

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Electricidad

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONECTADO A
RED, PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA ALFADELI S.A.**

Trabajo de grado previo obtención del título de Ingeniero

Eléctrico

AUTOR:

Nelson Rigoberto Montenegro Calderón.

DIRECTOR:

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc.

Ibarra, 2024



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1 IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040186742-9
APELLIDOS Y NOMBRES:	Montenegro Calderón Nelson Rigoberto
DIRECCIÓN:	El Olivo
EMAIL:	nrmontenegroc@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	S/N
TELÉFONO MÓVIL:	0986163838
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red, para la industria agrícola ALFADELI S.A.
AUTOR:	Montenegro Calderón Nelson Rigoberto
FECHA:	7 de febrero de 2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
DIRECTOR:	Ing. Olger Arellano

2 CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 7 días de febrero de 2024.

EL AUTOR:

Montenegro Calderón Nelson Rigoberto
C.C. 0401867429



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

Ing. Arellano Bastidas Olger Gilberto

CERTIFICACIÓN

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Montenegro Calderón Nelson Rigoberto, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED, PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA ALFADELI S.A.". Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico: aprobando la defensa, impresión y empastado.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Olger Arellano".

Ing. Olger Arellano.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ibarra, 07 de febrero del 2024

DEDICATORIA

A mis estimados padres mi madre Magola Calderón y mi padre German Montenegro, y a la divina providencia que ha sido mi guía constante en este viaje académico, dedico con profundo agradecimiento esta tesis. Que su colaboración y apoyo han sido pilares fundamentales para el logro de este éxito. Nuestra presencia constante, llena de amor y aliento, ha hecho posible este camino. Les expreso mi más sincera gratitud por permanecer a mi lado.

AGRADECIMIENTO

Para mi padre German, quien ha sido mi fuente inagotable de inspiración y apoyo incondicional en cada paso de esta travesía académica. Tu sabiduría, paciencia y amor han sido un faro en los momentos más desafiantes. Esta tesis lleva impreso el reflejo de tus valores y enseñanzas, y te la dedico con el más profundo agradecimiento.

A mi querida madre Magola, cuya inquebrantable dedicación y amor incondicional han sido mi roca en este camino hacia la culminación de esta tesis. Tú has sido mi constante motivación y apoyo emocional, impulsándome a alcanzar mis metas. Dedico esta obra con todo mi corazón, en reconocimiento a tu inigualable presencia y aliento a lo largo de este viaje.

A Dios, mi guía constante a lo largo de este viaje académico, te dedico esta tesis como una expresión de mi gratitud por tu dirección divina. En los momentos de incertidumbre, encontré fortaleza en mi fe, y tu presencia silenciosa pero poderosa me dio la confianza para perseverar. Que este trabajo refleje mi humilde reconocimiento de tu amor y guía en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
Resumen.....	XVI
Abstract.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
Antecedentes.....	XVIII
Problema de investigación	XIX
Formulación del problema	XIX
OBJETIVOS.....	XX
Objetivo General.....	XX
Objetivos Específicos	XX
ALCANCE	XX
JUSTIFICACIÓN	XXI
1 CAPÍTULO I.....	1
1.1 Conceptos Básicos de la Energía Fotovoltaica.....	1
1.1.1 Radiación Solar.....	1
1.2 Irradiación Solar	2
1.3 Características del Sistema Fotovoltaico	2

1.4	Beneficios de los sistema fotovoltaico-ongrid.....	3
1.5	Funcionamiento de un sistema fotovoltaico-ongrid	3
1.6	Componentes.....	5
1.7	Panel Solar.....	6
1.8	Estructura de Soporte de las Placas Solares	8
1.9	Inversor Fotovoltaico.....	9
1.10	Protecciones	11
1.11	Medidor Bidireccional.....	13
1.12	Regulación ARCENNR-001/2021	14
2	CAPITULO II	17
2.1	Lugar de Estudio.....	17
2.2	Metodología de Procedimiento.....	18
2.3	Condiciones climáticas de la localidad del estudio.....	20
2.4	Consumo eléctrico de la Agrícola.....	22
2.4.1	Consumo eléctrico proporcionado por la empresa Eléctrica EMELNORTE S.A.....	22
2.5	Parámetros para el Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico	23
2.5.1	Formato de levantamiento de cargas.....	23
2.5.2	Valor promedio mensual de consumo.....	24
2.5.3	Hora solar pico.....	25

2.5.4	Potencia del sistema fotovoltaico.....	27
2.5.5	Numero de paneles fotovoltaicos.....	27
2.5.6	Factor de planta.....	28
2.5.7	Área requerida para el arreglo de paneles.....	28
2.5.8	Posición de los paneles.....	29
2.6.7.1	Acimut u orientación (α).....	29
2.6.7.2	Inclinación o elevación.....	30
2.6.7.3	Distancia entre paneles.....	30
2.5.9	Dimensionamiento del inversor.....	31
2.5.10	Dimensionamiento del conductor eléctrico.....	35
2.5.11	Protecciones de voltaje y corriente.....	36
2.5.12	Relación porcentual entre la generación del sistema fotovoltaico y consumo energético.....	39
2.5.13	Generación anual.....	39
2.5.14	Factor de ponderación.....	40
2.5.15	Matriz de ponderación.....	40
2.6	Cálculo del consumo energético.....	41
2.6.1	Consumo energético promedio calculado.....	41
2.6.2	Formato de consumo energético estimado de acuerdo con el tiempo de operación.....	42
2.7	Selección del panel fotovoltaico.....	43

2.8	Cálculo de los valores de operación del arreglo de módulos fotovoltaicos	47
2.9	Área disponible para la instalación del sistema fotovoltaico	49
2.10	Selección del inversor.....	50
2.11	Cálculo de los valores de operación del inversor respecto a los valores del módulo fotovoltaico	54
2.12	Cálculo del valor de los conductores	56
2.13	Cálculo de las protecciones del sistema	57
2.14	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.....	58
2.15	Producción anual de energía estimada.....	59
2.16	Discusión de resultados.....	59
3	CAPÍTULO III	62
3.1	Software empleado	62
3.1.1	MATLAB	62
3.1.2	SIMULINK.....	62
3.1.3	PVSYST.....	63
3.1.4	PVGIS.....	63
3.2	Radiación solar y temperatura del lugar.....	63
3.3	Radiación solar determinada mediante el software PVGIS.....	65
3.4	Simulación empleando el software PVSYST	67
3.4.1	Selección de Equipos para el software PVSYST	67

3.4.2	Dimensionamiento de potencia del sistema fotovoltaico.....	68
3.4.3	Simulación del sistema fotovoltaico	69
3.5	Simulación empleando MATLAB/SIMULINK.....	71
3.5.1	Potencia del panel de acuerdo con variaciones de radiación y temperatura	72
3.5.2	Potencia entregada por los inversores en paralelo	72
3.5.3	Potencia entregada anualmente por el sistema fotovoltaico	73
3.6	Análisis de resultados	74
3.7	Propuesta técnica para un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en la Industria ALFADELI S.A.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		79
Conclusiones.....		79
Recomendaciones		80
REFERENCIAS.....		81
ANEXOS		85
Anexo A - Plano Unifilar Del Sistema Fotovoltaico		85
Anexo B - Plano De Distribución De Los Paneles Solares.....		86
Anexo C – Planilla De Consumo Eléctrico De Alfadeli S.A.		87
Anexo D – Visita Técnica A La Agrícola Alfadeli S.A.		89
Anexo E – Hoja De Datos Del Inversor Fotovoltaico.....		92
Anexo F - Hoja Del Panel Solar		94

Anexo G – K2 SYSTEMS MULTIRAL	96
Anexo H – Cable Fotovoltaico Energyflex – Pv Wire	116
Anexo I – Cable De Corriente Alterna	119
Anexo J- Factor de corrección	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Funcionamiento de un SISTEMA FOTOVOLTAICO-OnGrid en el día.....	4
Figura 2	Funcionamiento de un SISTEMA FOTOVOLTAICO-OnGrid en la noche	5
Figura 3	Esquema de componentes de un SISTEMA FOTOVOLTAICO-OnGrid ..	6
Figura 4	Tipos de Paneles Solares	7
Figura 5	Estructura de soporte para terraza de Paneles Solares.....	9
Figura 6	Simbología de un Inversor Fotovoltaico	10
Figura 7	Conexiones de un inversor fotovoltaico.....	11
Figura 8	Caja de protecciones de CC de las placas solares	12
Figura 9	Caja de protecciones de CA del inversor	13
Figura 10	Medidor Bidireccional	14
Figura 11	Vista cenital de la industria agrícola ALFADELI S.A.	17
Figura 12	Ubicación de la Agrícola y vía de acceso.....	18
Figura 13	Diagrama de bloques de la metodología cuantitativa.....	19
Figura 14	Área disponible para el arreglo de paneles 375 m ²	50
Figura 15	Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico	58
Figura 16	Radiación solar en la ubicación de la agrícola alfadeli	65
Figura 17	Pantalla del software de simulación solar PVGIS en la zona de la Agrícola	66
Figura 19	Sistemas fotovoltaicos en PVSYST.....	67

Figura 20 Selección de equipos para en el software PVSYST 68

Figura 21 Dimensionamiento de la potencia del sistema fotovoltaico 69

Figura 22 Valores obtenidos del sistema fotovoltaico tras la simulación 70

Figura 23 Diagrama de bloques del arreglo de paneles fotovoltaicos 71

Figura 24 Potencia entregada por el panel en diferentes condiciones de pruebas
..... 72

Figura 25 Potencia entregada por el sistema fotovoltaico en diferentes condiciones
de pruebas 73

Figura 26 Potencia entregada por el sistema fotovoltaico en un año 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de temperatura ambiente mensual e irradiación en un plano de 5°	21
Tabla 2 Datos de consumo energético mensual de la agrícola Alfadeli S.A.	23
Tabla 3 Parámetros por considerar en el levantamiento de cargas.....	23
Tabla 4 Valores de Ponderación.....	41
Tabla 5 Consumo Energético de la Agrícola Alfadeli S.A a partir de la planilla ...	41
Tabla 6 Consumo Energético estimado de la Agrícola Alfadeli S.A.....	42
Tabla 7 Matriz de Ponderación Costo y Disponibilidad del Panel Fotovoltaico.....	44
Tabla 8 Matriz de Ponderación Eficiencia del Panel Fotovoltaico.....	45
Tabla 9 Matriz de Ponderación de la Tecnología Anti-sombras del Panel Fotovoltaico.....	45
Tabla 10 Resultados del Criterio de Ponderación de las Placas Solares	46
Tabla 11 Valores de operación del sistema fotovoltaico	47
Tabla 12 Matriz de Ponderación Costo y Disponibilidad del Inversor Fotovoltaico	51
Tabla 13 Matriz de Ponderación de Eficiencia del Inversor Fotovoltaico	52
Tabla 14 Matriz de Ponderación de la Potencia Nominal del Inversor Fotovoltaico	52
Tabla 15 Resultados del Criterio de Ponderación.....	53
Tabla 16 Valores de operación del inversor.....	54
Tabla 17 Conductor eléctrico para el sistema en corriente continua	56

Tabla 18	Conductor eléctrico para la conexión en corriente alterna	56
Tabla 19	Valores calculados para las protecciones eléctricas.....	57
Tabla 20	Condiciones meteorológicas de la ubicación de la agrícola alfadeli	64
Tabla 21	Valores de generación eléctrica del sistema fotovoltaico.....	70
Tabla 22	Elementos que conforman el sistema fotovoltaico.....	78

Resumen

El Ecuador cuenta con condiciones climáticas favorables para la implementación de sistemas que aprovechen la radiación solar. En la actualidad la industria agropecuaria demanda altos niveles de energía por lo que, la búsqueda para sustentar esta demanda energética es imperiosa, todo esto en pro de crear industrias sustentables. El presente estudio presenta el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red (On-grid) el cual abastece el 100% de las necesidades energéticas de la Agrícola ALFADELI S.A. cumpliendo la normativa establecida en la regulación ARCERNR 001/2021. El diseño del sistema fotovoltaico se realizó a partir de una metodología cuantitativa maximizando y optimizando la producción eléctrica; Inicialmente se determinó el recurso solar existente en la ubicación de la agrícola, a partir de las bases de datos proporcionadas por el software PVGIS (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica) se determinó que dicha ubicación presenta una radiación solar de 1807 kWh/m²/año dicho valor es significativamente alto en comparación con España donde el valor es de 1450kWh/m²/año lo cual indica que la posible instalación de un sistema fotovoltaico en dicha zona es viable. Posteriormente se evaluó el consumo eléctrico de la agrícola a partir de la planilla eléctrica otorgada por EMELNORTE S.A dando como resultado un consumo de 39.600kWh/año. A partir del valor de la demanda juntamente con el valor de radiación solar de la industria agrícola ALFADELI S.A se dimensionó un sistema fotovoltaico capaz de cubrir el 100% de la demanda eléctrica de la industria. Finalmente, se eligieron los elementos del sistema fotovoltaico a partir de los cuales se elaboró los planos eléctricos del sistema de autoconsumo conectado a la red. El desempeño energético del sistema fotovoltaico se evaluó a partir de simulaciones de las cuales se determinó que el sistema diseñado es capaz de satisfacer las necesidades energéticas de la agrícola; los resultados de la investigación demostraron que la posible instalación de un sistema fotovoltaico conectado a red puede ser una solución energética integral y sustentable para la industria agrícola ALFADELI S.A.

Palabras clave: Consumo eléctrico, Sistemas Fotovoltaicos On-grid, Radiación solar, Simulación de un sistema fotovoltaico, Diseño fotovoltaico.

Abstract

Ecuador has favourable climatic conditions for the implementation of systems that take advantage of solar radiation. Currently, the agricultural industry demands high levels of energy, so the search to support this energy demand is imperative, all in order to create sustainable industries. The present study presents the design of a photovoltaic system connected to the network (On-grid) which supplies 100% of the energy needs of Agrícola ALFADELI S.A. complying with the regulations established in the regulation ARCERNNR 001/2021. The design of the photovoltaic system was carried out from a quantitative methodology maximizing and optimizing electricity production; Initially it was determined the existing solar resource at the location of the farm, from the databases provided by the software PVGIS (Photovoltaic Geographic Information System) it has been determined that this location presents a solar radiation of 1807 kWh/m²/year this value is significantly high compared to Spain where the value is 1450kWh/ m²/year which indicates that the possible installation of a photovoltaics system in this area is feasible. The electricity consumption of the farm was subsequently assessed from the electricity sheet granted by EMELNORTE S.A. resulting in a consumption of 39.600kWh/year. Based on the demand value together with the value of solar radiation of the agricultural industry ALFADELI S.A. a photovoltaic system capable of covering 100% of the electricity demand of the industry was dimensioned. Finally, the elements of the photovoltaic system were chosen from which the electrical plans of the self-consumption system connected to the network were developed. The energy performance of the photovoltaic system was evaluated on the basis of simulations from which it was determined that the designed system is capable of meeting the energy needs of the agriculture; the results of the research showed that a possible installation of a network-connected PV system can be a comprehensive and sustainable energy solution for the agricultural industry ALFADELI S.A.

Keywords: Electrical consumption, On-grid photovoltaic systems, Solar radiation, Simulation of a PV system, Photo-Voltaic design.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Como muy bien ha señalado Osvaldo Sunkel, la energía no es un recurso más, por el contrario, tiene un carácter estratégico único, dado que se pueden sustituir las fuentes energéticas, pero el fluido energético es insustituible, es imprescindible en cualquier proceso de transformación o producción. Por lo tanto, la energía siempre ha jugado un papel crítico en el proceso económico de cualquier sociedad (ESTENSSORO, 2021).

La energía solar fotovoltaica consiste es la transformación directa de la radiación solar en electricidad, este proceso incide en una de las caras de la célula solar que produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras esto hace que los electrones salten de un lugar a otro, lo que genera una corriente eléctrica (ALQUIMODUL, 2019).

Ecuador, cuenta con condiciones climatológicas muy variables, con un alto índice de energías renovables y limpias, haciéndolo un país apto para la generación eléctrica a partir de estas fuentes. La Secretaria de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), han creado políticas para el impulso de las energías renovables, empleando las palabras de, “garantizar el suministro energético con calidad, oportunidad, continuidad y seguridad, con una matriz energética diversificada, eficiente, sostenible y soberana como eje de la transformación productiva y social”, haciendo que la entidad ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) implemente regulaciones para sus usos (TASINCHAMNA, 2021).

En el caso de los sistemas de generación fotovoltaicos se rigen con base a la regulación Nro. ARCERNNR 001/2021 que determina las condiciones técnicas y económicas para la participación de autogeneración privada en el sector eléctrico (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2021)

La provincia de Imbabura al encontrarse en una zona elevada geográficamente,

se estima que tiene alrededor de 5.275 Wh/m² /día de insolación global, haciéndola apta para la generación eléctrica por este medio, por lo que existen varios sistemas de generación solar fotovoltaicos instalados (CONELEC, 2008).

Problema de investigación

Dentro del espectro económico de la provincia de Imbabura la empresa privada ocupa un importante porcentaje. En la provincia de Imbabura también se puede encontrar producción pecuaria, que indiscutiblemente va de la mano con el componente agrícola y que juntos forman parte del sistema abastecedor de alimentos, el cual dinamiza el sector primario de la economía por las transacciones e intercambios que se producen y que, además, asegura la alimentación de la población (GAD, 2020).

