del 66%. Las celdas más utilizadas son las de silicio cristalino y multicristalino, ya que utilizan uniones p-n y contactos en ambos lados. Además, emiten unos 0,5 voltios y una corriente de 35 mA/cm² cuando los ilumina el sol a 1000 W/m² en un día despejado, lo que se considera la radiación de referencia estándar. Ambos materiales utilizan silicio ultrapuro que se deriva del silicio utilizado en la industria de la microelectrónica [4].

Las celdas más utilizadas son las de silicio cristalino y multicristalino, ya que utilizan uniones p-n y contactos en ambos lados. Además, emiten unos 0,5 voltios y una corriente de 35 mA/cm² cuando los ilumina el Sol a 1000 W/m² en un día despejado, lo que se considera la radiación de referencia estándar. Ambos materiales utilizan silicio ultrapuro que se deriva del silicio utilizado en la industria de la microelectrónica. El silicio multicristalino se forma por solidificación de grandes crisoles (hasta 500 kg) y se diferencia del silicio monocristalino por el tamaño milimétrico del material obtenido. El costo y la eficiencia por oblea son bajos, por lo que el costo por vatio pico es el mismo. Sin embargo, la tendencia es hacia la

producción de materiales multicristalinos que permitan una reducción real de costos [19].

1.4.6 Inversores

El inversor forma parte de los elementos principales en sistemas fotovoltaicos. La energía que es generada por los paneles es de corriente continua y dado que prácticamente todos los equipos funcionan con corriente alterna, la función principal de los inversores es transformar de DC a AC, en el caso de sistemas conectados a la red, la energía generada por el sistema puede ser inyectada al sistema eléctrico, de manera que los inversores deben tener la capacidad de entregar la energía con frecuencia y voltaje que se adapten a los requerimientos de la red [21]. En la Figura 1.7 se muestra un modelo de un inversor.



Figura 1.7. Inversor [21]

Fabricantes como SMA, Fronius, Huawei, SolarEdge, SunGrow, ABB, Enphase y Schneider Electric, comercializan inversores para instalaciones fotovoltaicas. Pueden ser pequeños dispositivos destinados a convertir la energía suministrada por uno o dos paneles (200 W–500 W), o una red de cuatro a cuarenta paneles (1 kW–10 kW) para aplicaciones residenciales y para usos comerciales que procesan (10 kW – 100 kW), o también dedicadas a convertir grandes cantidades de energía para centrales eléctricas (100 kW a 3 MW).

1.4.7 Medidor bidireccional.

Este es un equipo contador bidireccional que es capaz de medir, registrar y almacenar los datos de la energía eléctrica entregada por las redes de distribución en un tiempo determinado, es usado principalmente en sistemas de generación fotovoltaica [22].

Un contador bidireccional permite tener un control sobre la energía eléctrica que suministra una empresa y que es generada por energías renovables. La mayoría incluye un sistema que permite restar la energía producida a la energía comprada para que el ahorro se vea claramente [23]. La Figura 1.8 muestra los tipos de medidores bidireccionales.



Figura 1.8. Tipos de medidores bidireccionales [22]

1.4.8 System model advisor (SAM)

El System Advisor Model (SAM) es un software de diseño enfocado en energías renovables, desarrollado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), que facilita el desarrollo de las industrias en el campo de las energías renovables, el mismo que es de uso libre para cualquier fin que se requiera [24].

El System Advisor Model (SAM) dispone de varios tipos de librerías, y los datos meteorológicos principalmente de los Estados Unidos se encuentran establecidas en el mismo software, sin embargo, se puede ingresar la ubicación geográfica de

cualquier parte del mundo para descargar la información de estaciones meteorológicas cercanas.

SAM está disponible en las siguientes plataformas:

- Aplicación de escritorio para Windows, Linux y Mac OS
- Interfaz de programación de aplicaciones (API) con un conjunto de herramientas de programación en el kit de desarrollo de software (SDK) de SAM

SAM puede modelar varios sistemas enfocados en la energía renovable tales como:

- Sistemas fotovoltaicos
- Almacenamiento de energía
- Concentración de energía solar
- Energía marina
- Viento
- Celdas de combustible – fotovoltaica – baterías
- Geotermal
- Calentamiento solar de agua
- Combustión de biomasa
- Sistemas genéricos

También permite elegir los modelos financieros disponibles para cada sistema señalado.

Los modelos de rendimiento de SAM son para sistemas fotovoltaicos con almacenamiento opcional de baterías, energía solar de concentración, calor de procesos industriales, calentamiento solar de agua, energía eólica, geotérmica, biomasa y sistemas de energía convencionales que suministran electricidad directamente a la red eléctrica o interactúan con la carga eléctrica de un edificio o instalación conectados a la red. SAM no modela sistemas de energía fuera de la

red ni sistemas de energía híbridos con más de una fuente de generación de energía. Los modelos financieros son para proyectos que compran y venden electricidad a tarifas minoristas (residenciales y comerciales), o venden electricidad a un precio determinado en un acuerdo de compra de energía (PPA). SAM puede modelar proyectos grandes o pequeños, desde instalaciones fotovoltaicas en tejados residenciales hasta grandes proyectos de generación de energía solar por concentración y parques eólicos [25].

En el sistema fotovoltaico se dispone de varios modelos de diseño:

- Modelo detallado del sistema fotovoltaico
- Modelo de vatios fotovoltaicos
- Alta concentración fotovoltaica

Todos los modelos expresados en el software permiten la definición de las condiciones meteorológicas para el emplazamiento considerado, la configuración geométrica de la planta: inclinación y azimut de los módulos, así como la definición de los distintos obstáculos para el cálculo de las sombras sobre los módulos. Asimismo, dispone de una base de datos de componentes (módulos y variadores) que juntamente con los datos meteorológicos (radiación) permite optimizar el diseño de la planta fotovoltaica y predecir la producción [24].

2 METODOLOGÍA

Para diseñar los sistemas fotovoltaicos existe una serie de pasos que contemplan fórmulas matemáticas definidas para el cálculo y diseño, todos parten de una ubicación geográfica del campo fotovoltaico, consumo de energía con lo que se determinará la potencia de diseño del sistema fotovoltaico.

2.1 Ubicación geográfica del sistema fotovoltaico

La instalación proyectada es una planta de generación eléctrica por medio de la tecnología solar fotovoltaica, ubicada en el cantón Cayambe a 95 km aproximadamente de la ciudad de Quito, la ubicación se puede verificar en la Figura 2.1 y en la Tabla 2.1.



Figura 2.1. Ubicación geográfica del lugar

Tabla 2.1. Ubicación geográfica

LATITUD	LONGITUD
0°00'28.9"S	78°07'04.4"W
-0.008016	-78.117878

Esta instalación se realiza aprovechando el suelo no cultivable para la generación fotovoltaica. Para el estudio energético de la planta y determinación de su índice de

aprovechamiento así como para la cuantificación de la producción anual, se emplea el software SAM versión 2022.11.21 [13].

Para los datos meteorológicos, se emplea los descargados a través de software SAM indicado anteriormente. Esta base de datos almacena los valores de satélites y de estaciones terrestres, de radiación y temperatura cercanas al sitio.

2.2 Estimación de la demanda

Para el estudio de la demanda eléctrica se toma como referencia los valores del estudio de carga [16], y es la cantidad de energía eléctrica necesaria para cubrir la necesidad de todos los invernaderos y se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.2. Estimación de la demanda de energía eléctrica

ITEM	DESCRIPCION DEL EQUIPO	POTENCIA [W]	N.º DE EQUIPOS	HORAS DIARIAS [h]	CONSUMO DIARIO [kWh]	CONSUMO MENSUAL [kWh]	CONSUMO ANUAL [kWh]
1	VENTILADOR DE CIRCULACION VERTICAL, 3F, 460V, 60Hz, 130W	130	128	4	66.56	1996.8	23961.6
2	SIEMBRA: BOMBILLA DE CRECIMIENTO, LED PAR38, E27, 15W	15	512	6	46.08	1382.4	16588.8
3	CRECIMIENTO: PANTALLA PLANT GROW 120W	120	128	6	92.16	2764.8	33177.6
4	FLORACION: CAMPANA LED UFO 160W	160	384	12	737.28	22118.4	265420.8
5	BOMBA PERIFERICA 0.5HP, 220V, 60Hz	372.85	128	1	47.7248	1431.744	17180.928
6	AIRE ACONDICIONADO 18000 BTU 230/208V, 7.5-6.9 A, 1470-1510 W	1510	2	4	12.08	362.4	4348.8
7	PUNTOS DE ILUMINACION	15	4	5	0.3	9	108
8	PUNTOS DE FUERZA	200	2	3	1.2	36	432
9	ILIMINACION EXTERIOR: TRILUX OUTDOOR 60W, 220V	60	256	5	76.8	2304	27648
10	TV	120	1	2	0.24	7.2	86.4

ITEM	DESCRIPCION DEL EQUIPO	POTENCIA [W]	N.º DE EQUIPOS	HORAS DIARIAS [h]	CONSUMO DIARIO [kWh]	CONSUMO MENSUAL [kWh]	CONSUMO ANUAL [kWh]
11	PUNTO DE ILUMINACION	15	20	4	1.2	36	432
12	PUNTO DE FUERZA	200	12	3	7.2	216	2592
13	DUCHA ELECTRICA	5000	1	1	5	150	1800
14	COCINA ELECTRICA	7500	1	3	22.5	675	8100
TOTALES					1116.3248	33489.744	401876.928

El valor del consumo de energía diario es: 1116.3248 kWh que es el punto de partida para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

2.3 Recurso solar disponible en el sector

Los valores de irradiación disponibles en el lugar se obtienen de la base de datos meteorológica del software SAM.