La agrícola cuenta con altas necesidades energéticas debido a los procesos de riego, iluminación, empaquetado y procesamiento de productos; ambientalmente estas empresas representan un alto impacto ya que la generación de la energía que cubre sus necesidades provoca grandes cantidades de gases de efecto invernadero, el estado actual del planeta requiere de políticas de concientización ambiental, por esta razón el gobierno nacional promueve el uso de energías alternativas, esto lo hace por medio de la regulación ARCERNNR-001/2021, además, el sistema energético nacional acaba de entrar en emergencia por el estado actual de las hidroeléctricas por lo que, el diseño de nuevas fuentes de energía limpia es imperioso. El diseño de un sistema de autoconsumo requiere tomar en cuenta todas las características eléctricas que la empresa maneja (voltajes de funcionamiento, tamaño de transformadores internos); además, la distribución de las placas solares, la entrega de energía, el tamaño de conductores y la logística de distribución son las consideraciones más importantes que se debe tomar en cuenta al realizar el diseño.

Formulación del problema

¿Cómo realizar el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a red para autoconsumo para satisfacer las necesidades energéticas de la industria

agrícola ALFADELI SA.?

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un sistema de generación fotovoltaico para el abastecimiento energético de la industria agrícola ALFADELI S.A.

Objetivos Específicos

- Determinar las características y componentes de un sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a red.
- Dimensionar el tamaño y potencia del sistema fotovoltaico para autoconsumo.
- Realizar la simulación de la generación energética, la propuesta técnica que tendrá el sistema de generación fotovoltaico en la agrícola ALFADELI S.A.

ALCANCE

En la actualidad el uso, implementación y diseño de los sistemas de generación fotovoltaicos para autoconsumo en el país constituye un campo con poca información disponible. A lo largo de este trabajo de investigación se detallará el estudio que se debe realizar antes de instalar un sistema de generación energética para autoconsumo.

El trabajo de investigación plantea la implementación de una metodología cuantitativa, por lo que, los criterios de diseño a ser implementados se basan en maximizar y optimizar la producción energética.

Al inicio del desarrollo del trabajo se plantearán conceptos básicos de los sistemas fotovoltaicos conectados a red, tales como: su funcionamiento, el esquema básico y los principales componentes.

Se desarrollará un estudio previo a partir de las coordenadas geográficas del lugar, se determinará el factor de planta y se procederá a dimensionar la potencia

requerida por el sistema fotovoltaico que satisfaga el cien por ciento de las necesidades de la agrícola; estos datos serán comparados con los valores obtenidos tras realizar una simulación por medio software especializado en sistemas fotovoltaicos.

Las conexiones eléctricas se presentarán en planos unifilares que detallen las conexiones de cada uno de los componentes y dispositivos que forman parte del sistema de generación.

La disposición de las placas solares sobre las cubiertas, la ubicación del inversor y la disposición de los conductores que conforman el sistema fotovoltaico se detallará en planos de la agrícola Alfadeli s.a. realizados a escala. finalmente, se describirá el proceso de legalización que se debe seguir para la instalación de un sistema de generación energética para autoconsumo mencionado en la regulación Nro. ARCERNNR – 001/2021.

JUSTIFICACIÓN

Las políticas y regulaciones actuales impulsan la micro generación y el autoabastecimiento en el Ecuador, el gobierno plantea este escenario debido a la crisis que las principales fuentes hidroeléctricas están pasando y al enorme impacto ambiental que provocan la creación de este tipo de generadores de energía, el generar este tipo de incentivos beneficia al estado como proveedor y al usuario como consumidor ya que la instalación y puesta en marcha de este tipo de plantas de generación de energía no convencionales mejoran la calidad de energía eléctrica; además, contribuyen antes las posibles crisis energéticas que pueda sufrir el país debido a sequías y el estado actual de las hidroeléctricas, las mismas que no están rindiendo a su máxima capacidad.

Cuantificar la reducción del impacto ambiental que significa la implementación de una planta de generación energética basada en energías alternativas contribuye con el despertar de la conciencia ambiental de la sociedad; con la finalidad de cuidar y preservar el planeta cada día con más empeño y entusiasmo. En septiembre del

2020, durante la “Semana del Clima” realizada en Nueva York, se encendió por primera vez el reloj climático (Climate Clock), esta acción pretende evidenciar que nos encontramos en un punto de no retorno frente a la emergencia climática; esto comenzó en 1945 cuando un grupo de científicos de la universidad de Chicago comenzó a publicar anualmente el boletín “Reloj del Juicio Final” (BERNARDINO, 2021); por lo tanto, las acciones que se deben tomar para revertir la situación climática del planeta son imperiosas y siempre deberían estar por encima de intereses políticos y económicos; de esa manera las energías renovables se convierten en una gran alternativa como posible solución a esta problemática.

El trabajo de investigación planteado pretende hacer uso de la regulación Nro. ARCERNNR – 001/2021 como un apoyo al desarrollo del estudio; de esta manera será posible documentar de manera detallada el proceso de legalización de una planta de generación energética para autoconsumo de acuerdo con lo solicitado por la normativa actual, sentando un precedente que pueda servir como base al diseño e implementación de futuros sistemas de generación fotovoltaicos dentro del país.

1 CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO CONECTADO A RED

El desarrollo de este capítulo se subdivide en dos, la primera subsección trata de las características de los sistemas fotovoltaicos conectados a red (sistema fotovoltaico- ongrid); la segunda subsección del capítulo detalla los elementos que componen uno de estos sistemas.

1.1 Conceptos Básicos de la Energía Fotovoltaica

De acuerdo con lo planteado en uno los objetivos específicos, a lo largo de esta sección se contextualizará conceptos básicos pero esenciales que servirán para la comprensión de la energía solar fotovoltaica, su generación y funcionamiento de una planta generadora.

1.1.1 Radiación Solar

La radiación solar es la energía producida por la pérdida de masa del Sol. El planeta Tierra posee una atmósfera que debilita considerablemente la radiación solar, además, la distancia que existe entre los dos cuerpos celestes merma aún más la radiación que llega a la superficie terrestre.

Se clasifica la radiación solar de acuerdo con cómo inciden los rayos del Sol sobre la Tierra, los tipos de radiación solar son:

- 1) **Directa.** Es la recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
- 2) **Difusa.** Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la acción de la atmósfera, la misma que provoca los fenómenos de reflexión y difusión.
- 3) **Albedo o reflejada.** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies.

En lo que respecta a las aplicaciones fotovoltaicas la mayor y más importante

es la radiación directa; aunque, cuando existe la presencia de perturbaciones (nubes, vapor, lluvia) no se recibe radiación directa, pero, se continúa recibiendo radiación solar en la superficie debido a la radiación difusa (APARICIO, 2020). La radiación solar se mide en kW/m^2 .

1.2 Irradiación Solar

Se define a la irradiación solar como: “el flujo de radiación solar que incide sobre una unidad de superficie a lo largo de un periodo de tiempo” (APARICIO, 2020). La irradiación solar se expresa en unidades de kilovatios hora sobre metro cuadrado.

1.3 Características del Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico conectado a red es una fuente de energía que produce energía eléctrica renovables, los sistemas fotovoltaicos son considerados renovables ya que, la energía requerida para la fabricación de sus elementos se recupera en un rango de tiempo comprendido entre 6 meses a 1 año, además, la electricidad generada se obtiene directamente de la radiación solar, la energía se genera gracias al dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica (HUIDOBRO PELAYO, 2016).

El principio de la célula fotovoltaica es utilizado por todos los sistemas fotovoltaicos, un sistema fotovoltaico-ongrid es uno de los tipos de sistemas fotovoltaicos, los tres tipos de sistemas fotovoltaicos son:

- Sistema fotovoltaico-ongrid (sistema fotovoltaico conectado a red),
- Sistema fotovoltaico-offgrid (sistema fotovoltaico aislado),
- Sistema fotovoltaico-híbrido (sistema fotovoltaico conectado a red con respaldo de baterías).

Los sistema fotovoltaico-ongrid son considerados económicos, sus costos son menores al ser comparados con los sistema fotovoltaico-offgrid y los sistema fotovoltaico-híbridos, el motivo principal de la diferencia de costos se debe a que, los primeros no utilizan un banco de baterías para almacenar energía, siendo las baterías los elementos con el costo más elevado.

Dentro de la normativa ecuatoriana los sistema fotovoltaico-ongrid se clasifican como sistemas generadores de auto abastecimiento (SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO), por lo que, su implementación y puesta en marcha debe cumplir con los requisitos planteados en la regulación ARCERNR 001-2021 (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2021). Uno de estos requerimientos exige la firma de un contrato con la empresa de distribución de electricidad local (CEVALLOS, 2019), para el desarrollo de este trabajo la empresa distribuidora es EMELNORTE S.A.

1.4 Beneficios de los sistema fotovoltaico-ongrid

Los sistemas de generación eléctrica de fuentes renovables tienen varios beneficios (económicos, ambientales, sociales), específicamente los beneficios de los sistemas fotovoltaicos conectados a red son:

- Reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂),
- Fuente de energía limpia y renovable,
- Ahorro en el consumo de energía eléctrica de la planilla de luz,
- Aprovechamiento del espacio en cubiertas, terrazas y techos,
- Minimiza el impacto ambiental a causa de la generación eléctrica.

(BERNAOLA CANTURIN, 2018) (AL-SHAHRI, 2021).

1.5 Funcionamiento de un sistema fotovoltaico-ongrid

Un sistema fotovoltaico-ongrid toma la energía generada por las células fotovoltaicas de las placas solares gracias a la radiación proveniente de la luz solar, a este fenómeno se lo conoce como efecto fotovoltaico; como resultado se obtiene energía eléctrica de corriente continua (CC).

La energía de CC generada, se transmite desde las placas solares a través de conductores hasta un inversor fotovoltaico, este dispositivo como su nombre lo indica es el encargado de convertir la energía de CC a energía en corriente alterna (CA),

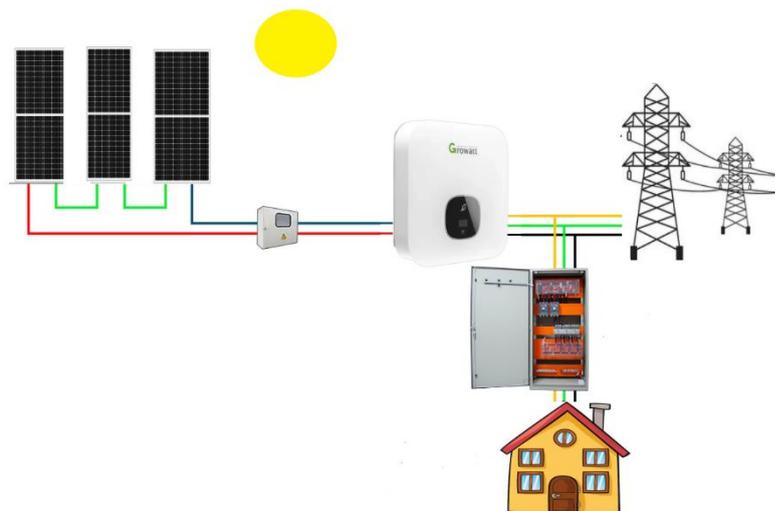
además, el inversor fotovoltaico es el encargado sincronizar la energía en CA generada con la energía CA que circula por la red eléctrica interna del lugar.

Cuando existen excedentes de energía generada, esta es vertida a la red eléctrica de la empresa distribuidora, esta energía inyectada a la red es registrada por medio de la implementación de un medidor bidireccional, este dispositivo es capaz de almacenar la información de la cantidad de energía recibida y entregada en el sitio.

El funcionamiento del sistema fotovoltaico-ongrid se muestra en la Figura 1, en ella se observa el funcionamiento del sistema a lo largo del día y, como se entrega los excedentes de energía a la red de la empresa distribuidora.

Figura 1

Funcionamiento de un sistema fotovoltaico-ongrid en el día

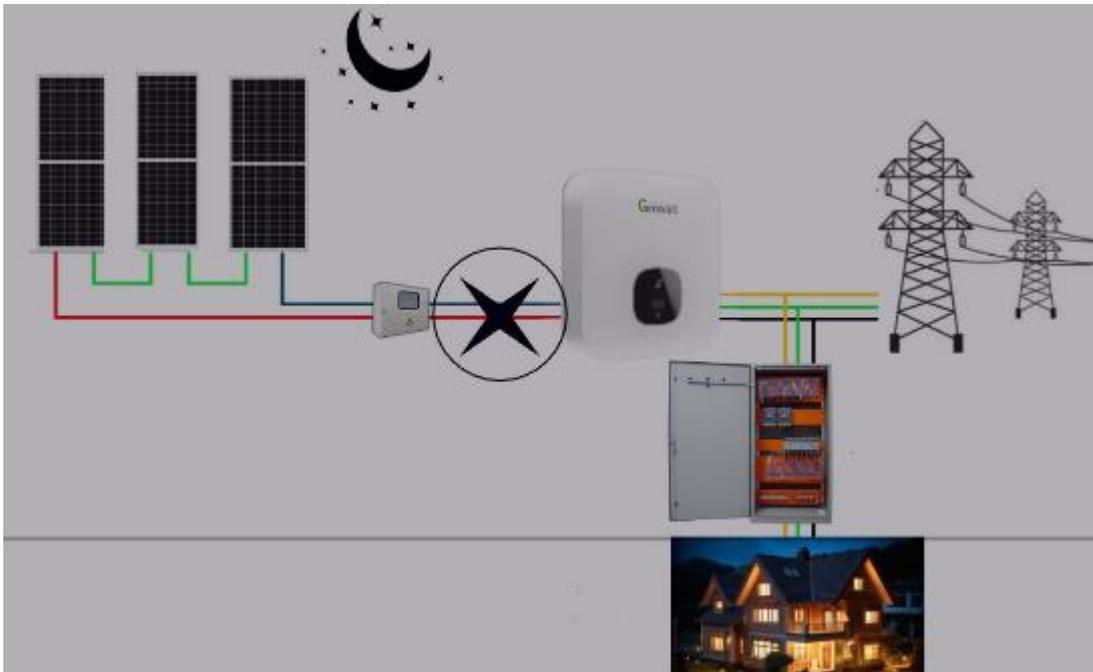


Nota: Adaptado de Voltaconsolar. (2022, June 12). Three diagrams with photovoltaics and energy storage – Hybrid, Off Grid, Grid-Tied with Batteries. Voltacon Solar Blog.

Los sistema fotovoltaico-ongrid dejan de generar energía a lo largo de la noche, por lo que, el sitio donde están instalados requerirá de la energía proporcionada por la empresa distribuidora, la Figura 2 muestra este escenario donde, se observa como la energía necesaria para satisfacer los requerimientos del sitio es tomada de las líneas de distribución eléctrica.

Figura 2

Funcionamiento de un sistema fotovoltaico-ongrid en la noche



Nota: Adaptado de Voltaconsolar. (2022, June 12). Three diagrams with photovoltaics and energy storage – Hybrid, Off Grid, Grid-Tied with Batteries. Voltacon Solar Blog.

Es importante señalar un escenario final en el cual la red de distribución eléctrica deja de suministrar energía, comúnmente conocido como "corte de luz". En tal situación, el sistema fotovoltaico conectado a la red (sistema fotovoltaico-OnGrid) cesará la inyección de energía, y el inversor se aislará. Esta medida se ha implementado considerando que los cortes de energía pueden ser programados para llevar a cabo labores de mantenimiento, y continuar inyectando energía durante estos períodos representaría un riesgo para los operarios de la empresa distribuidora.

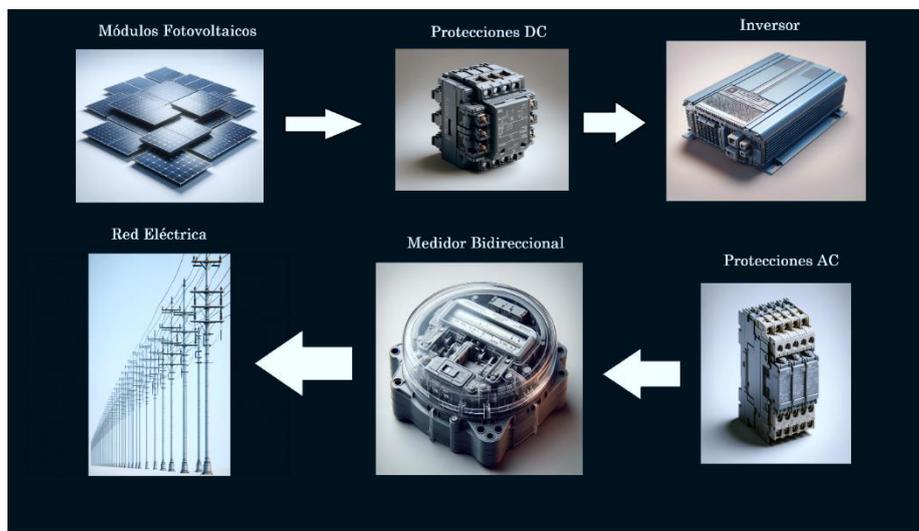
1.6 Componentes

Un sistema fotovoltaico es un sistema de generación de energía eléctrica, el sistema fotovoltaico se compone por células fotovoltaicas, las células están ordenadas en paneles, los paneles se encargan de convertir la radiación solar en energía eléctrica (CEVALLOS, 2019).

En esta subsección se detallará los elementos que conforman un sistema fotovoltaico-ongrid, un esquema que denota todos los componentes del sistema es mostrado en la Figura 3 los mismos que son: panel solar, protecciones DC (corriente continua), inversor fotovoltaico, protecciones AC (corriente alterna), medidor bidireccional y la red de distribución.

Figura 3

Esquema de componentes de un sistema fotovoltaico-ongrid



Nota: Adaptado de Solardesignguide. (2021, February 2). An Introduction To Solar PV Systems - SolarDesignGuide. SolarDesignGuide. Retrieved January 22, 2024, from <https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>

A continuación, se realiza una descripción de cada uno de los componentes del sistema.

1.7 Panel Solar

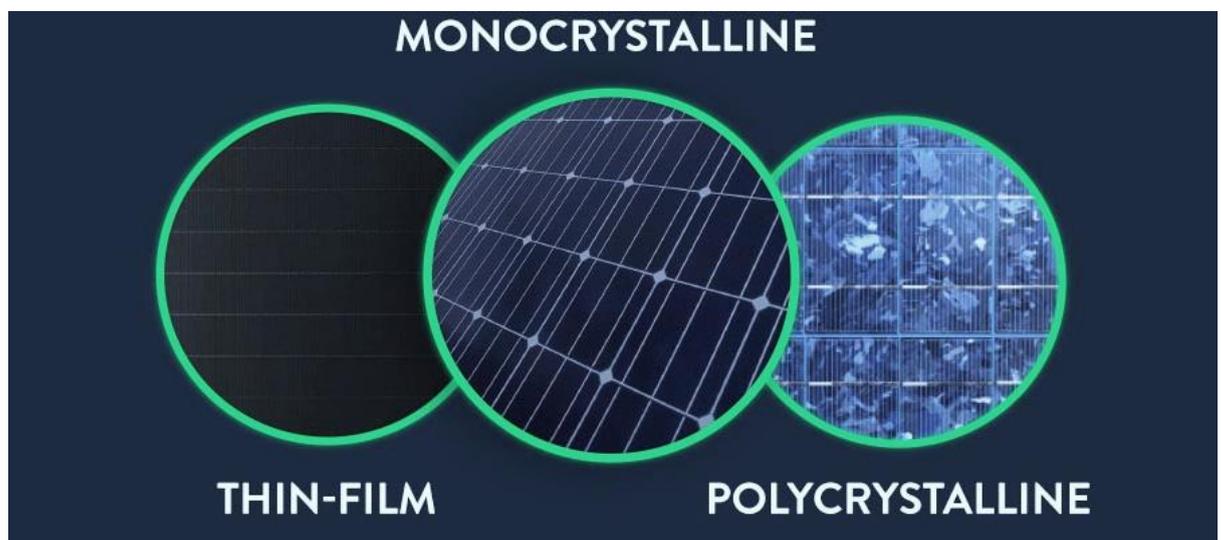
Un panel Solar está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente en serie o paralelo hasta obtener los valores de voltaje y corriente deseados, a su vez estas se encuentran encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte (CHAVARRÍA, 2010). Las células solares están compuestas por silicio, absorben los fotones de luz y emiten electrones; a este fenómeno se lo conoce como el efecto fotoeléctrico (BERNAOLA CANTURIN, 2018).

Existen tres tipos de paneles solares.

- Monocristalino
- Policristalino
- Amorfo (Capa Fina)

Figura 4

Tipos de Paneles Solares



Nota. Tomado de Deege Solar. (2023, May 24). The Different Types of Solar Panels. Retrieved January 22, 2024, from https://www.deegesolar.co.uk/types_of_solar_panels/

Los tres tipos de paneles solares se muestran en Figura 4, se observa la existencia de una diferencia marcada en el tono de color dependiendo del tipo de panel.

La diferencia principal que existe entre los distintos tipos de paneles es la eficiencia. Los paneles que poseen mayor eficiencia son los monocristalinos, seguidos por los policristalinos y finalmente los de amorfos (capa fina) (ENERGÍAS RENOVABLES, 2018), la diferencia de eficiencia se genera neta y exclusivamente en su manufactura.

Al diseñar un sistema fotovoltaico es necesario tomar en cuenta las

características que satisfagan los requerimientos con la mayor eficiencia posible; al momento de seleccionar el panel más adecuado se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Potencia eléctrica máxima (P_{max})
- Tensión en circuito abierto (U_{oc})
- Intensidad de cortocircuito (I_{sc})
- Eficiencia del módulo fotovoltaico
- Dimensiones
- Tipo de Panel Solar

Los paneles solares generan energía en corriente continua, por lo que, para su consumo hace falta convertir esta energía de corriente continua (CC) en energía de corriente alterna (CA).

1.8 Estructura de Soporte de las Placas Solares

A pesar de que, la estructura de soporte de las placas solares no forma parte del esquema de componentes que se muestra en la Figura 3, sin embargo, es un elemento fundamental en el proceso de instalación, por lo que se detallará las consideraciones para tener en cuenta con respecto a este elemento.

El primer aspecto antes de seleccionar la estructura de sujeción es el tipo de cubierta sobre la cual se va a instalar, los principales tipos que se encuentran en el medio nacional son:

- Loza o cemento
- Galvalumen
- Eternit

Figura 5

Estructura de soporte para terraza de Paneles Solares



Nota. Tomado de Teknosolar (2023). Estructura de Soporte Placas Solares. Teknosolar Web site. Estructura Inclinada Soporte Placas Solares hasta 72 Células 09V | TeknoSolar.com

La Figura 5 muestra una estructura inclinada de soporte para placas solares, esta estructura se usa para sujetar las placas sobre terraza o sobre piso.

Por ende, antes de realizar el diseño del sistema fotovoltaico-ongrid hace falta realizar una visita técnica previa para definir el tipo de estructura más adecuada con respecto al tipo de cubierta con el que cuenta el sitio de instalación.

1.9 Inversor Fotovoltaico

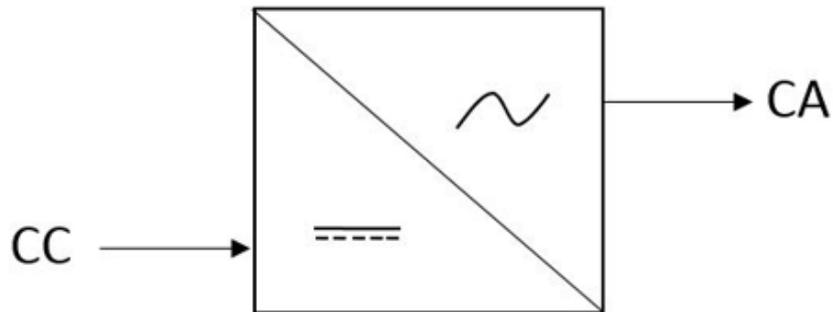
En la sección 1.7 se menciona que los paneles solares generan energía en CC, por esta razón hace falta de un inversor capaz de generar la energía producida por las placas solares en energía de CA que sea capaz de ser inyectada a la red de distribución de energía.

El inversor fotovoltaico es un dispositivo encargado de transformar la CC en CA dentro de una instalación, tal y como se muestra en la Figura 6; este tiene ciertas especificaciones relacionadas a la tensión que debe generar y la potencia proveniente

de los paneles solares que debe ser capaz de soportar (LABARTA, 2012).

Figura 6

Simbología de un Inversor Fotovoltaico



Nota: Tomado de Radica Software. (2024). Single Line Symbols. SIEMENS. Retrieved January 22, 2024, from <https://symbols.radicasoftware.com/229/single-line-symbols>

Los parámetros principales para tener en cuenta al momento de seleccionar el inversor más adecuado en el diseño de un sistema fotovoltaico-ongrid son:

- Eficiencia máxima
- Máximo voltaje de entrada
- Rango de voltaje operacional
- Máxima corriente de entrada por MPPT
- Máxima corriente de corto circuito
- Número de MPPT por seguidor
- Máximo número de entradas
- Tipo de conexión a la red
- Potencia de salida
- Protecciones del inversor

La correcta elección del inversor maximizará la eficiencia y rentabilidad económica al momento de instalar un sistema fotovoltaico-ongrid. la Figura 7 muestra un inversor fotovoltaico de un sistema conectado a red con sus conexiones eléctricas al descubierto.

Figura 7

Conexiones de un inversor fotovoltaico



En la Figura 7 se diferencia con claridad la parte CC de la parte CA, los cables conductores provenientes de los strings de las placas solares son de color rojo y negro, en este caso en particular el inversor cuenta con 3 entradas de CC, por ello se observa 3 pares de cables conductores.

Los cables conductores de CA son de color amarillo, azul y verde (tierra); los mismo que tal y como se observa son conectados a la salida del inversor fotovoltaico.

1.10 Protecciones

La finalidad de las protecciones es desconectar o conectar el suministro

energético del sistema fotovoltaico o si se dé el caso que, la red eléctrica ponga en peligro la continuidad del suministro (INNOVACIÓN Y CUALIFICACION, S. L, 2017).

Dentro de un sistema fotovoltaico se maneja los dos tipos de energía CC y CA; en la parte de corriente continua las protecciones se encargan de salvaguardar las entradas del inversor fotovoltaico, ya que, es aquí donde se entrega esta energía, tal y como se muestra en la Figura 3, estas protecciones son fusibles y se colocan a la salida de cada uno de los strings que conforman el sistema fotovoltaico-OnGrid, la Figura 8 muestra una caja de protecciones de una instalación fotovoltaica.

Figura 8

Caja de protecciones de CC de las placas solares



Nota: GEYA. (2023, August 5). Combiner Box GYPV/16-1 DC - Relé de tiempo eléctrico Geya. GEYA Electrical Equipment Supply. Retrieved January 22, 2024, from <https://www.geya.net/es/product/gypv-16-1-dc-combiner-box/>

En la parte de corriente alterna las protecciones se calculan en función de las corrientes y voltajes de salida del inversor fotovoltaico, estas protecciones tienen la finalidad de proteger la red de distribución eléctrica local de cualquier tipo de pico de corriente proveniente del sistema fotovoltaico-OnGrid.

Las protecciones de CA son interruptores magnetotérmicos, tal como se

mencionó estas conexiones son colocadas a la salida de CA del inversor fotovoltaico, la Figura 9 muestra un inversor fotovoltaico de un sistema fotovoltaico-OnGrid con su respectiva caja de protecciones, en la imagen se aprecia como salen los cables conductores, son conectados a las protecciones y, finalmente los conductores se conectan a la caja de distribución eléctrica interna de la vivienda.

Figura 9

Caja de protecciones de CA del inversor



Nota: Tomado de Retelec. (2022, October 21). Cuadro de protección salida inversor. Retrieved January 22, 2024, from <https://retelec.com/producto/cuadro-de-proteccion-salida-inversor/>

1.11 Medidor Bidireccional

El medidor bidireccional es un contador capaz de registrar la energía importada y exportada de manera separada en un instante de tiempo (AUTOSOLAR, 2023).

Este tipo de dispositivos son utilizados para los sistemas de generación fotovoltaica, eólica o cualquier otro tipo de sistema de generación eléctrica que sea

capaz de importar energía a la red de distribución eléctrica (INELDEC, 2023). En la Figura 10 se observa un contador bidireccional.

Cuando un sistema de generación eléctrica (solar, eólica) satisface los requerimientos energéticos de la demanda local y comienza a producir más energía de la que necesita el cliente el contador bidireccional registra los excedentes que son vertidos a la red de distribución eléctrica; de acuerdo con la regulación ARCENNR 001/2021 (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2021).

Figura 10

Medidor Bidireccional



Nota. Tomado de INELDEC. (2023). Obtenido de Ingeniería Eléctrica Web Site: <https://ineldec.com/>

El funcionamiento del medidor bidireccional se basa en tecnologías avanzadas de medición y comunicación. Utiliza sensores altamente precisos para registrar el consumo de energía y la energía generada por fuentes renovables, como paneles solares o turbinas eólicas. La información recopilada se transmite de manera instantánea a los sistemas de gestión, permitiendo un monitoreo en tiempo real.

1.12 Regulación ARCENNR-001/2021

A fecha de la realización del presente trabajo de investigación la normativa

vigente es la regulación ARCENNR-001/2021, esta resolución se estableció para los consumidores regulados que instalen y operen sistemas de generación distribuida para su abastecimiento, sincronizados a la red de distribución y para las empresas distribuidoras.

El objetivo principal de la regulación es “establecer las disposiciones para el proceso de habilitación, conexión, instalación y operación de sistemas de generación distribuida basadas en fuentes de energía renovable para el autoabastecimiento de consumidores regulados” (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2021).

La regulación establece que su alcance es:

- La caracterización de los sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados;
- Las modalidades de generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados;
- El procedimiento para la obtención de la factibilidad de conexión;
- El procedimiento y requisitos para la habilitación;
- Las condiciones para la instalación, conexión, operación y mantenimiento;
- El tratamiento de la energía producida por el SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO, medición y facturación; y,
- El régimen de infracciones y sanciones.

Para fines del presente trabajo de investigación el primer paso es establecer que el sistema fotovoltaico propuesto corresponde a lo que la norma denomina un SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO (Sistema de Generación Distribuida para Autoabastecimiento). La definición de un SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO establece que es un sistema que se encuentra situado dentro de la misma área de servicio en la que se encuentra el consumidor y, cuya demanda está asociada a un

número de cuenta de contrato, un SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Potencia nominal menor a 1 MW;
- Se conecta en sincronía a las redes del sistema de distribución o, a través de las instalaciones internas del inmueble del consumidor;
- Permite la explotación de recursos energéticos renovables;
- Utiliza cualquier tecnología de generación con o sin almacenamiento de energía.

El sistema fotovoltaico que se va a diseñar a lo largo del presente trabajo de investigación cumple con las condiciones para denominarlo como un SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO.

Las conexiones del sistema se realizarán a la red de distribución interna de la finca, el recurso solar en la zona de Salinas es abundante por lo que es idóneo para su explotación, el sistema fotovoltaico no contará con un sistema de almacenamiento de energía debido a que será un sistema conectado a red.

Tal y como lo establece la normativa el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se realizará a partir de los consumos históricos de la energía eléctrica de los últimos 24 meses, sin embargo, se respaldará esta información al tomar el consumo de cada uno de los equipos conectados a la red interna de la agrícola.

La norma establece que la generación del SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO debe ser igual o menor a la demanda anual del consumidor, caso contrario si por algún motivo existe un excedente de energía, estos se inyectarán a la red de distribución.

La agrícola Alfadeli de acuerdo con lo mostrado en su planilla de consumo eléctrico adjunta en el **Anexo C – Planilla De Consumo Eléctrico De Alfadeli S.A.** De acuerdo con la regulación ARCENNR-001/2021 en su artículo 18.2, la agrícola entra en la categoría de “Consumidores con tarifa general con demanda”.

2 CAPITULO II

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO CONECTADO A LA RED

A lo largo de este capítulo se presenta la metodología aplicada para el desarrollo del presente trabajo de investigación, además, en esta sección se describe el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico para autoconsumo conectado a la red, tanto para la parte del arreglo de módulos fotovoltaicos, inversor y protecciones eléctricas.

2.1 Lugar de Estudio

La agrícola Alfadeli S.A. se encuentra ubicada aproximadamente a 5 km del centro del poblado de Salinas, en la parroquia de Salinas. Las coordenadas geográficas de la agrícola son, latitud 0,512 y longitud -78,150.

El sistema fotovoltaico se instalará sobre la cubierta de uno de los galpones de la agrícola donde se almacena la cosecha. La disponibilidad de la superficie de la cubierta se pone a completo criterio del diseñador.

Figura 11

Vista cenital de la industria agrícola ALFADELI S.A.

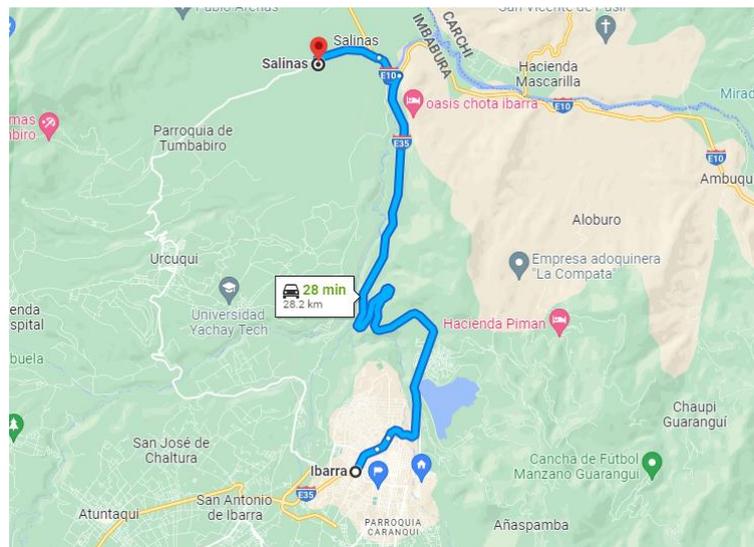


Nota. Tomado de Geo portal de EMELNORTE S.A.

La Figura 11 muestra una vista cenital de la industria, la Figura 12 muestra la trayectoria a seguir desde la ciudad de Ibarra para llegar a la agrícola Alfadeli S.A., este trayecto toma alrededor de 28 minutos, será necesario recorrer caminos de 2do orden en el último tramo del camino marcado.

Figura 12

Ubicación de la Agrícola y vía de acceso



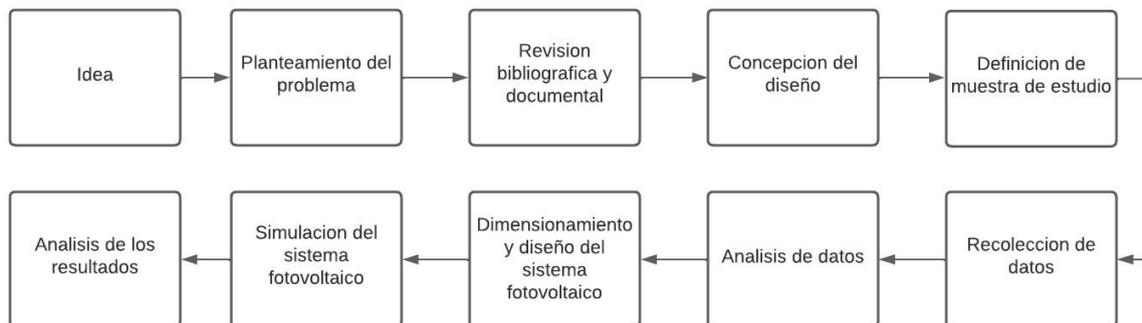
Nota. Tomado de Google Maps 2023.