En el SAM se ingresa las coordenadas del sitio para obtener los datos estadísticos de la radiación. Este software utiliza interpolación de datos satelitales o datos de estaciones meteorológicas terrestres más cercanas a las coordenadas para estimar los niveles de radiación del sitio.

Ecuador al encontrarse en una ubicación geográfica privilegiada y por medio de la Figura 2.2 se evidencia que los niveles de radiación solar son buenos para la implementación de sistemas fotovoltaicos.

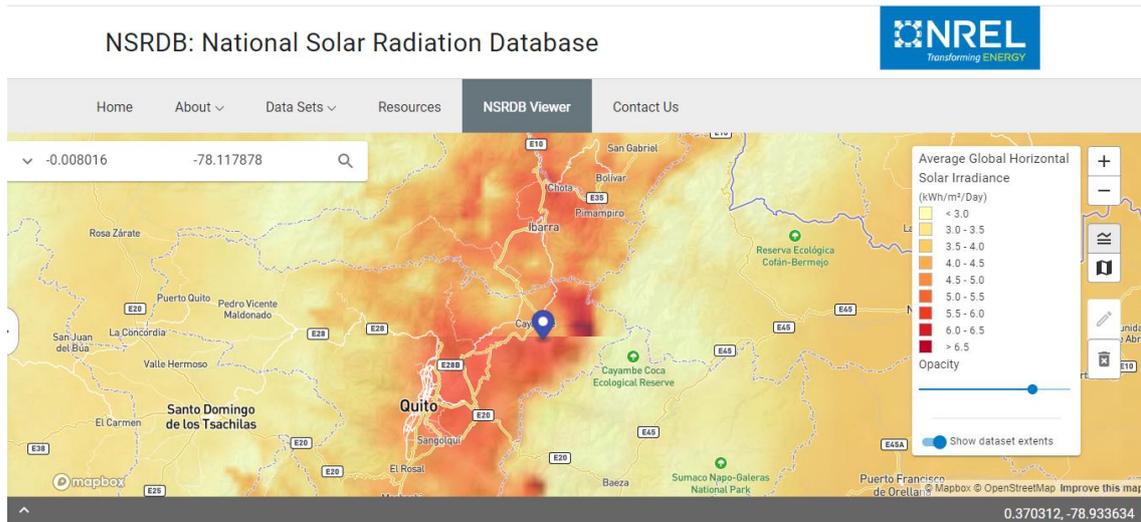


Figura 2.2. Radiación solar NREL 2019 [3]

Los niveles de radiación solar en el lugar de instalación del campo fotovoltaico se encuentran alrededor de 6.0 kWh/m²/día [21].

2.3.1 Radiación solar

Es la radiación electromagnética emitida por el sol, la radiación solar se puede capturar y convertir en formas útiles de energía como calor y energía eléctrica, con el uso de distintas tecnologías [22].

2.3.2 Radiación solar difusa y directa

A medida que la radiación solar ingresa a la superficie terrestre y esta no produce cambios en su dirección se le conoce como radiación solar directa, y la radiación que incide sobre una superficie horizontal se la conoce como radiación solar difusa [22].

2.4 Hora solar pico

Es la unidad que mide la irradiación solar y se define como el tiempo en horas de una aproximada irradiación solar constante que llega del sol. Es decir que 1 hora solar pico es equivalente a la potencia generada de 1000 watts por metro cuadrado [23]. La hora solar pico del año 2020 para el sector es de 4.11 h, ver Figura 2.3 [19].