2.2 Metodología de Procedimiento

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se aplicó una metodología de procedimiento cuantitativa, la revisión de literatura jugó un papel crucial al momento comprender todos y cada uno de los elementos que componen un sistema fotovoltaico, además, los métodos y ecuaciones existentes al momento de diseñar una planta fotovoltaica fueron tomados de trabajos previos y la regulación actual; la metodología de procedimiento que se siguió a lo largo del proceso de investigación se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Diagrama de bloques de la metodología cuantitativa



El motivo principal de haber elegido la metodología cuantitativa fue la recolección de datos, análisis estadístico, modelado, replicabilidad, comparabilidad y evaluación.

Los procesos que se siguieron a lo largo del proceso de investigación fueron:

- Fase 1. La idea nace a partir de las necesidades de un cambio urgente en la matriz energética del país, por esto, se tomó la idea de realizar un trabajo de investigación de cómo realizar el diseño de una planta de generación fotovoltaica que satisfaga el cien por ciento de los requerimientos energéticos de una industria real.
- Fase 2. El problema se planteó en la necesidad de saber ¿Cómo se realiza el diseño de un sistema fotovoltaico que cubra el 100% de las necesidades energéticas de ALFADELI S.A.?
- Fase 3. Realizar una revisión bibliográfica del estado del arte juntamente con la revisión de la normativa vigente en el país que corresponde a la regulación, donde, se establece todos los requisitos y condiciones a cumplir para la legalización de un Sistema de Generación Distribuida para Autoabastecimiento.
- Fase 4. Establecer todos los dispositivos que componen los sistemas de generación fotovoltaica y parámetros que intervienen en el diseño de una

planta fotovoltaica para autoabastecimiento.

- Fase 5. Evaluar la zona donde está ubicada la industria, donde se podría instalar el sistema fotovoltaico a partir de los valores de radiación solar esto se logra a partir de bases de datos climáticas existentes.
- Fase 6. Recolectar los datos del consumo eléctrico mensual de la agrícola, juntamente con los datos de radiación solar para una concepción clara previa al dimensionamiento.
- Fase 7. Realizar un análisis de los datos obtenidos a fin de dimensionar el sistema fotovoltaico de autoabastecimiento conectado a la red.
- Fase 8. A partir de los datos de consumo eléctrico de la agrícola y los datos de rendimiento de un kilovatio pico instalado en la zona dimensionar el tamaño de la planta fotovoltaica. Además, elaborar los planos de montaje y diagramas eléctricos necesarios para el sistema fotovoltaico de autoconsumo conectado a la red.
- Fase 9. Tras haber establecido el tamaño del sistema fotovoltaico y el diseño de este se realizó la simulación a través de software especializado para realizar una estimación del rendimiento esperado de la planta de generación energética, de esta manera se puede justificar el tamaño del sistema fotovoltaico.
- Fase 10. Tras haber realizado la simulación se procedió con análisis de resultados a fin de llegar a una conclusión en base a los procesos anteriormente realizados.

2.3 Condiciones climáticas de la localidad del estudio

De acuerdo con la metodología de procedimiento planteada para el desarrollo del presente trabajo de investigación es necesario determinar las condiciones ambientales a las que el sector de la agrícola está sometido, cabe recordar que, tal y como se estableció en la sección 1.1 los sistema fotovoltaico generan energía eléctrica a partir de la radiación solar, por lo que, en esta sección se muestra las condiciones históricas promedio de dicho parámetro.

Tal y como lo describe (AL-SHAHRI, 2021) en su trabajo la temperatura ambiente es otro factor determinante en el rendimiento de un sistema fotovoltaico, por lo que, también fue considerada al momento de recolectar la información en esta zona.

Los valores de los datos de temperatura ambiente y radiación solar fueron obtenidos de la base de datos de la aplicación del software PVGIS (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica) (COMISSION, 2023).

Tabla 1

Datos de temperatura ambiente mensual e irradiación en un plano de 5°

Mes	Temperatura Ambiente (°C)	Radiación Solar (kWh/m2/mes)
Enero	14.9	146.58
Febrero	14.8	139.23
Marzo	14.6	147.43
Abril	14.5	129.84
Mayo	14.9	134.36
Junio	14.3	126.67
Julio	14.0	137.0
Agosto	14.4	151.0
Septiembre	14.5	152.17
Octubre	14.7	161.1
Noviembre	14.2	144.4
Diciembre	13.1	125.44

Nota. Tomado de COMISSION, E. (2023). PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM - PVGIS. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html

2.4 Consumo eléctrico de la Agrícola

2.4.1 Consumo eléctrico proporcionado por la empresa Eléctrica EMELNORTE S.A

La industria agrícola Alfadeli es una empresa dedicada a la producción y exportación de productos orgánicos de alta calidad (aguacate y arándano). Dentro de la agrícola se realizan todos los procesos de producción que son:

- Siembra,
- Riego,
- Obtención del fruto,
- Recolección y Selección,
- Limpieza y Empaquetado.

Realizar los procesos descritos anteriormente requiere de varios dispositivos o equipos cuya demanda energética es significativa. En esta sección se determinará el consumo energético aplicando dos métodos, el primer método consiste en tomar el consumo energético reflejado en la planilla de EMELNORTE S.A, mientras que, el segundo método consiste en considerar todos los elementos que intervienen en los procesos de la agrícola y de acuerdo con sus especificaciones establecer su consumo mensual.

Los requerimientos energéticos de la agrícola se ven reflejados en la planilla eléctrica mensual de la empresa distribuidora (EMELNORTE S.A) (Suministro: 333176). Cabe mencionar que la planilla eléctrica que se toma en cuenta corresponde al año 2021, se decidió tomar estos datos ya que, a partir del año 2022 la agrícola instaló un sistema fotovoltaico por este motivo, los consumos reflejados en la planilla eléctrica no son reales.

Al observar la gráfica de barras se aprecia un comportamiento que no es constante a lo largo del año, esto se debe a que, las acciones que se realizan a lo largo del proceso de producción varían dependiendo la época del año; sin embargo, de acuerdo a los lineamientos establecidos en los trabajos de (CHAVARRÍA, 2010),(TASINCHAMNA, 2021) y lo sugerido en la regulación vigente (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO

RENOVABLES, 2021) para poder dimensionar el sistema fotovoltaico hace falta obtener el promedio de consumo energético anual de la agrícola.

Tabla 2

Datos de consumo energético mensual de la agrícola Alfadeli S.A.

Mes	Consumo Energético (kWh-mes)
Enero	2.900
Febrero	3.100
Marzo	2.950
Abril	1.050
Mayo	2.800
Junio	3.800
Julio	4.450
Agosto	4.950
Septiembre	4.400
Octubre	4.300
Noviembre	3.200
Diciembre	2.500

Nota. Fuente: EMELNORTE S.A.

2.5 Parámetros para el Dimensionamiento del Sistema fotovoltaico

Una vez establecido las necesidades energéticas de la agrícola; en esta sección se procede con el dimensionamiento del sistema de generación para autoabastecimiento con ayuda de formato de levantamiento de cargas.

2.5.1 Formato de levantamiento de cargas

Para el diseño de un sistema fotovoltaico se debe de realizar un informe energético de los valores de potencia y consumo de energía de los distintos equipos y dispositivos que se encuentran en el domicilio, comercio o industria.

Tabla 3

Parámetros por considerar en el levantamiento de cargas

Parámetro	Descripción
Cantidad	Numero de equipos
Potencial nominal [W]	Potencia nominal descrita por el fabricante en la hoja de datos
Horas	Tiempo en horas del funcionamiento del equipo
Factor de arranque	Factor de arranque empleado en motores
Factor de simultaneidad	Factor que indica la potencia necesaria para conectar los aparatos a la vez
Potencia total consumida [W]	Potencia total calculada consumida por uno o varios equipos
%Exp	Porcentaje adicional para futuras cargas

2.5.2 Valor promedio mensual de consumo

El valor del promedio de consumo mensual se obtiene mediante la Ecuación 1, a partir de los datos de consumo suministrados por la empresa eléctrica EMELNORTE S.A en un lapso de 12 meses para este caso. (Ramos, 2023)

$$CE_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n CE_{mensual_i}}{n} \quad (1)$$

Donde:

CE_{prom} : Consumo eléctrico promedio

$CE_{mensual}$: Consumo eléctrico mensual

n : Número de meses del año

Para determinar el consumo energético necesario por día [Wh/día] se emplea la Ecuación 2 con la que se determinara cual es la potencia que debe entregar el sistema fotovoltaico por día asumiendo un promedio de 30 días por mes. (Ramos, 2023)

$$E_{generar} = \frac{CE_{prom}}{n} \quad (2)$$

Donde:

$E_{generar}$: Energía teórica que debe generar el conjunto de paneles

CE_{prom} : Consumo eléctrico mensual promedio

n : Número de días mensuales

2.5.3 Hora solar pico

El número de horas sol pico diarias en que se dispone de la radiación solar máxima o precisamente la ideal equivalente a 1000 W/m² que incide sobre la superficie de cada panel solar que compone el sistema fotovoltaico, para definir el valor de la hora solar pico se calcula el valor promedio de radiación solar mensual en un lapso de un año empleando la Ecuación 3. (Ramos, 2023)

$$I_{mp} = \frac{\sum_{i=mes}^{mes 12} I_{mensual_i}}{12 \text{ meses}} \quad (3)$$

Donde:

I_{mp} : Irradiación solar promedio mensual

$I_{mensual}$: Irradiación solar mensual

A partir de los datos de radiación solar obtenidos mediante equipos de medición tales como piranómetros o a través del uso bases de datos de estaciones meteorológicas. En base a los datos de irradiación solar promedio se obtiene la hora sol pico de acuerdo con la Ecuación 4. (Ramos, 2023)

$$HSP = \frac{I_{mp}}{I_{stc}} \quad (4)$$

Donde:

HSP : Hora solar pico [h]

I_{mp} : Irradiación promedio diaria [$Wh/m^2/dia$]

I_{stc} : Irradiación en condiciones de prueba [W/m^2]

La Ecuación 5 describe la relación entre el factor de corrección ANEXO J en relación con la hora sol pico. (Ramos, 2023)

$$HSP_{corregida} = HSP * k \quad (5)$$

Donde:

$HSP_{corregida}$: Hora sol pico corregida

$k \equiv$ factor de corrección

2.5.4 Potencia del sistema fotovoltaico

Para determinar la potencia del sistema fotovoltaico se considera la demanda eléctrica promedio de un día la cual se divide para el valor de horas sol pico corregidas dicha relación es descrita en la ecuación 6. (Ramos, 2023)

$$P_{SPV} = \frac{E_{Nec}}{HSP_{corregida}} \quad (6)$$

Donde:

P_{SPV} : Potencia del sistema fotovoltaico

E_{Nec} : Valor de la demanda eléctrica diaria

$HSP_{corregida}$: Hora sol pico corregida

2.5.5 Numero de paneles fotovoltaicos

Para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos que deben ser empleados en el sistema fotovoltaico se emplea la Ecuación 7 la cual emplea la hora solar pico en relación con la energía por día [Wh/día] que debe generar el sistema fotovoltaico. (Ramos, 2023)

$$N_p = \frac{P_{SPV}}{W_{panel} * HSP_{corregida} * (1 - 0.765)} \quad (7)$$

Donde:

N_p : Cantidad de paneles del sistema

P_{SPV} : Energía necesaria para suplir el consumo mediante el sistema fotovoltaico

$HSP_{corregida}$: Hora sol pico corregida

W_{panel} : Potencia pico del panel [W]

2.5.6 Factor de planta

El factor de planta o factor de capacidad de un sistema fotovoltaico es el cociente entre la energía real generada durante un lapso y la energía generada si hubiera trabajado a su máximo rendimiento durante el mismo lapso. A partir de la Ecuación 8 se determina el factor de planta. (Ramos, 2023)

$$FP = \frac{\sum_{i=mes\ 1}^{mes\ 12} GSFVM_i}{PSFV * H_{prod}} \quad (8)$$

Donde:

FP : Factor de Planta,

$GSFVM$: Energía Mensual Generada por el Sistema Fotovoltaico,

$PSFV$: Potencia del Sistema Fotovoltaico.

H_{prod} : Horas de producción al año

2.5.7 Área requerida para el arreglo de paneles

El área requerida para los paneles fotovoltaicos se obtiene a partir de la Ecuación 9. (Ramos, 2023)

$$Area_{req} = N_p * Area_{panel} \quad (9)$$

Donde:

$Area_{req}$: Área requerida por el sistema fotovoltaico

N_p : Cantidad de paneles del sistema

$Area_{panel}$: Área de uno de los paneles

2.5.8 Posición de los paneles

La orientación de los paneles fotovoltaicos es un factor crucial para maximizar la eficiencia de la producción de energía solar. La orientación ideal de los paneles fotovoltaicos es hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur. Esto permite que los paneles reciban la máxima exposición a la luz solar a lo largo del día.

La inclinación también es importante, ya que afecta la cantidad de luz solar que los paneles pueden capturar. En general, la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos es igual al ángulo de latitud del lugar donde se instalan, lo que permite que los paneles reciban la luz solar de manera más directa.

Además de la orientación y la inclinación, otros factores a considerar incluyen la sombra, la limpieza regular de los paneles y la calidad de la instalación. Al maximizar la exposición a la luz solar y mantener los paneles en óptimas condiciones, se puede garantizar una producción de energía solar óptima. (Oh & Park, 2019)

2.6.7.1 Acimut u orientación (α)

La orientación o acimut en el Ecuador es particularmente importante debido a la ubicación geográfica. Dado que el Ecuador está justo en el ecuador terrestre, la orientación ideal para los paneles fotovoltaicos es hacia el norte o hacia el sur, dependiendo de la ubicación exacta. La inclinación óptima seguirá siendo similar al ángulo de latitud del lugar. La provincia del Carchi en Ecuador, por ejemplo, se encuentra cercana al ecuador y la orientación ideal para los paneles fotovoltaicos sería hacia el norte con una inclinación óptima ajustada a su latitud. El ángulo óptimo sería de alrededor de 0 grados, lo que significa que los paneles estarían casi paralelos al suelo. Esta orientación garantizará que los paneles reciban la máxima exposición a la luz solar a lo largo del día, lo que se traducirá en una mayor eficiencia en la

producción de energía solar.(García et al., 2019)

2.6.7.2 *Inclinación o elevación*

Considerando que el objetivo de nuestro proyecto es maximizar la captación de energía, utilizaremos la Ecuación 10 de las normas técnicas españolas. Esta ecuación proporciona la inclinación óptima basada en la latitud de cada vivienda en nuestro estudio. Sin embargo, esta inclinación inicial puede necesitar ajustes posteriores, ya que cada casa puede requerir un ángulo de inclinación diferente del óptimo. La inclinación (β) se refiere al ángulo que forma la superficie del panel fotovoltaico con el plano horizontal, variando desde 0° si el módulo está colocado horizontalmente hasta 90° si se encuentra en posición vertical. La latitud (Φ) es el ángulo complementario formado por la línea que une el zenit y el nadir con el eje polar, siendo negativo hacia el sur y positivo hacia el norte. (Ramos, 2023)

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * [\varphi] \quad (10)$$

Donde:

β_{opt} : Inclinación optima del panel

φ : Latitud del lugar

2.6.7.3 *Distancia entre paneles*

De acuerdo con la inclinación (β) y a la orientación (α) se debe de considerar una distancia mínima entre el conjunto de paneles dado el caso ya que al no contar con una distancia adecuada se pueden generar sombras entre paneles lo cual declina en daños irreparables entre paneles.

Para definir la distancia entre los paneles fotovoltaicos se debe definir inicialmente la altura del panel respecto a el suelo esto puede realizarse a través de la Ecuación 11. (Ramos, 2023)

$$h = L * \text{sen}(\beta) \quad (11)$$

Donde:

β : Inclinación del panel

L : Ancho del panel [m]

Considerando la altura del panel respecto al suelo se puede obtener la distancia mínima requerida entre el borde superior de las filas inferiores respecto al borde inferior de las filas superiores a través de la Ecuación 12. (Ramos, 2023)

$$D_{min} = \frac{h}{\text{tg}(61^\circ - \varphi)} * \cos(\beta) \quad (12)$$

Donde:

h : La altura del panel respecto al suelo[m]

β : Ángulo de inclinación

φ : Latitud del lugar

L : Ancho del panel [m]

2.5.9 Dimensionamiento del inversor

El sistema fotovoltaico produce una señal de tensión continua que necesita ser transformada en una señal de tensión alterna (AC) para su conexión a la red eléctrica. Esta transformación es realizada por un inversor DC/AC, cuya función es convertir la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). Este dispositivo garantiza que la señal convertida cumpla con los estándares de voltaje efectivo, frecuencia, voltaje, tasa de distorsión armónica de la forma de onda, eficiencia, rendimiento, seguridad eléctrica y otros requisitos específicos. (Hidayat et al., 2019)

Respecto al dimensionamiento del inversor, se deben considerar un 15% adicional de la potencia nominal del arreglo de paneles. Esto es crucial tanto si el

inversor va a ser utilizado en una conexión a red o como parte de un sistema independiente. Además, es importante determinar si el controlador será de tipo PWM (Modulación por Ancho de Pulso) o MPPT (Seguidor de Punto Máximo de Potencia). Estas consideraciones son esenciales para asegurar la eficiencia y el rendimiento óptimo del sistema solar. En este caso se empleó un controlador MPPT y el sistema fotovoltaico es conectado a la red. Para el dimensionamiento del inversor se debe de considerar el voltaje en valores mínimos y máximos para el sistema fotovoltaico considerando condiciones de temperatura de 70 ° y -10 ° C en dichas circunstancias se considera una radiación solar de 1000W/m². La Ecuación 13 y la Ecuación 14 describen el valor de voltaje que debería manejar el inversor considerando dichas temperaturas. (Ramos, 2023)

$$V_{min-inv} \leq V_{G Mpp(70^{\circ}C)} \quad (13)$$

$$V_{max-inv} \leq V_{G Mpp(-10^{\circ}C)} \quad (14)$$

Donde:

$V_{min-inv}$: Voltaje mínimo de entrada del inversor

$V_{G Mpp(70^{\circ}C)}$: Voltaje Mpp

$Area_{panel}$: Área de uno de los paneles

Respecto a el voltaje máximo en condiciones de vacío con una temperatura de -10 ° C es descrito a través de la ecuación 15. (Ramos, 2023)

$$V_{maxvacio} \leq V_{G oc(-10^{\circ}C)} \quad (15)$$

Donde:

$V_{\max vacio}$: Voltaje máximo en vacío

$V_{G oc(70^{\circ}C)}$: Voltaje del controlador MPP

Para el caso de la corriente máxima del inversor por MPP la relación esta descrita en la ecuación 16. (Ramos, 2023)

$$I_{invmax} \geq I_{GSc}(70^{\circ}C) \quad (16)$$

Donde:

I_{invmax} : Corriente máxima del inversor por MPP

$V_{G oc(70^{\circ}C)}$: Voltaje del controlador MPP

Se debe de considerar en valor mínimo y máximo respecto a la corriente y el voltaje del panel descritos por las Ecuaciones 17,18,19 y los valores de voltaje en vacío descritos en las Ecuaciones 20 y 21. (Ramos, 2023)

$$Vmpp(70^{\circ}C) = Vmpp + \beta \cdot (T - 25) \quad (17)$$

$$Vmpp(-10^{\circ}C) = Vmpp + \beta \cdot (T - 25) \quad (18)$$

$$Isc(70^{\circ}C) = Isc + \alpha \cdot (T - 25) \quad (19)$$

$$V_{oc}(70^{\circ}\text{C}) = V_{oc} + \beta \cdot (T - 25) \quad (20)$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C}) = V_{oc} + \beta \cdot (T - 25) \quad (21)$$

Donde:

V_{mpp} : Voltaje pico del módulo fotovoltaico (V).

β : Coeficiente de temperatura de V_{oo} (mV/°C).

T : Temperatura de célula de respectivamente.

V_{oo} : Voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico (V).

I_{sp} : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico (A).

T : Temperatura de célula de respectivamente.

α : Coeficiente de temperatura de I_{sp} (mA/°C).

Además, se considera una cantidad mínima y máxima de módulos en serie y una cantidad mínima de módulos en paralelo de acuerdo con los criterios de las Ecuaciones 22 ,23 y 24. (Ramos, 2023)

$$N_{serie} \geq \frac{V_{inv\text{mín}}}{V_{mpp}(70^{\circ}\text{C})} \quad (22)$$

$$N_{serie} \geq \frac{V_{inv\text{mín}}}{V_{mpp}(-10^{\circ}\text{C})} \quad (23)$$

$$N_{paralelo} \geq \frac{I_{inv\text{max}}}{I_{sc}(70^{\circ}\text{C})} \quad (24)$$

2.5.10 Dimensionamiento del conductor eléctrico

El calibre de los conductores eléctricos desempeña un papel fundamental en la eficiencia operativa de un dispositivo y en la mitigación de pérdidas por efecto Joule, lo cual incide en la seguridad. Es esencial determinar la longitud y la sección transversal o diámetro de los conductores utilizados en sistemas de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA). En todos los casos, la resistencia de los cables de conexión debe ser al menos un 125% de la resistencia máxima del generador, y la diferencia de tensión entre el generador y la red de distribución o el punto de conexión de la instalación interna no debe exceder el 1,5%. (Electronic Components - Resistors | FDA, 2019)

La relación de 125% se puede calcular a través de la Ecuación 25.

$$I_n = I_{sc} * 125\% \quad (25)$$

Donde:

I_{sc} : Es la corriente de cortocircuito del panel

Además, se debe considerar el valor de voltaje pico del arreglo de módulos fotovoltaicos, mismo que puede determinarse a través de la Ecuación 26. (Electronic Components - Resistors | FDA, 2019)

$$V_{G\ mmp} = V_{mpp} * Np \quad (26)$$

Considerando los anteriores valores se incluye a consideración la corriente de salida nominal del inversor determinado por la Ecuación 27. (Electronic Components

- Resistors | FDA, 2019)

$$I_{invCa} = \frac{P_{ninv}}{V_{nca} * \cos\varphi} \quad (27)$$

Donde:

P_{ninv} : Potencia nominal del inversor

V_{nca} : Voltaje nominal del sistema de corriente alterna

$\cos\varphi$: Factor de potencia de la carga final de la línea

La Ecuación 28 determina la sección o grosor de los segmentos de corriente alterna en una línea bifásica y corriente continua. (Electronic Components - Resistors | FDA, 2019)

$$S = \frac{2 * K * L * I}{\Delta V} \quad (28)$$

Donde:

S : representa la sección o calibre del conductor en metros cuadrados (m²).

K : es la constante de material del conductor (depende del material utilizado).

L : es la longitud del tramo del conductor en metros (m).

I : es la corriente en amperios (A). Δ

ΔV : es la diferencia de tensión o voltaje en voltios (V).

2.5.11 Protecciones de voltaje y corriente

Respecto a las protecciones de los paneles fotovoltaicos en voltaje se emplea

la Ecuación 29 y para la corriente del ramal o arreglo se consideran la Ecuación 30 y 31. Los interruptores termomagnéticos son empleados para el caso de corriente mientras que para el voltaje se emplea protecciones de sobrevoltajes. (Potes, 2019)

$$V_n \geq 1.2 * V_{soc} \quad (29)$$

Donde:

V_n : voltaje nominal de empleo del limitador de sobrevoltajes (V).

$$I_n \geq 1.25 * I_{sc} \quad (30)$$

$$V_n \geq V_{soc} = N_s * I_{sc} \quad (31)$$

Donde:

I_n : corriente nominal del interruptor termomagnético (A).

I_{sc} : corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico (A).

V_{oc} : voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico (V).

V_{soc} : voltaje de circuito abierto del generador fotovoltaico en la rama (V).

V_n : voltaje nominal del interruptor termomagnético (V).

Respecto a la protección por fusibles para el arreglo de paneles conectados en serie se considera las ecuaciones 32 y 33. (Potes, 2019)

$$2.4 * I_{sc} < I_n > 1.8 * I_{sc} \quad (32)$$

$$V_n \geq V_{maxInv} \text{ por entrada} \quad (33)$$

Donde:

I_n : Corriente nominal del fusible (A).

V_n : Voltaje nominal del fusible (V)

El inversor debe contar con sus propias protecciones contra cortocircuitos, sobrecargas y protección en caso de contactos directos e indirectos, esto se define en base a las ecuaciones 34 y 35. (Potes, 2019)

$$I_n \geq 1.25 * I_{inv} \quad (34)$$

$$V_n \geq V_{nca} \quad (35)$$

Donde:

I_n : corriente nominal del interruptor termomagnético (A).

I_{inv} : intensidad nominal a la salida del inversor (A).

V_n : voltaje nominal del interruptor termomagnético (V).

V_n ca: voltaje nominal del sistema en corriente alterna (V).

2.5.12 Relación porcentual entre la generación del sistema fotovoltaico y consumo energético

En base a los datos suministrados por la empresa eléctrica EMELNORTE S.A o a través del levantamiento de cargas se puede realizar una estimación porcentual entre la relación del consumo energético respecto a la producción del sistema fotovoltaico a partir de la Ecuación 36. (Potes, 2019)

$$P_{ae} = \frac{E_{Gen}}{CE_{pm}} * 100\% \quad (36)$$

Donde:

E_{gen} : Energía teórica generada por el conjunto de paneles

CE_{prom} : Consumo eléctrico mensual promedio

P_{ae} : Relación porcentual entre el consumo y la generación

2.5.13 Generación anual

La producción anual de electricidad de una planta solar es una porción proporcional al tamaño de la planta. Esto se hace para cumplir con los requisitos de informes técnicos y para brindar a los usuarios y diseñadores una comprensión clara de la cantidad excedente de energía que se inyecta en la red eléctrica. La eficiencia del sistema debe ser resumida en un informe que debe incluir el rendimiento máximo teórico mensual, calculado en base a la radiación solar, la capacidad de la instalación y la productividad de la unidad.

La cantidad de energía de inyección anual a la red durante el transcurso del año se calcula utilizando la Ecuación 37. (Potes, 2019)

$$E_a = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) * P_{Gmx} * PR}{G_{CEM}} * 365 \quad (37)$$

Donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de la irradiación diaria

P_{Gmax} : Potencia máxima de los módulos fotovoltaicos

PR : Rendimiento energético de la instalación

G_{CEM} : irradiación en condiciones estándar de prueba

E_a : Energía anual producida ($kWh/año$)

2.5.14 Factor de ponderación

El factor de ponderación (FP) se obtiene tras realizar una relación entre la suma de cada fila y el total de la columna como se muestra en la Ecuación 38.

$$FP = \frac{\Sigma_{fila} + 1}{Total_{columna}} \quad (38)$$

Donde:

Σ_{fila} : Sumatoria de las filas

$Total_{columna}$: Total, de la columna de valores

2.5.15 Matriz de ponderación

Existen varios métodos de selección de componentes. Se aplica el método de la matriz de ponderación para la selección, este método plantea las diferentes alternativas de solución para el proceso de selección, el proceso de selección se realiza para el inversor fotovoltaico, la placa solar y la estructura de montaje de los paneles solares.

La matriz ponderada permite cuantificar las ventajas y desventajas de

las diferentes opciones existentes, de esta manera se seleccionará la mejor solución. La Tabla 4 presenta los valores de ponderación.

Tabla 4

Valores de Ponderación

Escala	Pond eración
Mejor	1
Igual	0,5
Peor	0

2.6 Cálculo del consumo energético

2.6.1 Consumo energético promedio calculado

A partir de los datos de consumo proporcionados por la empresa eléctrica EMELNORTE S.A descritos en la Tabla 2 se calculó el consumo promedio empleando las Ecuaciones 3 y 4, los resultados obtenidos se describen en la Tabla 5.

Tabla 5

Consumo Energético de la Agrícola Alfadeli S.A a partir de la planilla

Parámetro	Valor
Consumo anual	40.392 kWh/año
Consumo mensual promedio	3.366,667 kWh/mes
Energía promedio diaria	112,23kWh/día

2.6.2 Formato de consumo energético estimado de acuerdo con el tiempo de operación

En esta subsección se lista todos los dispositivos eléctricos con los que cuenta la agrícola, para ello fue necesario realizar una visita técnica a la agrícola, algunas imágenes de la visita realizada se presentan en el **Anexo D – Visita Técnica A La Agrícola Alfadeli**.

A partir de la visita técnica realizada a la industria se realizó una lista que contiene todos los elementos que constituyen el sistema de riego, el sistema de iluminación y la casa cuidador de la agrícola. Además, se estableció el tiempo de uso estimado por el propietario de cada uno de estos elementos mencionados en la Tabla 6.

Tabla 6

Formato de levantamiento de cargas del consumo energético estimado de la Agrícola Alfadeli S.A.

Cantidad	Dispositivo	Potencia Unitaria (kW)	Tiempo de Uso Diario (horas)	Consumo mensual estimado (kWh/mes)
SISTEMA DE RIEGO AGUACATES				
2,00	Bomba de 3hp	2,24	10,00	1.344,00
1,00	Bomba de 1,5hp	1,19	6,00	214,20
1,00	Motor	1,20	6,00	216,00
1,00	Tablero de Control	0,06	16,00	28,80
1,00	Aireador	0,56	4,00	67,20
1,00	Sistema de Ozono	1,75	16,00	840,00
SISTEMA DE RIEGO ARÁNDANOS				
1,00	Bomba de 1,5hp	1,19	3,00	107,10
1,00	Sistema de Control	0,05	3,00	4,50

ILUMINACIÓN DE LA AGRÍCOLA				
6,00	Reflector	0,05	10,00	90,00
1,00	Reflector Incandescente	0,12	12,00	43,20
10,00	Foco	0,01	6,00	18,00
EDIFICIOS DE LA AGRÍCOLA				
1,00	Casa Cuidador	0,25	24,00	180,00
1,00	Casa Finca	0,20	24,00	144,00
			TOTAL	3.297,00
Energía diaria promedio				109.9

De acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 6 el consumo mensual calculado de la agrícola es de $3.297 \text{ kWh} - \text{mes} \approx 3.300 \text{ kWh/mes}$ es decir que se requiere de 110 kWh/día.

Al comparar los valores obtenido en la sección 2.6.1 con los valores obtenidos de la sección 2.6.2 se asume que el promedio de la agrícola es de 3.300kWh/mes por tanto la energía diaria que requiere el sistema es de 110kWh/día.

2.7 Selección del panel fotovoltaico

De acuerdo con la disponibilidad del mercado de las placas solares y tomando en cuenta el ranking de las mejoras marcas a nivel mundial se decidió reducir el panorama a 3 reconocidas marcas que son JA SOLAR, JINKO SOLAR y TRINASOLAR.

Independientemente de la marca y aplicando un criterio de facilidad de escalabilidad y montaje se opta por los modelos tope de gama de todas las marcas con una configuración de alrededor de 500 Watts, por lo tanto, los modelos que serán aplicado el criterio de ponderación son:

- JA SOLAR JAM66S30-500/MR,
- JINKO SOLAR JKM530M-72HL4
- TRINA SOLAR TSM-DE18M(II)

Para la evaluación y selección de los elementos del sistema se emplean los

siguientes criterios cuantitativos y cualitativos.

- Costo y disponibilidad: Facilidad de adquisición en el mercado.
- Eficiencia: Porcentaje de máxima eficiencia de generación.
- Tecnología Anti-sombras: Tecnología ante la presencia de sombras que merman la generación fotovoltaica.

El factor de ponderación se obtendrá según lo establecido en la ecuación (4).

La Tabla 7 representa la matriz de ponderación correspondiente al criterio de “costo y disponibilidad” del panel solar dentro del mercado nacional.

Tabla 7

Matriz de Ponderación Costo y Disponibilidad del Panel Fotovoltaico

Costo y Disponibilidad	JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	JINKO SOLAR JKM530M- 72HL4	TRINA SOLAR TSM- DE18M(II)	$\Sigma+1$	FP
JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	-	0,5	0,5	2	0,34
JINKO SOLAR JKM530M-72HL4	0,5	-	0,5	2	0,34
TRINA SOLAR TSM-DE18M(II)	0,5	0,5	-	2	0,34
			Total:	6	

La Tabla 8 representa la matriz de ponderación correspondiente al criterio de “eficiencia” del panel solar dentro del mercado nacional.

Tabla 8

Matriz de Ponderación Eficiencia del Panel Fotovoltaico

Eficiencia	JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	JINKO SOLAR JKM530M- 72HL4	TRINA SOLAR TSM- DE18M(II)	$\Sigma+1$	FP
JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	-	1	0	2	0,34
JINKO SOLAR JKM530M- 72HL4	0	-	0	1	0,16
TRINA SOLAR TSM- DE18M(II)	1	1	-	3	0,5
			Total:	6	

La Tabla 9 representa la matriz de ponderación correspondiente al criterio de “eficiencia” del panel solar dentro del mercado nacional.

Tabla 9

Matriz de Ponderación de la Tecnología Anti-sombras del Panel Fotovoltaico

Anti-Sombras	JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	JINKO SOLAR JKM530M- 72HL4	TRINA SOLAR TSM- DE18M(II)	Σ+1	FP
JA SOLAR JAM66S30- 500/MR	-	1	0,5	2,5	0,42
JINKO SOLAR JKM530M- 72HL4	0	-	0	1	0,34
TRINA SOLAR TSM- DE18M(II)	0,5	1	-	2,5	0,42
			Total:	6	

De acuerdo con los criterios establecidos en esta sección se obtuvieron valores de la ponderación de cada uno de los modelos, estos valores se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Resultados del Criterio de Ponderación de las Placas Solares

MODELO DEL PANEL FOTOVOLTAICO	RESULTADOS
--	-------------------

JA SOLAR JAM66S30-500/MR	1,1
JINKO SOLAR JKM530M-72HL4	0,84
TRINA SOLAR TSM-DE18M(II)	1,26

De acuerdo con los resultados obtenidos la solución óptima es la instalación del panel solar modelo **TRINA SOLAR TSM-DE18M(II)**, la hoja de datos de este panel se muestra en el **Anexo F - Hoja Del Panel Solar**.

2.8 Cálculo de los valores de operación del arreglo de módulos fotovoltaicos

La Tabla 11 resume los valores de operación del arreglo de módulos fotovoltaicos obtenidos a partir de las Ecuaciones de la 5 a la 14.