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2020 through 12/31/2020
Location: Latitude -0.0083 Longitude -78.121
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 3141.44 meters
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2020 4.43 4.20 3.98 3.79 3.74 3.81 3.70 4.63 4.28 4.51 4.72 3.58 4.11

```

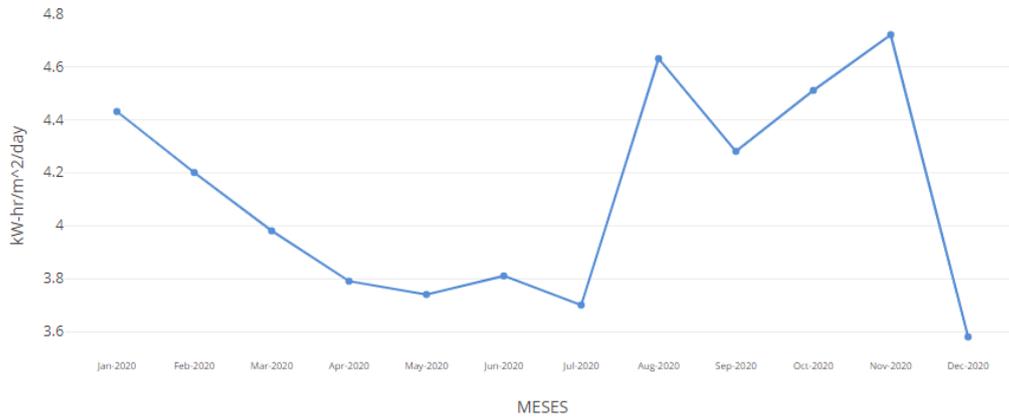


Figura 2.3. Hora solar pico en Ecuador año 2020 [23]

La HSP está directamente relacionado con la capacidad que va a general un panel solar al día [23].

2.5 Potencia máxima de diseño

La potencia máxima de diseño se encuentra establecida por la el consumo diario de energía del campo fotovoltaico y la hora solar pico [24], este es el primer cálculo para iniciar el diseño de la capacidad del campo fotovoltaico, y viene expresada por la siguiente Ecuación 1.2 [24].

$$P_{FOT} = \frac{Cons\ Diario\ [kWh]}{HSP\ [h]} \quad (1.2)$$

Donde:

P_{FOT} : Es la potencia fotovoltaica de diseño expresado, en [kW]

$Cons\ Diario$: Es la energía requerida diaria expresado, en [kWh]

$HSP\ [h]$: Es la hora solar pico expresado, en [h]

2.6 Determinación de los módulos

La determinación de los módulos se encuentra definida por varios parámetros eléctricos relevantes, como los que se mencionan a continuación [24]:

Potencia: en los módulos o paneles solares uno de los factores principales a tener en cuenta es la potencia del módulo ya que esto define el número de módulos, espacio físico, cables y los sistemas mecánicos de sujeción.

Tolerancia: este parámetro es un indicador propio de las marcas de los fabricantes el cual no sobrepasar el $\pm 5\%$ de la potencia propia del módulo.

Voltaje: se debe tener en consideración el nivel de voltaje máximo que soporta el panel.

Voltaje de circuito abierto: es el valor máximo en extremos de la célula y se da cuando no está conectada ninguna carga.

Corriente de corto circuito: es el máximo valor de la corriente que circula por una célula fotovoltaica.

STC: se refiere a las condiciones normales de ensayo de los paneles para establecer los parámetros básicos.

Garantía: la mayoría de los módulos solares tienen una garantía por defectos de fabricación un promedio de 10 a 15 años dependiendo de la marca y procedencia.

2.7 Determinación de la inclinación óptima del panel fotovoltaico (β_{opt})

La inclinación óptima está enfocada en el mantenimiento del sistema fotovoltaico [25] y la autolimpieza de los paneles. Por estos criterios el ángulo de inclinación está dentro de 10° y 15° para permitir que las partículas de polvo y el agua se resbalen de la superficie del panel por efecto de la gravedad.

Otro criterio para calcular el ángulo de inclinación es utilizar la latitud del sitio del proyecto, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\beta_{opt} = 3.7 + (0.69x|\phi|) \quad (1.3)$$

Donde:

β_{opt} : Ángulo óptimo de inclinación expresado, en [°]

\emptyset : Latitud del lugar de instalación expresado, en [°]

2.7.1 Número mínimo de paneles en serie.

Para un sistema fotovoltaico se necesita determinar el número de paneles en serie y para establecer este número se utiliza la siguiente expresión [26].

$$N_{minPS} = \frac{V_{mppMinInv} [V]}{V_{mppP} [V]} \quad (1.4)$$

Donde:

N_{minPS} : Número mínimo de paneles en serie

$V_{mppMinInv}$: Voltaje mpp mínimo del inversor expresado, en [V]

V_{mppP} : Voltaje mpp del panel expresado, en [V]

2.7.2 Número máximo de paneles en serie.

Se determina el número de paneles en paralelo, para evitar sobrecarga en el inversor y se utiliza la siguiente expresión [26].

$$N_{maxPS} = \frac{V_{mppMaxInv} [V]}{V_{mppP} [V]} \quad (1.5)$$

Donde:

N_{maxPS} : Número máximo de paneles en serie

$V_{mppMaxInv}$: Voltaje mpp máximo del inversor expresado, en [V]

V_{mppP} : Voltaje mpp del panel expresado, en [V]

2.7.3 Numero de ramales.

El número de ramales son necesarios para determinar el número total de paneles del sistema fotostático y para calcularlo es la relación entre la corriente máxima del

inversor y la corriente de cortocircuito del panel y se utiliza la siguiente expresión [26].

$$N_{ram} = \frac{I_{MaxInv} [A]}{I_{SCP} [A]} \quad (1.6)$$

Donde:

N_{ram} : Número de ramales

I_{MaxInv} : Corriente máxima del inversor expresado, en [A]

I_{SCP} : Corriente de cortocircuito del panel expresado, en [A]

2.7.4 Número total de paneles.

El número total de paneles del campo fotovoltaico viene expresado por la multiplicación del número de inversores, paneles en serie y el número de ramales [24].

$$N_{total P} = N_{INV} * N_{PanSerie} * N_{ram} \quad (1.7)$$

Donde:

$N_{total P}$: Número total de paneles

N_{INV} : Número de inversores

$N_{PanSerie}$: Número de paneles en serie

N_{ram} : Número de ramales

2.8 Determinación del inversor

En la selección del inversor se debe tener en consideración la potencia fotovoltaica de diseño. Es necesario utilizar un inversor con capacidad de trabajar con voltajes de operación de entre 300 y 1000 [V] [24].

2.8.1 Determinación del número de inversores.

El número total de inversores del sistema fotovoltaico se determina por la relación entre la potencia pico del sistema fotovoltaico a condiciones estándar y la potencia de salida del inversor, la relación debe ser tal que debe operar en un punto

intermedio, es decir que no se encuentre sobrecargado u operando en baja eficiencia [24]. El cálculo se lo realiza a partir de la Ecuación 1.8.

$$N_{INV} = \frac{P_{NFV} [kW]}{P_{ACINV} [kW]} \quad (1.8)$$

Donde:

N_{INV} : número de inversores

P_{NFV} : Potencia nominal del sistema fotovoltaico expresado, en [kW]

P_{ACINV} : Potencia AC del inversor expresado, en [kW]

2.9 Energía generada del campo fotovoltaico

Establecido el tipo de arreglo fotovoltaico se debe estimar la energía que producirá el campo fotovoltaico en un día, mes o año.

El cálculo se realiza por medio de la siguiente Ecuación 1.9.

$$E_{campo} = \frac{P_{CAMPOFV} [kW] \times GHI \times RG}{G_{CEM} [kW/m^2]} \quad (1.9)$$

Donde:

E_{campo} : Energía diaria expresado, en [kWh]

GHI : Índice de radiación expresado, en [kWh/m²/día]

RG : Rendimiento

2.10 Análisis económico

Para establecer un análisis económico hay que especificar varios índices financieros que permitirán establecer la viabilidad del proyecto.

Valor neto actual (VAN)

El valor neto actual es un indicador financiero que permite determinar la viabilidad y la rentabilidad de un proyecto, si este valor es negativo no será factible, si es cercano a cero el valor de la inversión inicial solo se recupera la inversión, y si el

resultado de esta operación es positivo, es decir, si refleja ganancia se puede decir que el proyecto es viable [27].

$$VAN = -Inversión\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{Fc}{(1+i)^n} \quad (1.10)$$

En donde:

Fc: representa los flujos de caja en cada período, [USD]

Inversión: Valor inicial de inversión, [USD]

t: número de períodos, [años]

n: número de períodos, [años]

i: tasa de actualización, [%]

Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR también es definido como el valor de la tasa de descuento que hace el valor del VAN sea igualado a cero [27], es así que el primer criterio para tomar la decisión de aceptar o rechazar un proyecto no es el cálculo en sino la correcta determinación de la tasa mínima aceptable de rendimiento. Si el TIR es mayor que la tasa mínima aceptable de rendimiento entonces el proyecto es viable, pero si es menor a la tasa mínima de rendimiento el proyecto será rechazado, en el caso que el TIR sea igual a cero, entonces el proyecto puede o no ser rechazado.

2.11 Determinación de protecciones

Los sistemas fotovoltaicos deben implementar protecciones en AC y DC, es decir entre los paneles e inversor y red eléctrica e inversor [24].

Arreglo paneles e inversor

Para la protección en DC se debe calcular un fusible por ramal, el cálculo para determinar la capacidad de este es [24]:

$$V_{p\ campo} = V_{oc} \times N_{pan\ en\ serie} \times 1.2 \quad (1.11)$$

$$I_{p\ ramal} = I_{sc\ panel} \times 1.56 \quad (1.12)$$

Donde:

$V_{p\ campo}$: Voltaje mínimo del fusible del ramal expresado, en [V]

$I_{p\ ramal}$: Corriente mínima del fusible del ramal expresado, en [A]

Arreglo red eléctrica e inversor

Para la protección en AC de debe calcular un breaker magnetotérmico [24], y se calcula mediante la siguiente ecuación 1.12.

$$I_{p\ out\ inv} = I_{max\ inv} \times 1.56 \quad (1.13)$$

Donde:

$I_{p\ out\ inv}$: Corriente nominal del breaker termomagnético expresado, en [A]

$I_{max\ inv}$: Corriente máxima del inversor expresado, en [A]

3 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1 Características básicas de la instalación

La instalación proyectada es una planta de generación eléctrica por medio de la tecnología solar fotovoltaica, montada en estructuras en el suelo no cultivable de VEJAN FLOWERS, la que cuenta con más de 2000 metros cuadrados para instalar la planta.

La configuración propuesta se puede ver en la Figura 3.1.

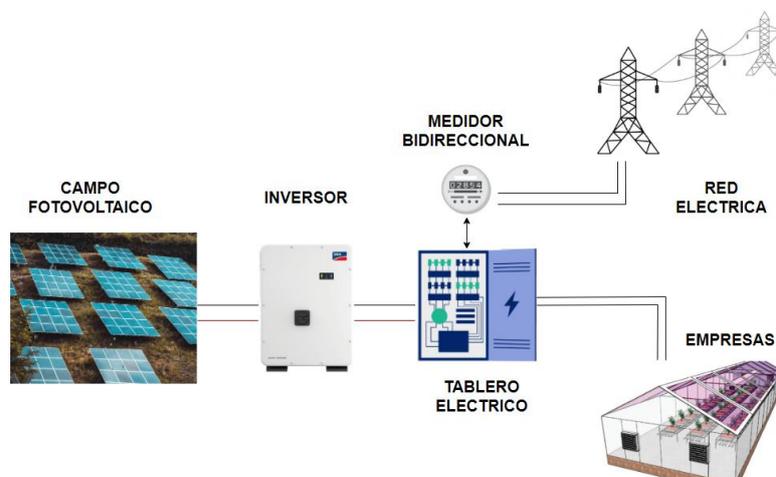


Figura 3.1. Configuración sistema fotovoltaico

3.2 Potencia máxima de diseño

Para la potencia máxima de diseño, se debe tener en cuenta los valores del consumo de energía eléctrica diaria del campo fotovoltaico.

$$P_{FOT} = \frac{Cons \text{ Diario } [kWh]}{HSP [h]}$$

$$P_{FOT} = \frac{1116.3248 [kWh]}{4.11 [h]}$$

$$P_{FOT} = 271.61 [kW]$$

El valor del consumo diario es el resultado del cálculo obtenido en el apartado 2.3 del presente documento y la hora solar pico es el valor obtenido de la NASA, para el año 2020.

3.3 Selección del módulo fotovoltaico

El campo fotovoltaico estará determinado por módulos CANADIAN SOLAR INC., modelo CS6W-550MS de 550 Wp cada uno [28], y con las siguientes características eléctricas y mecánicas de acuerdo con la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Características eléctricas y mecánicas del módulo CS6W-550MS

CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS	
Parámetro	Valor
Potencia máxima nominal (Pmax)	550 W
Voltaje de operación optimo (Vmp)	41.7 V
Corriente de operación optima (Imp)	13.2 A
Voltaje circuito abierto (Voc)	49.6 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	14.0 A
Eficiencia del módulo	21.5 %
Temperatura de operación	[-40°C ~ +85°C]
Voltaje máximo del sistema	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)
Clasificación de aplicaciones	Class A
Tolerancia de potencia	0 ~ + 10 W
CARACTERISTICAS MECÁNICAS	
Parámetro	Valor
Tipo de celda	Mono-cristalino
Dimensiones	2261 X 1134 X 30 mm (89.0 X 44.6 X 1.18 in)
Peso	27.6 kg (60.8 lbs)

Inclinación del módulo: el dato de la inclinación del módulo es definido a criterio del diseñador y este valor será de 15° para mantenimiento.

3.4 Selección del inversor

El valor de la potencia fotovoltaica se obtiene a partir del cálculo de la potencia del campo fotovoltaico y el valor de la potencia del inversor que se obtiene de la ficha técnica en condiciones estándar.

El inversor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N_{INV} = \frac{P_{NFV} [kW]}{P_{ACINV} [kW]}$$

$$N_{INV} = \frac{271.61 [kW]}{75 [kW]}$$

$$N_{INV} = 3.62$$

El número de inversores es de 3.62 sin embargo por criterios de diseño se aproxima a un número entero, para este caso será de 4 unidades.

Para la conversión de corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna de las mismas características de la red de la compañía suministradora, en esta instalación se utilizará el modelo del inversor SMA AMERICA: STP50-US40 [29], de una potencia nominal de 50 kW, y una máxima de 75 kW, las características técnicas y mecánicas se ven a continuación en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características eléctricas y mecánicas del inversor

CARACTERISTICAS ELÉCTRICAS	
Parámetro	Valor
ENTRADA DC	
Máxima potencia del arreglo	75000 Wp STC
Voltaje máximo en DC	1000 V
Rango de voltaje MPP nominal	500 V 800 V
Rango de voltaje de operación MPPT	150 V 1000 V
Voltaje en DC mínimo / voltaje de arranque	150 V / 188 V
Corriente máxima de operación entrada	120 A
Corriente máxima de cortocircuito por MPPT	30 A
SALIDA AC	
Potencia nominal en AC	50000 W
Máxima potencia aparente en AC	53000 VA
Conexión	3 / 3 – (N) – PE
Voltaje nominal AC	480 V / 277 V WYE
Rango de voltaje en AC	244 V 305 V
Frecuencia	60 Hz
Corriente máxima de salida en AC	64 A
Factor de potencia	1
Eficiencia máxima	98.3 %
CARACTERISTICAS MECÁNICAS	
Parámetro	Valor
Dimensiones	621 X 733 X 569 mm (24.4 X 28.8 X 22.4 in)
Peso	84 kg (185 lbs)

Número mínimo de paneles en serie: se calcula mediante la ecuación 1.4, en la que se define un valor estimado, valores que son tomados de las fichas técnicas.

$$N_{minPS} = \frac{V_{mppMinInv} [V]}{V_{mppP} [V]}$$

$$N_{minPS} = \frac{150 [V]}{41.7 [V]}$$

$$N_{minPS} = 3.59$$

Establecido el número mínimo de paneles en serie, por criterio de diseño se aproxima a un número entero, en este caso son 4 paneles.

Número máximo de paneles en serie: hay que establecer el rango de paneles que se instalaran en el campo fotovoltaico, valores que se obtienen de las fichas técnicas.

$$N_{maxPS} = \frac{V_{mppMaxInv} [V]}{V_{mppP} [V]}$$

$$N_{maxPS} = \frac{1000 [V]}{41.7 [V]}$$

$$N_{maxPS} = 23.98$$

El número máximo que puede tener un ramal del inversor es 24.

Número de ramales: este dato establece la cantidad de ramales que cada inversor está en la capacidad de soportar y no provocar una sobrecarga ya que puede generar daños por sobrecalentamiento.

$$N_{ram} = \frac{I_{MaxInv} [A]}{I_{scP} [A]}$$

$$N_{ram} = \frac{120 [A]}{14 [A]}$$

$$N_{ram} = 8.57$$

Se aproxima a un número entero, en este caso 8 ramales.

Número total de paneles del sistema fotovoltaico:

$$N_{total P} = N_{INV} * N_{PanSerie} * N_{ram}$$

$$N_{total P} = 4 * 13 * 8$$

$$N_{total P} = 416$$

Estimación de la energía generada: es importante conocer la energía generada por el campo fotovoltaico y así tener una comparativa con lo establecido en la estimación del consumo diario.

$$E_{campo} = \frac{P_{CAMPO\ FV} [kW] \times GHI \times RG}{G_{CEM} [kW/m^2]}$$

$$E_{campo} = \frac{228.8 [kW] \times 5.23 [kwh/m^2/día] \times 0.7}{1 [kW/m^2]}$$

$$E_{campo} = 837.63 [kwh/m^2/día]$$

$$E_{campo\ mes} = 837.63 [kwh/m^2/día] \times 31 \text{ días} = 25966.74 [kWh/m^2]$$

$$E_{campo\ año} = 837.63 [kwh/m^2/día] \times 365 \text{ días} = 305737.432 [kWh/m^2]$$

3.5 Ubicación de los paneles en el sitio

Los paneles fotovoltaicos se instalarán en la superficie no apta para cultivo, en la que se dispone de un área de 2000 metros cuadrados, y la disposición de los paneles están de acuerdo con el número total de paneles, inversores y ramales del campo fotovoltaico, la distribución preliminar referencial se encuentra en la Figura 3.2.