Tabla 11

Valores de operación del sistema fotovoltaico

Parámetro	Valor obtenido	Ecuación
Irradiación solar promedio	141.26 kWh/m ² /mes~ 4.70 kWh/m ² /día	3
Hora sol pico	4.70 Horas	4
Hora sol pico corregida	4.794 Horas	5
Potencia nominal del sistema fotovoltaico asumiendo 4 Horas sol	27.5kWp ≈ 28 kWp	6

pico

Potencia del panel fotovoltaico	500 Wp	
Numero de paneles fotovoltaicos	56 paneles	7
Factor de planta	0.169	8
Área requerida por los paneles	133.7978 m ²	9
Acimut	0 °	10
Inclinación	4.05 °	11
Distancia entre paneles	50 cm	12
Potencia del inversor	28kWp	

Se decidió el redondear la hora solar pico de 4.70 horas, ya que es más práctico y conservador redondear hacia abajo a 4 horas en lugar de 5. Esta aproximación conservadora en el diseño de sistemas solares ayuda a manejar la variabilidad de la energía solar, asegurando que las necesidades energéticas se cumplan incluso en meses con menos radiación. Además, adoptar un valor más bajo establece expectativas realistas para los clientes, considera las variaciones estacionales, y contribuye a un diseño más seguro y continuo, considerando tanto los costos iniciales como el rendimiento a largo plazo del sistema. En esencia, este enfoque conservador proporciona un margen de seguridad útil en la planificación y operación de sistemas solares.

Respecto a la potencia calculada que generan los paneles fotovoltaicos es de 28kWp cabe aclarar que esta potencia es pico es decir que solo se da en condiciones de prueba estándar (radiación solar de 1000W/m² y temperatura de las celdas solares de 25 ° C). (Kumawat, 2020)

Debido a esta característica en la generación de los sistemas fotovoltaicos se considera que los inversores pueden soportar el 50% adicional de su potencia nominal respecto a la potencia pico. (Malik et al., 2020)

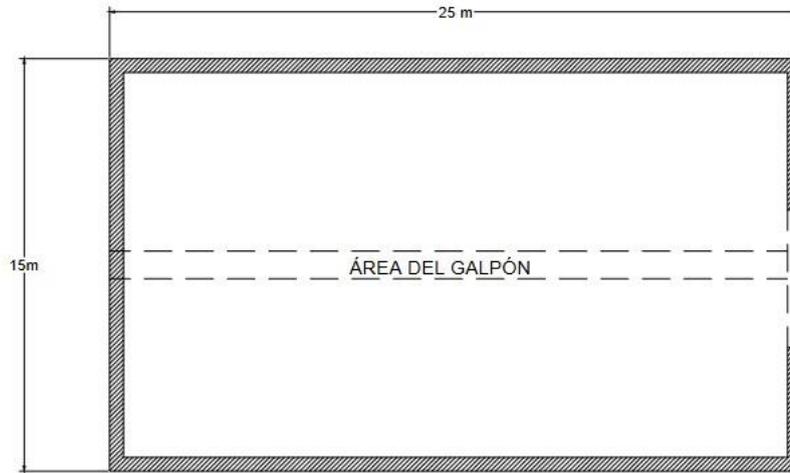
Por tanto, la potencia nominal del inversor puede considerar el valor de 20kW asumiendo una potencia fotovoltaica de 30kWp, o dado el caso de que no existe un inversor de tal capacidad, se puede emplear una cantidad proporcional de inversores de las mismas características conectados en paralelo, para suplir dicha potencia.

2.9 Área disponible para la instalación del sistema fotovoltaico

Durante la visita técnica realizada en la agrícola Alfadeli, se observó que el galpón posee una superficie de 375 metros cuadrados disponibles para el montaje y arreglo de paneles solares tal como se observa en la Figura 14. Esta inspección llevada a cabo permitió determinar las dimensiones y características estructurales del galpón.

Figura 14

Área disponible para el arreglo de paneles 375 m²



Considerando que el área total que ocuparían los paneles es de 133.79 m² y el galpón designado de la agrícola Alfadeli cuenta con un área de 375 m² entonces existe espacio más que suficiente para la disposición de los 56 módulos fotovoltaicos sea cual sea el arreglo.

2.10 Selección del inversor

El mercado ofrece muchas y muy variadas opciones de inversores, es posible clasificar a los inversores por marca, tipo de conexión CA y potencia nominal.

Tras haber realizado la visita técnica a la agrícola se determinó que la industria consta con una alimentación monofásico 3 hilos 120/240V, por lo que, se toma en cuenta únicamente inversores que cuenten con esta característica.

Para la evaluación y selección de los elementos del sistema se emplean los siguientes criterios cuantitativos y cualitativos.

- Costo y disponibilidad: Facilidad de adquisición en el mercado.
- Eficiencia: Porcentaje de máxima eficiencia del inversor fotovoltaico.
- Potencia Nominal: Capacidad de soportar la potencia del SFV.

Tras realizar un estudio de mercado se logró delimitar las marcas a tres principales en el mercado nacional, las marcas seleccionadas son: HUAWEI, GROWATT y SMA.

De acuerdo con los catálogos de cada una de las marcas no existe ninguna opción de inversor monofásico que sea capaz de soportar una potencia superior a 10 kWp, por lo que, se optará por colocar más de un inversor fotovoltaico, los modelos seleccionados son de cada marca son el más grande del catálogo de inversores monofásicos: HUAWEI SUN2000-6KTL-L1, GROWATT MIN10000TL-X, SMA SUNNY BOY 7.7-US.

La Tabla 12 representa la matriz de ponderación correspondiente al criterio de “costo y disponibilidad” del inversor fotovoltaico en el mercado nacional.

Tabla 12

Matriz de Ponderación Costo y Disponibilidad del Inversor Fotovoltaico

Costo y Disponibilidad	HUAWEI SUN2000- 6KTL-L1	GROWATT MIN10000 TL- X	SMA SUNNY BOY 7.7-US	Σ+1	FP
HUAWEI SUN2000-6KTL- L1	-	0,5	1	2,5	0,42
GROWATT MIN10000TL-X	0,5	-	1	2,5	0,42
SMA SUNNY BOY 7.7-US	0	0	-	1	0,17
			Total:	6	

La Tabla 13 presenta la matriz de ponderación que corresponde al criterio de “Eficiencia” del inversor fotovoltaico, este dato fue tomado directamente de la hoja de datos de cada uno de los inversores.

Tabla 13

Matriz de Ponderación de Eficiencia del Inversor Fotovoltaico

Eficiencia	HUAWEI SUN2000- 6KTL-L1	GROWATT MIN10000 TL-X	SMA SUNNY BOY 7.7- US	$\Sigma+1$	FP
HUAWEI SUN2000- 6KTL-L1	-	1	1	3	0,5
GROWATT MIN10000TL- X	0	-	1	2	0,34
SMA SUNNY BOY 7.7-US	0	0	-	1	0,17
			Total:	6	

La Tabla 14 presenta la matriz de ponderación que corresponde al criterio de “Potencia Nominal” del inversor fotovoltaico, en este criterio se pondera la potencia de paneles fotovoltaicos que soporta el inversor fotovoltaico.

Tabla 14

Matriz de Ponderación de la Potencia Nominal del Inversor Fotovoltaico

Potencia Nominal	HUAWEI SUN2000-6KTL-L1	GROWATT MIN10000 TL-X	SMA SUNNY BOY 7.7-US	$\Sigma+1$	FP
HUAWEI SUN2000-6KTL-L1	-	0	0	1	0,17
GROWATT MIN10000TL-X	1	-	1	3	0,5
SMA SUNNY BOY 7.7-US	1	0	-	2	0,34
			Total:	6	

De acuerdo con los criterios establecidos en esta sección se obtuvieron valores de la ponderación de cada uno de los modelos, estos valores se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Resultados del Criterio de Ponderación

MODELO DE INVERSOR	RESULTADOS
--------------------	------------

HUAWEI SUN2000-6KTL-L1	1,09
GROWATT MIN10000TL-X	1,26
SMA SUNNY BOY 7.7-US	0,68

De acuerdo con los resultados obtenidos la mejor opción es la GROWATT MIN10000TL-X, la hoja de datos de este inversor se encuentra en el **Anexo E – Hoja De Datos Del Inversor Fotovoltaico**.

2.11 Cálculo de los valores de operación del inversor respecto a los valores del módulo fotovoltaico

La Tabla 16 resume los valores de operación del inversor obtenidos a partir de las Ecuaciones de la 15 a la 27. Dichos valores son empleados para la estimación de los arreglos de paneles de forma que opere a su máxima capacidad evitando que se produzcan daños en el equipo debido a valores excesivos de voltaje y corriente en las entradas MPPT (Seguidor de Punto de Máxima Potencia) del inversor.

Tabla 16

Valores de operación del inversor

Parámetro	Valor obtenido	Ecuación
$V_{mpp}(70^{\circ}\text{C})$	36.77 V	16
$V_{mpp}(-10^{\circ}\text{C})$	47.94 V	17
$I_{sc}(70^{\circ}\text{C})$	12.5 A	18

$V_{oc}(70^{\circ}\text{C})$	45.67 V	19
$V_{oc}(-10^{\circ}\text{C})$	56.39 V	20
N_{serie}	2.71 :: 3 Módulos	21
N_{serie}	11.78 :: 12 Módulos	22
N_{serie}	8 Módulos	
$N_{paralelo}$	1 :: 7 entradas	23
Numero de inversores	3	
V_{invmin}	$80 \leq 294.16 \text{ V}$	13
V_{invmax}	$550 \geq 383.52 \text{ V}$	14
V_{ocmax}	$600 \geq 450.12 \text{ V}$	15
I_{invmax}	$13.5 \geq 12.5 \text{ A}$	16

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 16 juntamente con los valores de operación de voltaje y corriente del inversor descritos en el ANEXO E para cada entrada MPPT (Seguidor de Punto de Máxima Potencia) se consideró el emplear 8 paneles fotovoltaicos conectados en serie. Considerando que son 56 paneles fotovoltaicos se consideran 7 entradas MPPT(Seguidor de Punto de Máxima Potencia) es decir 3 inversores, se consideró dicha configuración a fin de que los inversores estén balanceados, respecto a el voltaje.

2.12 Cálculo del valor de los conductores

La Tabla 17 resume el valor que se deberá emplear para el caso de los conductores que irán interconectados entre el inversor y el arreglo de paneles fotovoltaicos dichos valor se obtuvo a partir de las Ecuaciones de la 27, 28 y 30.

Tabla 17

Conductor eléctrico para el sistema en corriente continua

Parámetro	Valor	Ecuación
Corriente del tramo	15.625 A	25
Voltaje pico del arreglo	342.4 V	26
Sección transversal del conductor considerando 30m	10AWG	28

La Tabla 18 detalla el valor que deberá tener el conductor en el lado de salida de potencia del inversor, es decir en las conexiones de corriente alterna, dicho valor se obtuvo a partir de las ecuaciones 26 a la 29.

Tabla 18

Conductor eléctrico para la conexión en corriente alterna

Parámetro	Valor	Ecuación
Corriente del tramo	33.75 A	25
Corriente pico de salida del inversor	52.08 A	27

2.13 Cálculo de las protecciones del sistema

La Tabla 19 resume los valores obtenidos respecto a las protecciones del sistema fotovoltaico encargadas de salvaguardar la integridad del sistema fotovoltaico en caso de sobrecargas, cortocircuitos o sobre corrientes dichos valores se obtuvieron a partir de las Ecuaciones de la 31 a la 37.

Tabla 19

Valores calculados para las protecciones eléctricas

Parámetro	Valor	Ecuación
Protecciones de sobre voltaje	498 V	29
Interruptores termomagnéticos en corriente continua	23.15 A	31
Protecciones de fusibles CC	$33.33 \text{ A} \leq I_n \leq 44.45 \text{ A}$	32
Protección termomagnética del inversor	33.75 A	34
Protecciones del inversor sobrevoltaje	240 V	35

Al aplicar ecuaciones para la selección de protecciones, se consideran factores como la corriente de cortocircuito máxima, las condiciones de falla, la resistencia térmica, y las características de los dispositivos de protección en sí. Esto asegura que

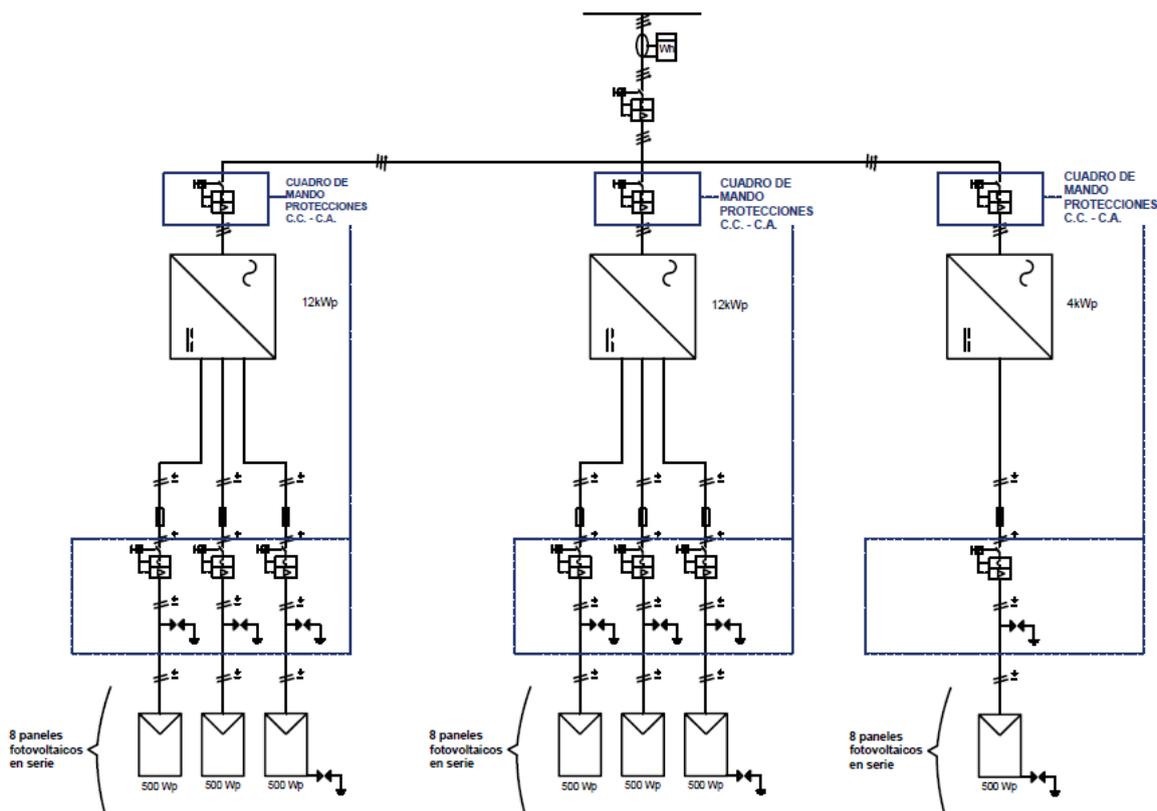
los componentes seleccionados no solo sean capaces de manejar las condiciones normales de operación, sino también de actuar eficientemente en situaciones anómalas, como cortocircuitos o sobrecargas, minimizando así el riesgo de daños al sistema y garantizando la seguridad.

2.14 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico

En la Figura 15 se representa el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico de 28kWp de potencia instalada en el cual se describe la posición donde se ubican las protecciones de los elementos interconectados en base a los valores obtenidos en la Tabla 19 .

Figura 15

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico



El diagrama unifilar que se observa en la Figura 15 se realizó a partir de los valores obtenidos en las Tablas 16 y 19 donde se describe la distribución de paneles respecto a los valores de entrada MPPT (Seguidor de Punto de Máxima Potencia) del inversor,

además de las protecciones que comprenden a la parte de corriente continua y corriente alterna.

2.15 Producción anual de energía estimada

A través de la ecuación 39 considerando una radiación solar de $4.7 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$, una potencia del inversor de 28kWp y un rendimiento del sistema de 0.866 se obtiene que la potencia inyectada es de 111.54 kWh/dia . Tomando en cuenta un periodo de 365 días se inyecta 40.712 kWh/año . Cabe aclarar que esta estimación se realizó con valores promedio de irradiación es decir que dado el caso de que en un mes se tenga una mayor cantidad de radiación solar sobre los paneles se obtendrá un valor superior de generación eléctrica.

Considerando que el consumo anual de la agrícola Alfadeli es de 39.600kWh/año y la producción anual del sistema fotovoltaico es de 40.712kWh/año , se tiene que el sistema fotovoltaico diseñado puede cubrir un 102% de la demanda energética de la agrícola, es decir que el sistema puede cubrir el 100% de la demanda energética de la agrícola además de ello puede inyectar un excedente del 2%.

2.16 Discusión de resultados

En el trabajo de investigación “Diseño de un sistema fotovoltaico on grid para un predio rural en el municipio de Floridablanca” por parte de Prado (2021) se demostró que la cantidad de energía consumida para el cliente estudiado es suficiente para justificar la posible implementación de un sistema fotovoltaico dado el registro histórico de energía, además se consideró que la radiación solar en la zona es lo suficientemente alta para cumplir con las expectativas del proyecto.

Potes (2019) analizó detalladamente la implementación de un sistema fotovoltaico en la Universidad Técnica de Cotopaxi, destacando su potencial solar óptimo con un promedio anual de 4.34 Horas de Sol Pico. Se identificó una demanda energética máxima en el Edificio B de 35.11 kW, optimizando la eficiencia energética mediante un factor de potencia cercano a 1 durante las horas de operación del sistema. La orientación estratégica de los paneles, con un ángulo azimut de 22° , maximizó la captación de radiación solar. Con una capacidad instalada de 26.4 kW y 66 paneles, el sistema no solo abasteció las necesidades del Bloque B, sino que

también permitió la inyección de energía excedente a la red.