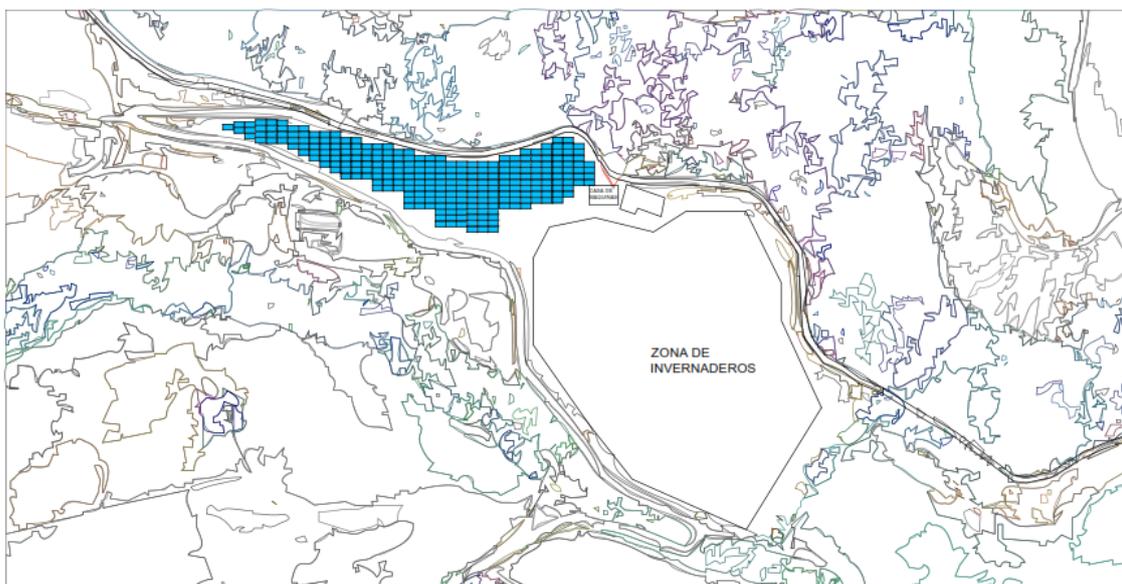


Figura 3.2. Ubicación preliminar de los paneles

3.6 Modelo de estructuras de los paneles

Se establece un modelo de estructura de acero galvanizado y concreto para la ubicación de los paneles en sitio, la estructura se muestra en la siguiente Figura 3.3.

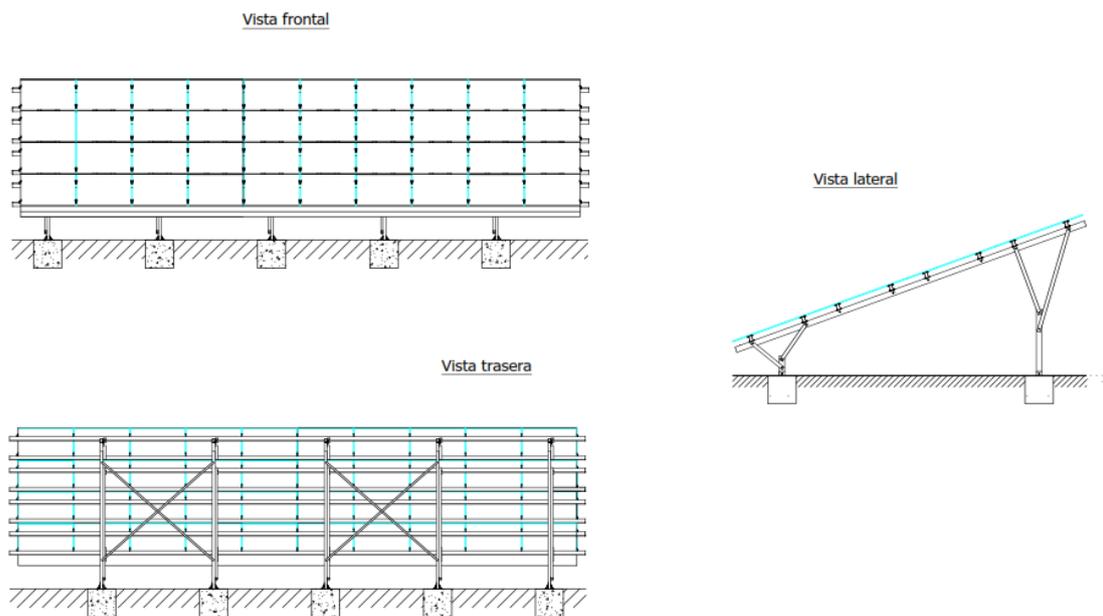


Figura 3.3. Diseño preliminar estructuras

3.7 Diagrama unifilar preliminar del campo fotovoltaico

Para la disponer de una mejor interpretación del sistema fotovoltaico, el diagrama unifilar preliminar de todo el sistema se presenta en el Anexo III. En este detalla la interconexión de los paneles, inversor e interconexión del sistema hacia la red eléctrica.

3.8 Simulación energética del sistema fotovoltaico

Se presentan los resultados obtenidos de la simulación a partir de los datos ingresados del diseño propuesto para el sistema fotovoltaico conectado a la red de energía eléctrica.

3.8.1 Ingreso de datos en el software SAM

De acuerdo con el diseño, capacidad y carga del sistema fotovoltaico se ingresan los datos de acuerdo con las siguientes instrucciones:

- a) Se inicializa el software y seleccionar la opción "Iniciar nuevo proyecto".
- b) A continuación, se selecciona el modelo del proyecto, en esta ocasión es fotovoltaico, escoger el modelo fotovoltaico detallado, distribuido, y propietario residencial o propietario comercial.
- c) Una vez creado el proyecto se debe registrar los datos del proyecto, es decir la ubicación, con la misma que se procede a descargar los datos meteorológicos de la base del software SAM.
- d) Se selecciona el panel o modulo solar, en el caso de no existir el módulo se puede ingresar de manera manual con los datos de la ficha técnica del panel a utilizar.
- e) Se selecciona el inversor, de la misma manera como el panel se realizará la selección.
- f) En el sistema de diseño, se ingresan los datos y la configuración del sistema, numero de filas, columnas y orientación.
- g) En caso de existir sombras en la opción sombreado se escogerán los datos calculados de las sombras.
- h) A continuación, se ingresan los datos de las pérdidas que el sistema estará sujeto.
- i) El siguiente punto es las características de la red, y la degradación del sistema los mismos con calculados por default.
- j) En el siguiente apartado, se ingresan los cotos de instalación y en el siguiente los costos de operación.
- k) Se ingresan los parámetros financieros, aquí se mencionan los medios por el cual se ejecutará el proyecto.
- l) Los incentivos del proyecto dependen del país en el que se construye el proyecto, sin embargo, en Ecuador aún no se ha creado leyes para incentivar la producción de energía fotovoltaica.
- m) En este apartado se ingresan los datos de los valores tarifarios establecidos en Ecuador.

Y como último punto antes de la ejecución de la simulación, se ingresan los datos de la carga eléctrica.

3.8.2 Datos numéricos para la simulación

Los datos ingresados son los descritos a continuación en la siguiente tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos ingresados en el SAM

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Longitud y Latitud	[-0.008016, -78.117878]
2	Selección del panel fotovoltaico	CS6W-550MS
3	Numero de paneles fotovoltaicos	416
4	Selección del inversor	SMA America: STP50-US-40 [480V]
5	Numero de inversores	4 U
6	Selección de número de paneles y ramales	13 paneles y 8 ramales
7	Tilt	15 °
8	Azimuth	180 °
9	GCR	0.30
10	Definición de valores de las perdidas en DC	≤ 3%
11	Perdidas en conexión	0.5 %
12	Perdidas en transmisión	3 %
13	Financiamiento	100 %
14	Plazo de financiamiento	10 años
15	Periodo de análisis	20 años
16	Tasa de inflación	2.5 % / año
17	Tasa de descuento	5.57 % / año
18	Pliego tarifario ecuatoriano	0.092 \$/kWh

Los valores establecidos para el análisis financiero en la Tabla 3.4 son tomados de la base de datos del banco central del Ecuador [30].

3.8.3 Resultados generales

En la Tabla 3.4 se presenta el resultado general de los datos simulados, con los parámetros ingresados.

Tabla 3.4. Resultados simulados en SAM

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	268,650 kWh
DC capacity factor in Year 1	13.6%
Energy yield in Year 1	1,190 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.69
LCOE Levelized cost of energy nominal	6.97 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	5.70 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$51,647
Electricity bill with system (year 1)	\$29,774
Net savings with system (year 1)	\$21,873
Net present value	\$69,609
Simple payback period	8.0 years
Discounted payback period	13.8 years
Net capital cost	\$182,124
Equity	\$0
Debt	\$182,124

Los resultados obtenidos de la simulación en SAM es que el sistema fotovoltaico generará 268,650 kWh durante el primer año y con un rendimiento energético esperado para el sistema de 1190 kWh/kW con una relación de rendimiento de 0.69. Los resultados de la simulación se muestran en la Figura 3.5, con la producción mensual de energía durante el primer año y la carga durante el primer año.

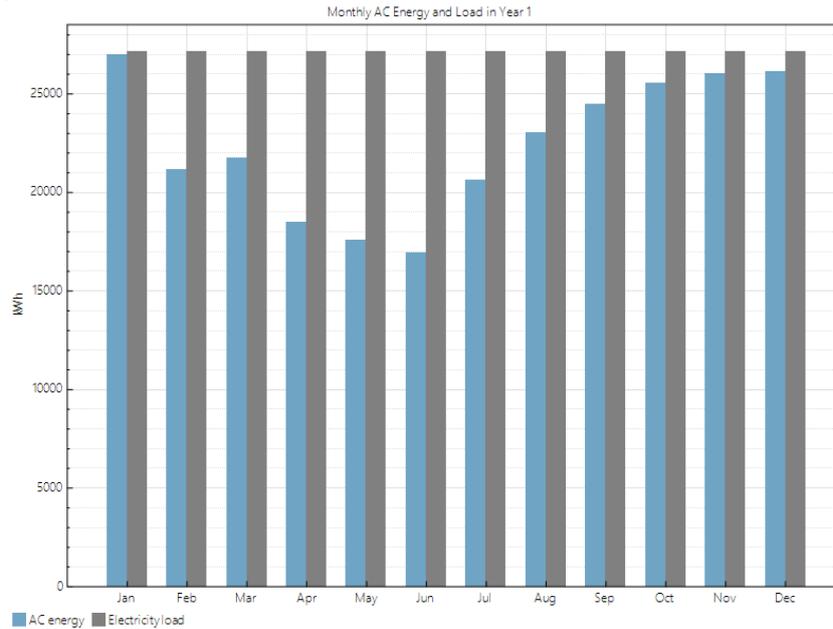


Figura 3.4. Producción de energía mensual durante el primer año

Los resultados obtenidos del SAM, de la Figura 3.5 muestra la producción de energía mensual durante el primer año y la carga eléctrica mensual se observa que la capacidad de la planta cubre la necesidad de la empresa.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 3.4, mediante el software SAM, el LCOE real es de 6.97 ¢/kWh, que es inferior según el pliego tarifario de las empresas eléctricas de distribución que es de 9.2 ¢/kWh [31].

El periodo de recuperación de la inversión será de 8 años, comparado con el periodo de 20 años de análisis de vida útil del sistema, en condiciones normales de operación es inferior y se asegura que el proyecto es viable.

En el Anexo IV se puede ver con mayor detalle el reporte de la simulación.

3.9 Análisis económico

En base a los cálculos realizados en paneles, inversores, materiales de construcción y mano de obra calificada se presenta la Tabla 3.5, son los costos de la inversión, por lo que se requiere de \$ 182,124.24 para implementar el campo fotovoltaico, el mismo que se cubrirá con un crédito a una entidad bancaria, aplicando la tasa interés pasiva que establece el BCE.

Tabla 3.5. Costos de inversión

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Panel Fotovoltaico Canadian Solar ModeloCS6W-550MS	U	416	\$ 267.06	\$ 111,096.96
Inversor SMA America: STP50-US-40 [480V]	U	4	\$ 5,500.00	\$ 22,000.00
Estructuras de soporte	U	32	\$ 358.86	\$ 11,483.52
Cableado, tableros, protecciones	GLB	1	\$ 24,003.41	\$ 24,003.41
Servicio de instalación	GLB	1	\$ 13,540.35	\$ 13,540.35
TOTAL				\$ 182,124.24

Para el cálculo y análisis del VAN se considera una tasa de interés pasiva de 5.57%, por un tiempo de 20 años, los datos para el cálculo son, el flujo de caja y la vida útil considerando estos datos se obtiene:

$$VAN = -Invesion\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{Fc}{(1+i)^n}$$

$$VAN = -0 + \frac{-3498.48}{(1+0.0557)^1} + \frac{-2979.79}{(1+0.0557)^2} + \dots + \frac{33163.58}{(1+0.0557)^{20}}$$

$$VAN = 155758.90\ USD$$

$$0 = -Invesion\ inicial + \sum_{t=1}^n \frac{Fc}{(1+TIR)^n}$$

$$TIR = 39\ \%$$

Tabla 3.6. Análisis del VAN para la empresa Vejan Flowers

AÑO	AHORRO ANUAL POR LA ENERGIA PRODUCIDA	PAGO FINANCIAMIENTO	COSTOS MANTENIMIENTO	FLUJO DE CAJA	VAN	
	USD	USD	USD	USD	USD	
1	21873.10	24243.18	1128.40	-3498.48	-3313.89	-3313.89
2	22420.00	24243.18	1156.61	-2979.79	-2673.65	-5987.54
3	22980.50	24243.18	1185.53	-2448.20	-2080.77	-8068.31
4	23555.00	24243.18	1215.16	-1903.34	-1532.33	-9600.64
5	24143.90	24243.18	1245.54	-1344.82	-1025.56	-10626.20
6	24747.50	24243.18	1276.68	-772.36	-557.92	-11184.12
7	25366.10	24243.18	1308.60	-185.68	-127.05	-11311.17
8	26000.30	12421.76	1341.31	12237.23	7931.56	-3379.61
9	26650.30	0.00	1374.85	25275.45	15517.94	12138.33
10	27316.60	0.00	1409.22	25907.38	15066.70	27205.03
11	27999.50	0.00	1444.45	26555.05	14628.55	41833.58
12	28699.50	0.00	1480.56	27218.94	14203.15	56036.73
13	29417.00	0.00	1517.57	27899.43	13790.13	69826.86
14	30152.40	0.00	1555.51	28596.89	13389.10	83215.96
15	30906.20	0.00	1594.40	29311.80	12999.73	96215.69
16	31678.80	0.00	1634.26	30044.54	12621.68	108837.37
17	32470.80	0.00	1675.12	30795.68	12254.65	121092.02
18	33282.60	0.00	1716.99	31565.61	11898.29	132990.31
19	34114.60	0.00	1759.92	32354.68	11552.26	144542.57
20	34967.50	0.00	1803.92	33163.58	11216.33	155758.90

El análisis de retorno obtenido por el autoconsumo generado les permitirá ahorrar el costo de la energía y con los valores positivos del VAN y TIR se puede demostrar que cumplen con las condiciones necesarias para que el proyecto sea viable, según los valores presentados en la Tabla 3.5 en un periodo de análisis de 20 años.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Por medio del trabajo de integración curricular se ha diseñado un sistema fotovoltaico conectado a la red para el autoabastecimiento de la empresa “Vejan Flowers”, el cual, estará montado en estructuras a nivel de piso del suelo no cultivable de la empresa. Entre las características básicas de este sistema se tiene que, consta de 416 módulos y 4 inversores, con lo que se dispondrá de 1336.320 m² de superficie de captación fotovoltaica.
- Mediante la revisión de la literatura científica disponible asociada a los sistemas fotovoltaicos, se concluye que, la principal ventaja de un sistema conectado a la red es su sencillez, sus costos de funcionamiento y mantenimiento relativamente bajos y la reducción de la factura eléctrica. Sin embargo, la desventaja es que hay que instalar un número suficiente de paneles solares para generar la cantidad necesaria de energía.
- Se concluye que, para la determinación de los valores de irradiación disponible en el lugar de la instalación fotovoltaica se ha utilizado la base de datos del software SAM, el cual proporciona los datos meteorológicos ingresando las coordenadas geográficas del lugar. Adicionalmente, el software SAM es un programa que permite realizar diseños de proyectos de energía renovable y que se pueden obtener resultados técnicos y económicos, para determinar la viabilidad del mismo, también posee una amplia gama de paneles solares e inversores, con una variedad de marcas que se encuentran en el mercado.
- Finalmente, el diseño realizado se puede determinar que es factible desde un punto de vista técnico y económico, el ahorro generado por el autoconsumo y el vertido de excedentes a la red eléctrica posibilita la obtención de un excelente retorno para usuarios comerciales e industriales.

4.2 Recomendaciones

- Ecuador es un lugar con un alto potencial solar, debido a su ubicación en la línea ecuatorial en la que los proyectos de energías renovables son viables técnicamente, el Ecuador debería establecer reglamentos para incentivar el uso y aprovechamiento de la energía fotovoltaica, así como el un pliego tarifario exclusivo para los usuarios de los sistemas fotovoltaicos.
- Se recomienda considerar que los resultados de este estudio pueden ser de gran utilidad en proyectos similares, que pueden estar ubicados en empresas con actividades económicas relacionadas con la agricultura.
- Para futuras investigaciones en el sitio de estudio, sería recomendable incluir más variables en el modelo como la contaminación del aire, la altitud o incluso detalles no meteorológicos como el área disponible para la implementación del sistema, entre otras, con la finalidad de conducir a un estudio más preciso y mejores dimensiones de acuerdo con los requisitos del consumidor.
- Se recomienda implementar incentivos fiscales para sistemas fotovoltaicos de autoconsumo a pequeños y grandes consumidores, también se recomienda reducir la autorización de permisos para la implementación de estos sistemas
- El futuro del desarrollo fotovoltaico ecuatoriano dependerá de la actualización de la legislación que regula los proyectos fotovoltaicos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] “Herramientas innovadoras para combatir el cambio climático - Conexión Intal.” <https://conexionintal.iadb.org/2017/01/31/tecnologias-disruptivas-para-combatir-el-cambio-climatico/> (accessed Mar. 05, 2023).
- [2] J. P. Muñoz-Vizhñay, M. V. Rojas-Moncayo, and C. R. Barreto-Calle, “Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador,” *Ingenius*, no. 19, pp. 60–68, Jan. 2018, doi: 10.17163/INGS.N19.2018.06.
- [3] “National Renewable Energy Laboratory (NREL) Home Page | NREL.” <https://www.nrel.gov/index.html> (accessed Mar. 01, 2023).
- [4] H. H. Rogner, *Energy resources*. 2012.
- [5] “Renewable Resources.” <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-resources/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [6] “Renewable Energy Explained.” <https://education.nationalgeographic.org/resource/renewable-energy-explained/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [7] J. Twidell, “Renewable Energy Resources,” *Renewable Energy Resources*, Nov. 2021, doi: 10.4324/9780429452161.
- [8] J. A. Hernández Mora, A. F. Cortés Borray, D. A. Balaguera Cañola, and M. A. Urueña Saavedra, “Aplicación de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: estado del arte,” *Revista Tecnura*, vol. 18, p. 157, Nov. 2014, doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.se1.a12.
- [9] “PV Applications.” <https://natural-resources.canada.ca/energy/energy-sources-distribution/renewables/solar-photovoltaic-energy/pv-applications/7339> (accessed Mar. 01, 2023).
- [10] C. Lupangu and R. C. Bansal, “A review of technical issues on the development of solar photovoltaic systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 73, pp. 950–965, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.02.003.

- [11] V. Chávez Chambi, R. Condori Yucra, P. Y. Puma Roque, and N. J. Beltrán Castañón, “Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3 kW con convertidores cc/cc analizado en las condiciones geográficas y climatológicas la ciudad de Juliaca,” *Universidad Nacional de Juliaca*, vol. 3, no. Vol. 3, Num. 1, pp. 13–22, Oct. 2020, doi: 10.47190/NRIC.V3I1.122.
- [12] “Ver artículo.” https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=X5xPjmkAAAAJ&citation_for_view=X5xPjmkAAAAJ:XiSMed-E-HIC (accessed Mar. 01, 2023).