Martín de la Torre (2022) realizó un análisis para el diseño de un sistema fotovoltaico en el Bloque D de la Universidad Politécnica Salesiana, ajustándose a la normativa ARCERNNR-001/2021 y su actualización, ARCERNNR-013/2021, que permite instalaciones de hasta 100 kW. El consumo energético del bloque fue meticulosamente estudiado, registrando un promedio mensual de 4676.91 kWh, lo que llevó a un diseño que promete un ahorro mensual significativo. El proyecto contempló la instalación de 37 paneles fotovoltaicos, calculados para cumplir con la demanda de 12 kWh diarios del Bloque D, teniendo en cuenta una pérdida del 30% en el funcionamiento del inversor.

En base a los trabajos de investigación anteriormente descritos se puede evaluar los resultados obtenidos. Inicialmente se observa que la potencia consumida por la agrícola Alfadeli de 3.300kWh-mes es lo suficientemente alta como para considerar el diseñar un sistema fotovoltaico para su posterior implementación de ser el caso. Además, considerando la ubicación de la agrícola y en base a los datos de diferentes bases de datos meteorológicas se considera una radiación solar de 4.70kWh-día, la cual ratifica el punto anterior.

La adecuación a la normativa ARCERNNR-001/2021, junto con su actualización, es crucial en el diseño de sistemas fotovoltaicos. Dicha normativa dicta los criterios operativos y los límites de seguridad y eficiencia que deben seguirse, garantizando así que los sistemas se ajusten a los estándares establecidos. En cuanto al dimensionamiento de un sistema fotovoltaico de 28kWp, teniendo en cuenta la Hora Sol Pico, se observa una congruencia con los resultados obtenidos en investigaciones previas. La elección de los paneles fotovoltaicos, un aspecto clave en el diseño, debe considerar diversos factores como la disponibilidad en el mercado y aspectos económicos. Por otro lado, la elección del inversor Growatt 1000TLX, basada en ecuaciones específicas y en línea con los estudios referenciados, se alinea con los requerimientos del proyecto. Esta selección demuestra una planificación de forma que se asegure que el inversor se adecue a las necesidades específicas del sistema y contribuya a su rendimiento óptimo.

La selección de protecciones en sistemas fotovoltaicos se determina a través

de varias ecuaciones, para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema. Este método implica el uso de cálculos para dimensionar adecuadamente los dispositivos de protección, como fusibles, disyuntores y protectores contra sobretensiones, en función de las características específicas del sistema, como la corriente máxima de operación, la capacidad de los paneles, el inversor y la configuración del cableado.

La correcta selección de estas protecciones, basada en cálculos y ecuaciones, permite prevenir fallos en el sistema, reducir el tiempo de inactividad, y prolongar la vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico. Además, cumple con los estándares de seguridad requeridos y garantiza el cumplimiento de las normativas vigentes en la instalación de sistemas fotovoltaicos.

El resultado de estos enfoques es un sistema fotovoltaico que cumple con los requisitos normativos y técnicos. La capacidad de estos sistemas de permite generar un ahorro del 100% en costos además de que puede producirse un excedente del 2%, al mismo tiempo se adapta a las necesidades energéticas específicas de la industria agrícola lo cual demuestra la efectividad y relevancia en el contexto de la transición energética hacia fuentes renovables.

3 CAPÍTULO III

SIMULACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO

El tercer capítulo se examinaron los resultados obtenidos de las simulaciones del sistema fotovoltaico. Se realizaron las evaluaciones de los modelos y cálculos previamente efectuados en el capítulo anterior, con el objetivo de verificar su precisión. Este proceso incluye la evaluación del comportamiento de los componentes del sistema fotovoltaico ante cambios en la irradiación solar y la temperatura ambiente. El propósito principal es identificar el punto de máxima potencia generada, lo que a su vez permitirá confirmar y validar los hallazgos presentados en el capítulo II.

3.1 Software empleado

3.1.1 MATLAB

MATLAB, un acrónimo de "Matrix Laboratory", es una plataforma de programación y un lenguaje de alto nivel creado por MathWorks. Este entorno es notable por su eficacia en la generación de gráficos avanzados y visualizaciones de datos, lo que mejora la exploración y presentación de los resultados. MATLAB facilita la escritura de scripts y funciones, lo cual es esencial para la automatización de tareas y el desarrollo de aplicaciones a medida. Una característica distintiva de MATLAB es su habilidad para integrarse con otros lenguajes de programación como C, C++, Java y Python, y con una variedad de bibliotecas y herramientas de software, permitiendo así la expansión de sus funcionalidades y la incorporación de otras tecnologías según sea necesario. (MATLAB, 2023)

3.1.2 SIMULINK

Simulink, que complementa a MATLAB, es un entorno de modelado y simulación. Es utilizado para el diseño, modelado y simulación de sistemas dinámicos, que incluyen sistemas de control y procesamiento de señales, así como sistemas físicos. En Simulink, los usuarios pueden crear modelos de sistemas utilizando bloques que simbolizan componentes y funciones, y conectarlos mediante líneas que representan las interacciones y flujos de datos. Simulink es especialmente valioso en la simulación de sistemas multidominio, ya que permite integrar modelos de dominios

como el eléctrico, mecánico y térmico en una única simulación. Gracias a su interfaz gráfica intuitiva y la capacidad de desarrollar bloques personalizados, Simulink se convierte en una herramienta poderosa para el diseño y optimización de sistemas complejos. (MATLAB, 2023)

3.1.3 PVSYST

PVsyst se ha creado pensando en los profesionales como arquitectos, ingenieros e investigadores, pero también es excepcionalmente útil como recurso didáctico. Posee un menú de ayuda detallada que clarifica los métodos y modelos empleados en el programa, proveyendo una metodología accesible y orientada al usuario con instrucciones paso a paso para la elaboración de proyectos. Además, PVsyst tiene la capacidad de incorporar tanto datos meteorológicos como datos personales provenientes de múltiples fuentes.(PVSYST, 2023)

3.1.4 PVGIS

PVGIS, que significa Photovoltaic Geographical Information System (Sistema Geográfico de Información Fotovoltaica), es una herramienta en línea desarrollada por la Comisión Europea, específicamente por el Joint Research Centre (Centro Común de Investigación). Su principal propósito es proporcionar estimaciones de la producción de energía solar fotovoltaica en diferentes lugares de Europa y África, aunque su alcance se ha ampliado a otras regiones del mundo. PVGIS utiliza datos de irradiación solar obtenidos de satélites y otros recursos para proporcionar estimaciones precisas y confiables. Además, ofrece mapas y gráficos que facilitan la visualización de los niveles de irradiación solar y el potencial fotovoltaico de un área. Esto es especialmente valioso para la planificación y optimización de proyectos de energía solar, ya que ayuda a determinar la viabilidad y eficiencia de estos proyectos en diferentes regiones y bajo diversas condiciones climáticas.(PVGIS, 2023)

3.2 Radiación solar y temperatura del lugar

El software PVSYST incluye una larga base de datos respecto a la radiación solar, temperatura, Humedad y velocidad del viento de todo el mundo. Los datos meteorológicos proporcionados por PVSYST son confiables ya que se obtienen a través de múltiples estaciones meteorológicas. La Tabla 20 describe las condiciones

meteorológicas para las coordenadas latitud 0,512 y longitud -78,150.

Tabla 20

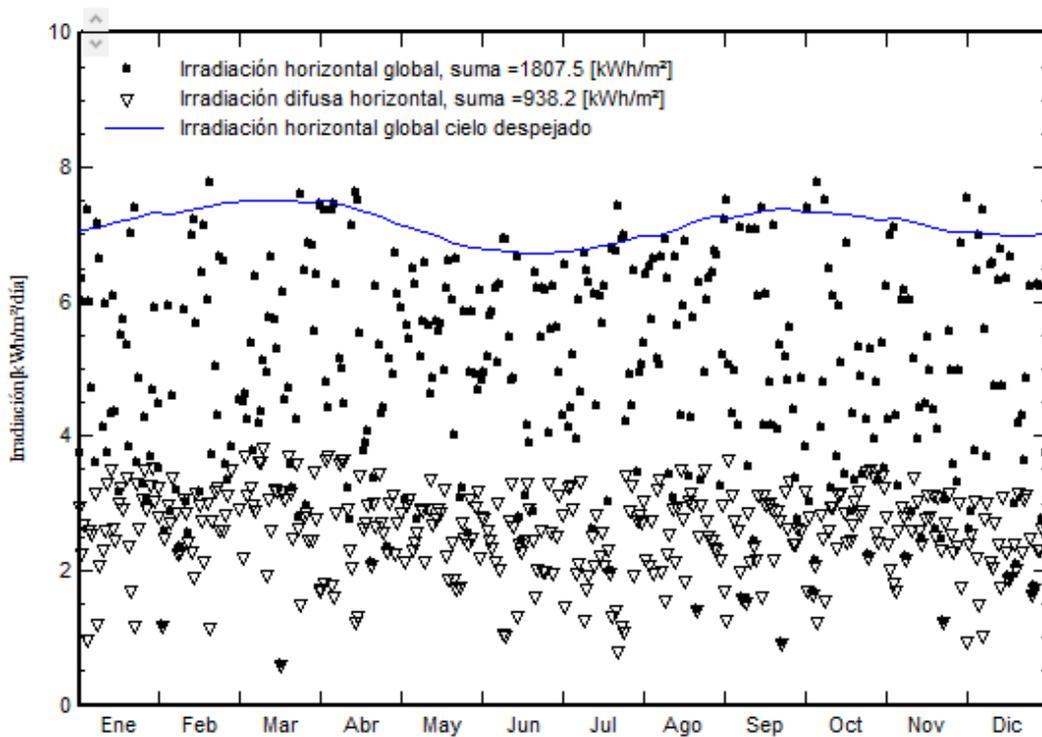
Condiciones meteorológicas de la ubicación de la agrícola alfadeli

Valores	GlobH	DiffH	Temp	Wind Vel
Mes	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s
January	149.1	76	15.1	2.2
February	124.4	60.9	15.1	2
March	152.8	75.8	15.1	2
April	153.6	60.3	14.8	2.1
May	160.6	67.9	15.1	2.2
June	154.4	58.1	14.7	2.99
July	157.3	65.2	15	3.6
August	156.9	67.6	15.1	4.1
September	140.8	67.1	15	3.59
October	137.6	77	15.2	2.5
November	136.8	64.8	14.9	1.99
December	143.4	73.7	15.1	2.2
Anual	1767.8	814.3	15	2.62

La figura 16 extraída de PVSYST permite visualizar el comportamiento de la radiación solar durante el año 2021.

Figura 16

Radiación solar en la ubicación de la agrícola alfadeli



3.3 Radiación solar determinada mediante del software PVGIS

A partir de las características técnicas de los componentes seleccionados, las coordenadas geográficas del sector y el ángulo de inclinación de la cubierta donde serán instalados las placas fotovoltaicas se estableció los parámetros necesarios para realizar la simulación.

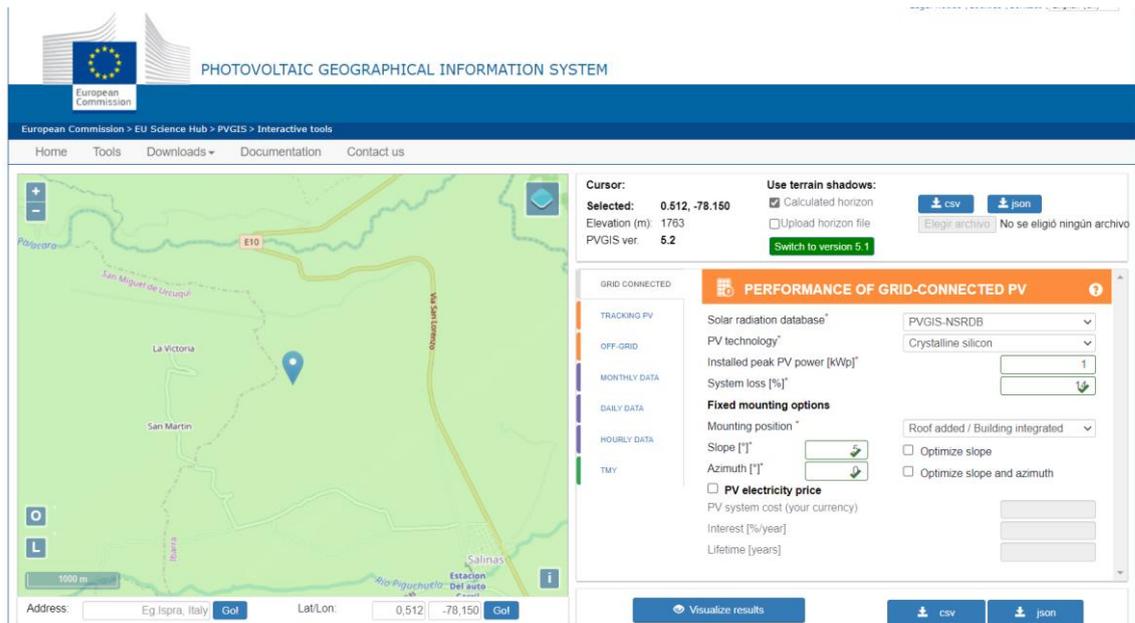
Al desconocer la potencia del sistema fotovoltaico necesaria para cubrir las necesidades energéticas de la agrícola; dentro de la simulación se coloca que la potencia será de 1 kWp, esto se hizo con la finalidad de establecer el valor de generación por kWp que tendrá un sistema fotovoltaico instalado en el sector de Salinas. Los parámetros de la simulación son:

- Coordenadas: latitud 0,512 y longitud -78,150.
- Solar radiation database: PVGIS-NSRDB (base de datos de irradiación).
- PV technology: Crystalline silicon (tecnología de la placa solar).
- Installed peak PV power [kWp]: 1 (Potencia pico del sistema fotovoltaico).
- System loss [%]: 14 (Porcentaje de pérdidas del sistema fotovoltaico).

- Mounting position: Roof added/Building integrated (Tipo de anclaje de las placas solares).
- Slope [°]: 5 (Grados de inclinación de las placas solares)
- Azimuth: 0 (Grados de desviación)

Figura 17

Pantalla del software de simulación solar PVGIS en la zona de la Agrícola

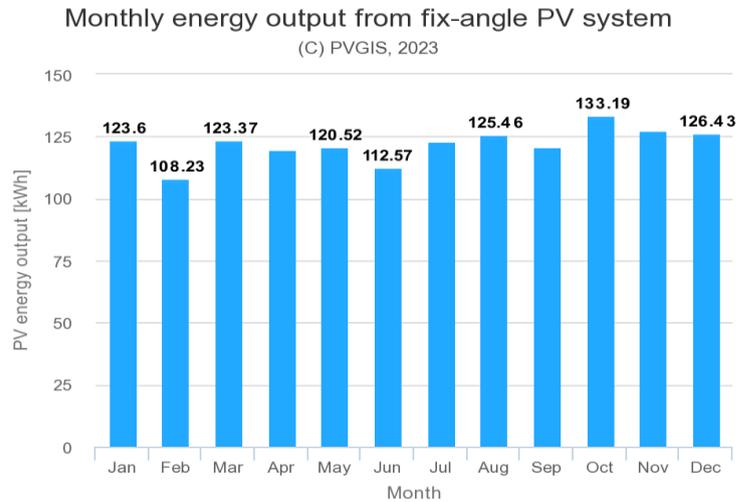


Nota. Fuente: (COMISSION, 2023).

Como resultado de la simulación se obtuvo los datos de generación anuales de un sistema fotovoltaico con una potencia de 1 kWp representados en la gráfica de barras de la Figura 17.

Figura 18

Energía generada por el sistema fotovoltaico en el sector de Salinas

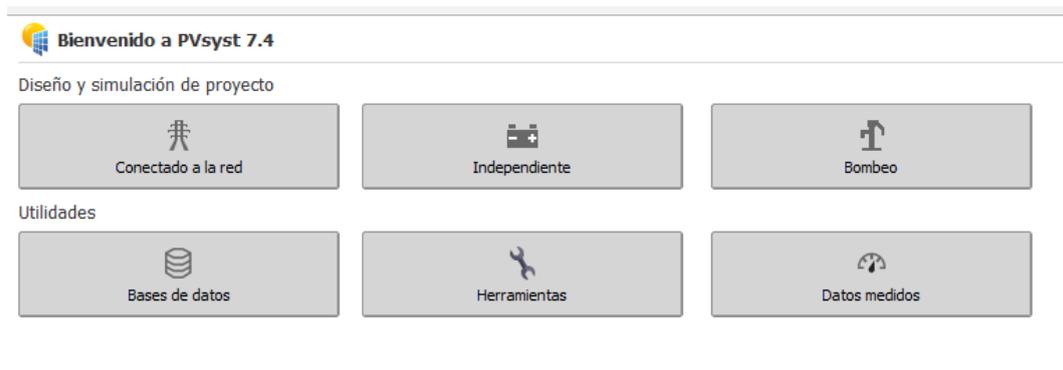


3.4 Simulación empleando el software PVSYST

PVSYST es uno de los mejores softwares para realizar el dimensionamiento óptimo de sistemas fotovoltaicos de distintas características tales como, on grid, off grid y bombeo, tal como se observa en la Figura 19.