- [13] “Autogeneración - Autoconsumo.” <https://autoconsumo.minenergia.cl/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [14] “Micro generación fotovoltaica permitirá el autoabastecimiento de energía eléctrica – Operador Nacional de Electricidad CENACE.” <http://www.cenace.gob.ec/micro-generacion-fotovoltaica-permitira-el-autoabastecimiento-de-energia-electrica/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [15] A. Poullikkas, G. Kourtis, and I. Hadjipaschalis, “A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources,” *International Journal of Energy and Environment (Print)*, vol. 4, 2013.
- [16] “Generación y uso óptimo de energía solar» Home | SMA Solar | SMA Solar.” <https://www.sma.de/es/residencial/generacion-consumo-optimo-energia-solar> (accessed Mar. 01, 2023).
- [17] “Discovery of the photoelectric effect and photons | Britannica.” <https://www.britannica.com/video/151060/Explanation-photoelectric-effect> (accessed Mar. 17, 2023).
- [18] “Análisis Técnico y Económico de la Implementación del Net Metering para diferentes tipos de Consumidores de Electricidad en el Ecuador | Revista Técnica ‘energía.’” <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/464/580> (accessed Mar. 01, 2023).

- [19] "Symposium | Perspectives on PV Integration: State-of-the-art Technology and Applications."
<https://collegerama.tudelft.nl/Mediasite/Play/c32ca0f824e3451793007cf41c322fc91d> (accessed Mar. 01, 2023).
- [20] M. I. Julio González Prado, "New Technologies on Solar Cells Development," 2018. [Online]. Available: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- [21] "NSRDB." <https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer> (accessed Jan. 31, 2023).
- [22] "Vista de ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO DE OPTOELECTRÓNICA PARA LA RECREACIÓN DEL EFECTO FOTOELÉCTRICO EN EL PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA I.U. CESMAG EN SAN JUAN DE PASTO."
<https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/1140/1141> (accessed Mar. 01, 2023).
- [23] "POWER | Data Access Viewer." <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [24] R. A. Naranjo Vargas, "Guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos para el autoabastecimiento de unidades habitacionales : guía para el diseño de sistemas fotovoltaicos para el autoabastecimiento de unidades habitacionales.," 2022, Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23258>
- [25] E. S. Aguilar Bagua, "Simulación de un sistema aislado de energía fotovoltaica para el LTI-ESFOT.," Jan. 2022, Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22063>
- [26] T. de Titulación Previo, A. la Obtención, D. T. De, P. Andres, and P. Sarmiento, "Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico de dos etapas acoplado a la red eléctrica trifásica.," 2022, Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23445>

- [27] N. Herrera and J. Andrés, “Estudio técnico-económico de tecnologías de energía renovable para la Granja Avícola Avitrave.,” May 2021, Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21658>
- [28] “HiKu6 – Canadian Solar – Global.” <https://www.canadiansolar.com/hiku6/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [29] “Sunny Tripower CORE1 | SMA America.” <https://www.sma-america.com/products/solarinverters/sunny-tripower-core1> (accessed Mar. 01, 2023).
- [30] “Tasas de Interés - Banco Central del Ecuador.” <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/148-tasas-de-inter%C3%A9s> (accessed Mar. 06, 2023).
- [31] “Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022 – Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.” <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/> (accessed Mar. 18, 2023).

6 ANEXOS

ANEXO I

Ficha técnica panel solar







HiKu6 Mono PERC

530 W ~ 555 W

CS6W-530 | 535 | 540 | 545 | 550 | 555MS

MORE POWER

- 555 W

Module power up to 555 W

Module efficiency up to 21.6 %
- \$

Up to 4.5 % lower LCOE

Up to 5.6 % lower system cost
- Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 30% lower degradation
- Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
- Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- Minimizes micro-crack impacts
- Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

12
Years

Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*

25
Years

Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%

Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO / MCS / UKCA
CFC (Inland (US California) / FSEC (US Florida))
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716 / IEC 60068-2-68
UL9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-a-way

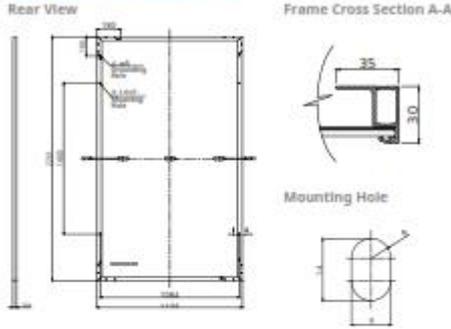


* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates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

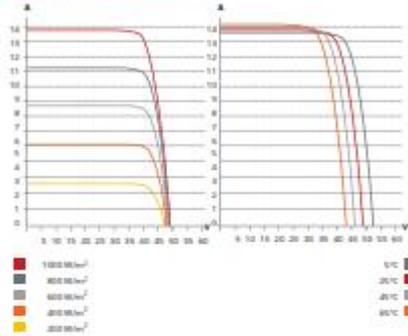
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

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

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6W-530MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ +10 W					

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W	416 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A	10.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V	47.1 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A	11.33 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 x 1134 x 30 mm (89.0 x 44.6 x 1.18 in)
Weight	27.6 kg (60.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2
Per Pallet	35 pieces
Per Container (40' HQ)	700 pieces

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

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

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

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustments to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

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

June 2022. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V2.4_01N

ANEXO II

Ficha técnica del inversor

Machine Translated by Google

SOLEADO
TRIPOTENCIA
NÚCLEO1

PRODUCTOS COMERCIALES SMA

Se
sostiene por sí solo.



Instalación hasta un 60 % más rápida
para sistemas fotovoltaicos comerciales

ENERGY
THAT
CHANGES



SOLEADO
TRIPOTENCIA
NÚCLEO1

El futuro de lo comercial

sistemas fotovoltaicos

Escalabilidad para el máximo rendimiento energético

El rango de potencia de 50kVA le ofrece la escalabilidad perfecta hasta su rango de MW. Debido a su diseño de producto único, es posible una relación CC/CA del 150 %. Gracias al 6 MPP-Tracker, incluso en tejados no homogéneos o con sombra, se maximiza el rendimiento energético.

Concepto consistentemente integrado

Nuestro concepto compacto con combinador de CC integrado y protección contra sobretensiones opcional permite la conexión directa de cadenas fotovoltaicas a través de enchufes. Las secciones transversales de hasta AWG 40 para cables de CA de aluminio y cobre reducen las pérdidas de energía.

Eficiente y económico

El COME1 se puede instalar directamente en un techo sin bastidores de montaje adicionales. Solo se necesita una subestructura simple para otras aplicaciones fotovoltaicas comerciales. Hay ahorros adicionales por los gastos considerablemente más bajos en logística, instalación y materiales.

2

Se sostiene por sí mismo





Máximo rendimiento y máxima eficiencia gracias a un diseño innovador

El Sunny Tripower CORE1 es el primer inversor string independiente del mundo para sistemas fotovoltaicos descentralizados de montaje en techo y suelo, así como en espacios de estacionamiento cubiertos.

El innovador diseño nuevo permite aumentos en la velocidad de instalación de hasta un 60 % y, al mismo tiempo, reduce el costo total de propiedad (OPEX).

Sistema de refrigeración activo OptiCool™ El sistema de

refrigeración inteligente OptiCool™ de SMA es fiable y garantiza la máxima producción de energía, incluso en condiciones adversas. Asegure su inversión en energía solar y reduzca sus costos de servicio con tecnología de alto rendimiento, que ha demostrado su valía en todo el mundo con más de 50 GW de potencia instalada.

Comunicación rápida y fácil

La interfaz WLAN integrada hace posible un acceso fácil y eficiente a CORE1 con cualquier dispositivo móvil. Gracias al asistente en línea de SMA, la configuración y la puesta en marcha son mucho más sencillas y pueden realizarse en poco tiempo.

Perfecta integración en la red

Gracias a la gestión de red de vanguardia, la compatibilidad con SunSpec Modbus® y el monitoreo remoto opcional las 24 horas, los 7 días de la semana, CORE1 ofrece funciones de control y monitoreo del sistema fotovoltaico de alto rendimiento. Los usuarios se benefician de una configuración fácil y una conexión a la red rápida y fiable.

SOLEADO
TRIPOTENCIA
NÚCLEO1

Potencia compacta para máxima eficiencia

La solución versátil para techos comerciales,
cocheras y proyectos de montaje en suelo



4

Se sostiene por sí mismo



Soleado Tripower CORE1.

Ahorró costes: desde la logística hasta los servicios

El CORE1 es la tercera generación de la exitosa familia de productos Sunny Tripower y está revolucionando el mundo de los inversores comerciales con su diseño innovador. El desafío para los Ingenieros de SMA fue combinar un diseño único con un método de instalación innovador para aumentar significativamente la velocidad de instalación.

El resultado: el retorno óptimo de la inversión para todos los grupos objetivo.

Desde la entrega y la instalación hasta la operación, el Sunny Tripower CORE1 hace posible un gran ahorro en logística, mano de obra, materiales y servicios. Con acceso WLAN integrado para una puesta en marcha rápida, comunicación plug-and-play actualizada y funciones inteligentes para soporte de red, las instalaciones fotovoltaicas son más rápidas y fáciles de completar que nunca.



NÚCLEO SUNNY TRIPOWER1 PARA DISTRIBUIDORES

Los pedidos, el almacenamiento y la logística de los inversores se han simplificado sustancialmente como resultado de la máxima integración del CORE1. Se consiguen ahorros adicionales gracias a:

- Uso flexible con un solo producto
- Plataforma mundial para uso universal
- Menos componentes y componentes BoS
- Amplio soporte y servicio



NÚCLEO SUNNY TRIPOWER1 PARA EPCS Y DESARROLLADORES

Los márgenes atractivos se logran solo con costos reducidos de compra, instalación y mantenimiento. Eso es exactamente lo que se tuvo en cuenta en el desarrollo de CORE1. Beneficio de:

- Concepto de conectar y usar
- Instalación más rápida y menor mano de obra
- Costos de materiales reducidos
- Herramienta gratuita para la planificación del sistema



NÚCLEO SUNNY TRIPOWER1 PARA LAS EMPRESAS DE SERVICIOS ELÉCTRICOS

SMA sabe que los costes operativos y de mantenimiento eficientes a lo largo de toda la vida útil y el rendimiento sin problemas son de vital importancia para las empresas energéticas. Por ello, CORE1 ofrece:

- El LCOE más bajo
- Monitoreo remoto 24/7 gracias al servicio número uno mundial equipo
- Una interfaz efectiva para el seguimiento de clientes
- Servicio de gestión de red inteligente

La combinación de flexibilidad y eficiencia

Diseño innovador para el máximo retorno de la inversión

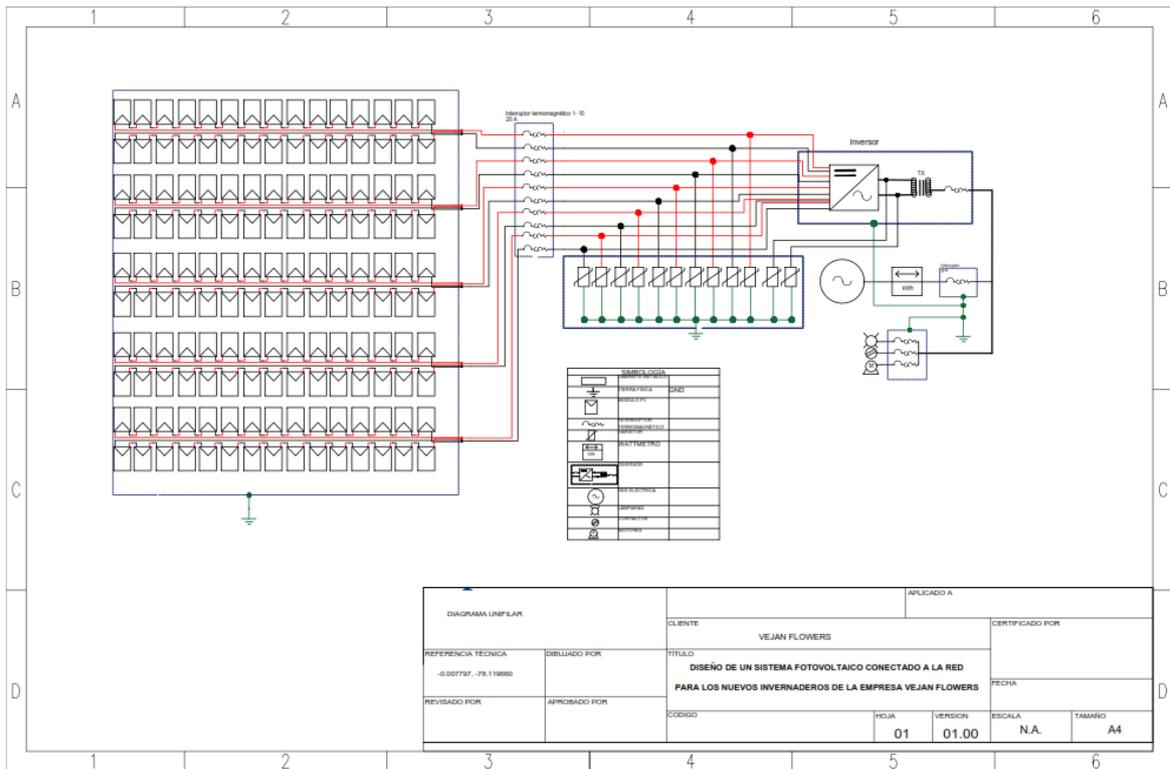


Dimensiones 821
mm / 733 mm / 569 mm (24,4 pulg. x 25,5 pulg. x 22,4 pulg.)

Peso 54 kg
(119 libras)

ANEXO III

Diagrama unifilar



ANEXO IV

Reporte de la simulación

System Advisor Model Report

Detailed Photovoltaic
Commercial

226 DC kW Nameplate
\$0.81/W Installed Cost

0.05, -78.14
UTC -5

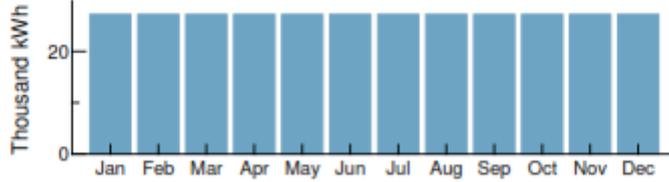
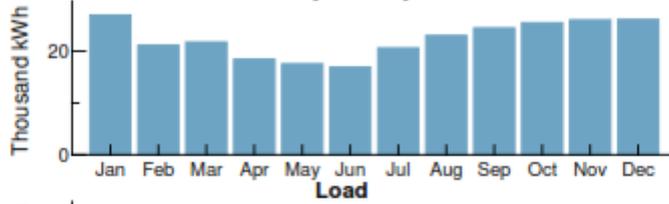
Performance Model					Financial Model	
Modules					Project Costs	
CSI Solar Co. Ltd. CS6W-550MS					Total installed cost	\$182,124
Cell material	Mono-c-Si				Salvage value	\$0
Module area	2.49 m ²				Analysis Parameters	
Module capacity	550.44 DC Watts				Project life	20 years
Quantity	416				Inflation rate	2.5%
Total capacity	225.68 DC kW				Real discount rate	6.4%
Total area	1,020 m ²				Project Debt Parameters	
Inverters					Debt fraction	100%
SMA America: STP50-US-40					Amount	\$182,124
Unit capacity	50 AC kW				Term	10 years
Input voltage	500 - 800 VDC DC V				Rate	5.57%
Quantity	4				Tax and Insurance Rates	
Total capacity	200 AC kW				Federal income tax	0 %/year (average)
DC to AC Capacity Ratio	1.13				State income tax	0 %/year (average)
AC losses (%)	0.00				Sales tax (% of indirect cost basis)	0%
Four subarrays:					Insurance (% of installed cost)	0 %/year
	1	2	3	4	Property tax (% of assessed val.)	0 %/year
Strings	8	8	8	8	Incentives	
Modules per string	13	13	13	13	None	
String Voc (DC V)	644.80	644.80	644.80	644.80	Electricity Usage and Rate Summary	
Tilt (deg from horizontal)	25.00	25.00	25.00	25.00	Annual peak demand 111.2 kW	
Azimuth (deg E of N)	180	180	180	180	Annual total usage 325,932 kWh	
Tracking	no	no	no	no	Generic Commercial	
Backtracking	-	-	-	-	Monthly excess with kWh rollover	
Self shading	no	no	no	no	Tiered TOU energy rates: 4 periods, 1 tier	
Rotation limit (deg)	-	-	-	-	Monthly TOU demand rates with tiers	
Shading	no	no	no	no	Results	
Snow	no	no	no	no	Nominal LCOE	7 cents/kWh
Soiling	yes	yes	yes	yes	Net present value	\$69,600
DC losses (%)	17.25	17.25	17.25	17.25	Payback period	8 years
Performance Adjustments						
Availability/Curtailment	none					
Degradation	none					
Hourly or custom losses	none					
Annual Results (in Year 1)						
GHI kWh/m ² /day	5.12	5.12	5.12	5.12		
POA kWh/m ² /day	4.00	4.00	4.00	4.00		
Net to inverter	292,000 DC kWh					
Net to grid	268,000 AC kWh					
Capacity factor	13.6					
Performance ratio	0.69					

Detailed Photovoltaic
Commercial

226 DC kW Nameplate
\$0.81/W Installed Cost

0.05, -78.14
UTC -5

Year 1 Monthly Generation and Load Summary
Electricity from System



Year 1 Monthly Electric Bill and Savings (\$)

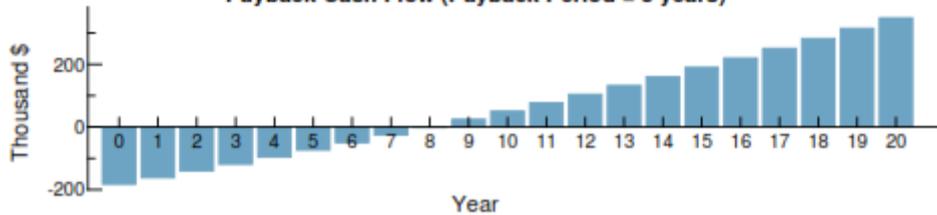
Month	Without System	With System	Savings
Jan	3,941	2,333	1,607
Feb	4,120	2,609	1,511
Mar	3,900	2,133	1,766
Apr	4,315	2,665	1,649
May	4,490	2,895	1,595
Jun	4,632	3,031	1,600
Jul	4,742	2,621	2,120
Aug	4,582	2,434	2,147
Sep	4,790	2,149	2,641
Oct	4,501	2,358	2,142
Nov	3,827	2,280	1,547
Dec	3,801	2,258	1,543
Annual	51,646	29,773	21,873

NPV Approximation using Annuities

Annuities, Capital Recovery Factor (CRF) = 0.11		
Investment	\$-0	Sum:
Expenses	\$-18,400	\$7,600
Savings	\$0	NPV = Sum / CRF:
Energy value	\$26,000	\$69,000

Investment = Installed Cost - Debt Principal - IBI - CBI
 Expenses = Operating Costs + Debt Payments
 Savings = Tax Deductions + PBI
 Energy value = Tax Adjusted Net Savings
 Nominal discount rate = 9.06%

Payback Cash Flow (Payback Period = 8 years)



Detailed Photovoltaic
Commercial

226 DC kW Nameplate
\$0.81/W Installed Cost

0.05, -78.14
UTC -5