Figura 19

Sistemas fotovoltaicos en PVSYST



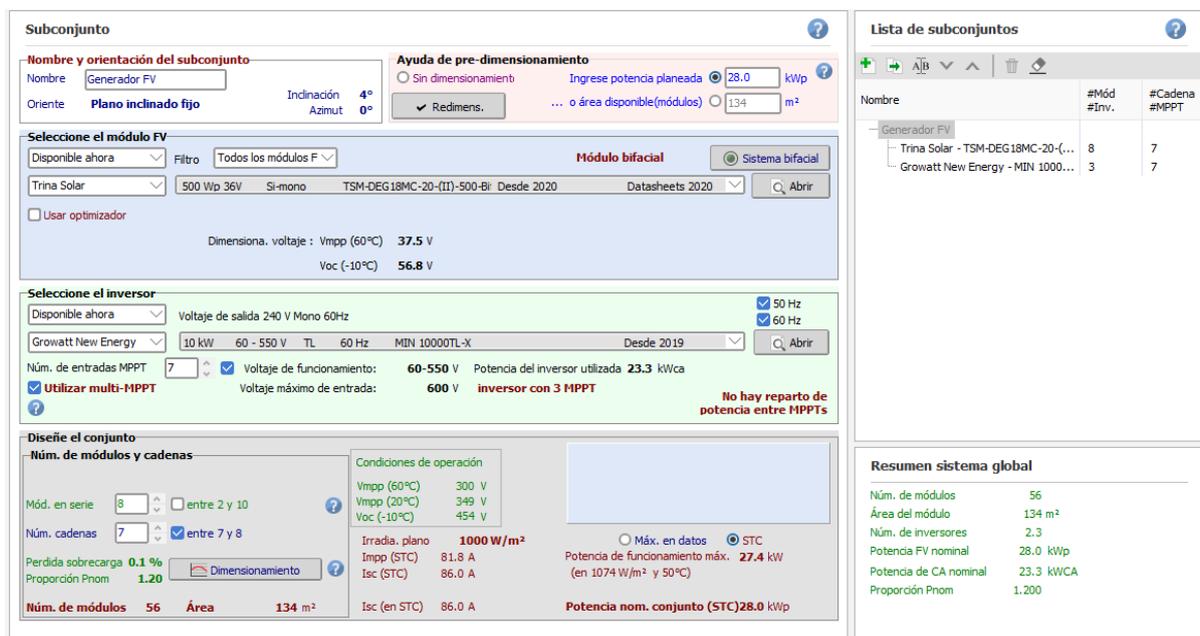
3.4.1 Selección de Equipos para el software PVSYST

PVSIST cuenta con una variedad de equipos tanto como para inversores como para paneles fotovoltaicos. En este caso de estudio al ser un sistema on-grid solo se

requiere la selección del panel fotovoltaico y del inversor en este caso es el panel fue el TSM-DE18M(II), respecto al inversor el seleccionado fue el Growatt 10000TLX, tal como se observa en la Figura 20. Además de permitir la selección de los equipos dentro de la pestaña abrir se puede modificar valores de los mismos para el caso de pruebas.

Figura 20

Selección de equipos para en el software PVSYST



Tal como se observa en la Figura 21 el arreglo adecuado para los paneles fotovoltaicos es de 8 paneles en serie por 7 arreglos en paralelo, ya que cada inversor tiene 3 entradas MPP (Máximo punto de potencia) se emplean en total 3 inversores, sin embargo, en el tercer inversor se emplea solo una entrada MPP, por ende, el tercer inversor se usaría como una reserva dado el caso de que la demanda eléctrica crezca se podrían integrar 2 arreglos en serie adicionales los cuales podrían ser capaces de suplir hasta 8kWp adicionales.

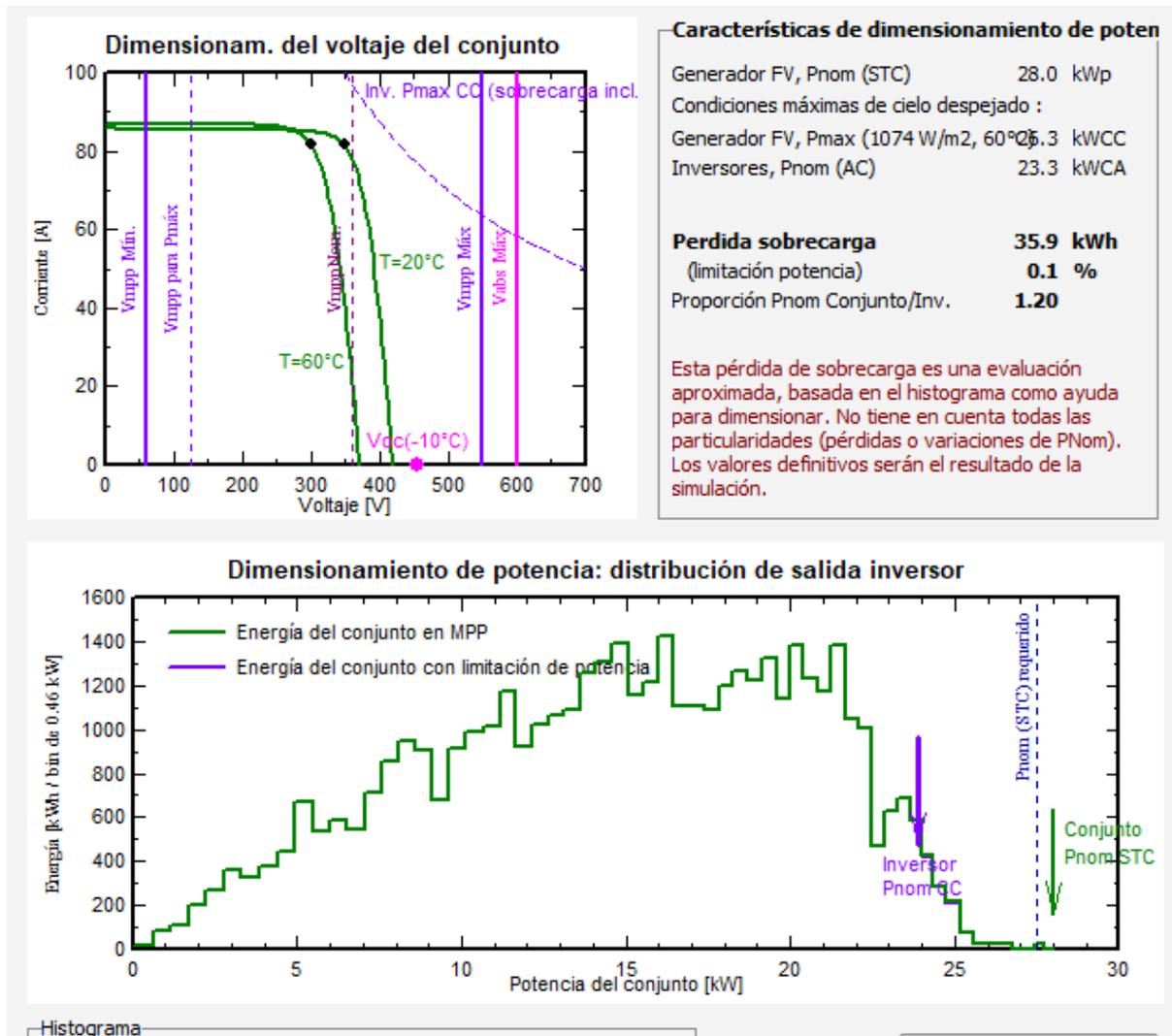
3.4.2 Dimensionamiento de potencia del sistema fotovoltaico

La figura 21 obtenida a través de PVSYST permite evaluar cual es la potencia total que puede suministrar el Inversor de ser el caso, sin embargo, esta estimación es en base a él histograma por tanto los valores reales de potencia y pérdidas se

obtienen tras la simulación del sistema fotovoltaico.

Figura 21

Dimensionamiento de la potencia del sistema fotovoltaico

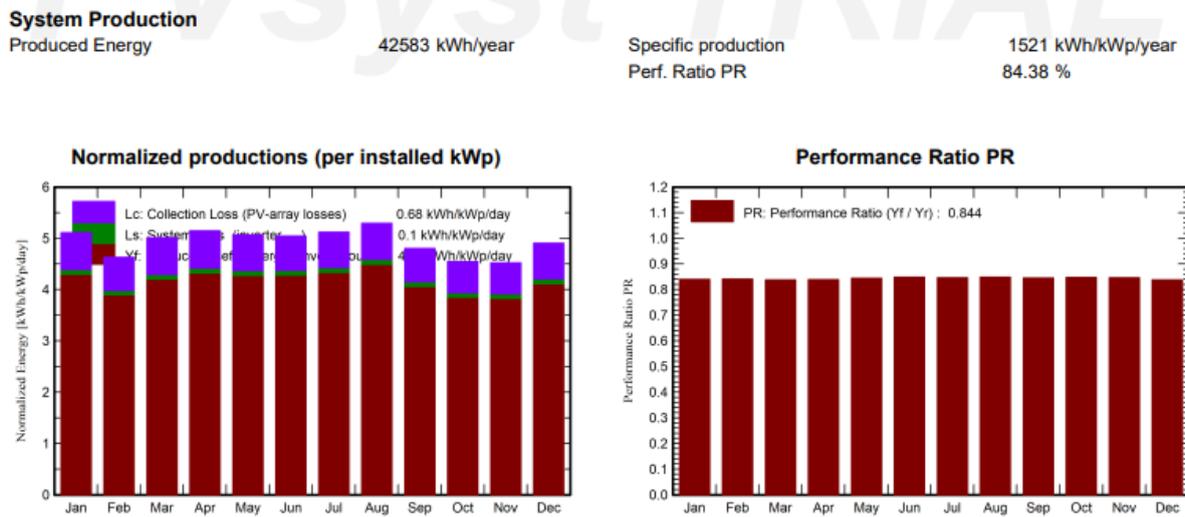


3.4.3 Simulación del sistema fotovoltaico

En la Figura 22 se observan los resultados pertenecientes a la simulación del sistema fotovoltaico.

Figura 22

Valores obtenidos del sistema fotovoltaico tras la simulación



El rendimiento del sistema tiene concordancia con los valores obtenidos en el cálculo, sin embargo, tal como se mencionó dichos valores varían tienen variaciones debido a la radiación solar empleada y la temperatura empleada por el software. Como se observa en la Figura 23 sección a la potencia que pueden producir los paneles fotovoltaicos ronda los 4.7kWh/día, y al año se producen 42.583kWh/año, lo cual representa un 107% de la demanda eléctrica de la agrícola Alfadeli, tal como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21

Valores de generación eléctrica del sistema fotovoltaico

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	proporción
Enero	154.9	83.82	25.89	158.5	154.4	3813	3729	0.84
Febrero	128.3	74.74	26.07	129.7	126.4	3126	3056	0.841
Marzo	155.4	88.84	26.43	155.5	151.7	3733	3649	0.838
Abril	156.2	79.8	25.95	154.5	150.7	3716	3632	0.84
Mayo	160.7	80.78	25.83	157.1	152.9	3798	3713	0.844
Junio	155.8	72.1	24.48	151.3	147.2	3680	3598	0.849

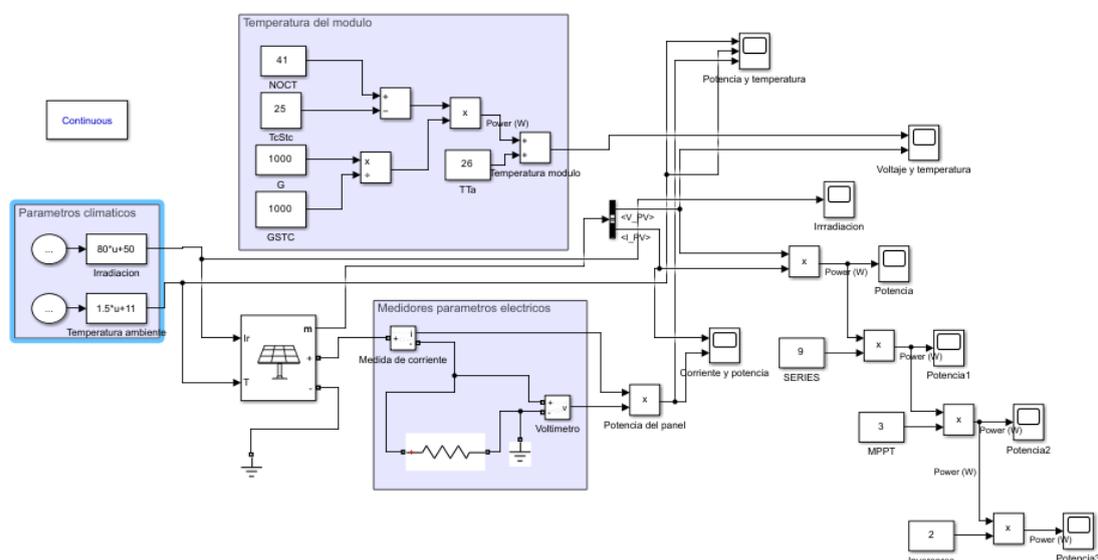
Julio	163.1	70.43	24.3	158.7	154.4	3848	3762	0.846
Agosto	166.8	80.47	23.8	164.1	160.2	3988	3899	0.849
Septiembre	144.8	74.67	23.47	144.2	140.5	3493	3414	0.846
Octubre	140	83.59	23.93	141	137.4	3423	3345	0.847
Noviembre	133.3	77.17	23.97	135.8	132.3	3294	3217	0.846
Diciembre	148.1	71.79	25.45	152.1	148.4	3654	3570	0.838
Año	1807.5	938.21	24.96	1802.4	1756.6	43567	42583	0.844

3.5 Simulación empleando MATLAB/SIMULINK

A través de MATLAB junto a su extensión SIMULINK se desarrolló un diagrama de bloques que permitió evaluar la salida de potencia pico del arreglo de paneles fotovoltaicos, tal como se observa en la Figura 23.

Figura 23

Diagrama de bloques del arreglo de paneles fotovoltaicos



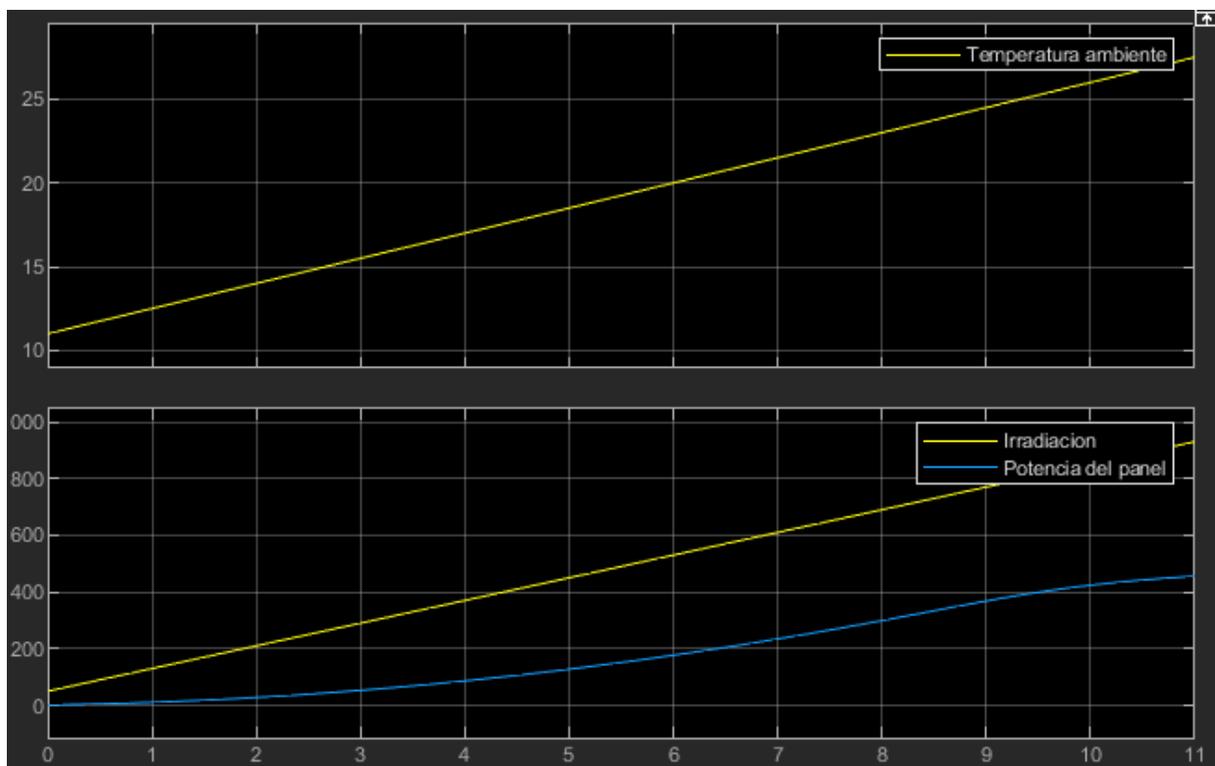
El diagrama de bloques desarrollado en Simulink contiene diferentes secciones donde se estudió la relación entre la temperatura y la radiación solar respecto a la generación eléctrica.

3.5.1 Potencia del panel de acuerdo con variaciones de radiación y temperatura

La Figura 24 demuestra la relación que existe entre la radiación y la temperatura respecto a la generación tal como se ve son crecientes de forma ascendente en horas de la mañana hasta que llegan a un pico máximo, en este pico máximo el panel produce a máxima capacidad sin embargo cabe aclarar que este sufre de pérdidas.

Figura 24

Potencia entregada por el panel en diferentes condiciones de pruebas



De acuerdo con la figura se puede observar que la potencia del panel TSM-DE18M(II) de 500Wp en realidad produce una potencia nominal de 430W en condiciones de radiación solar máxima de 1000W/m² y una temperatura de 27 °C.

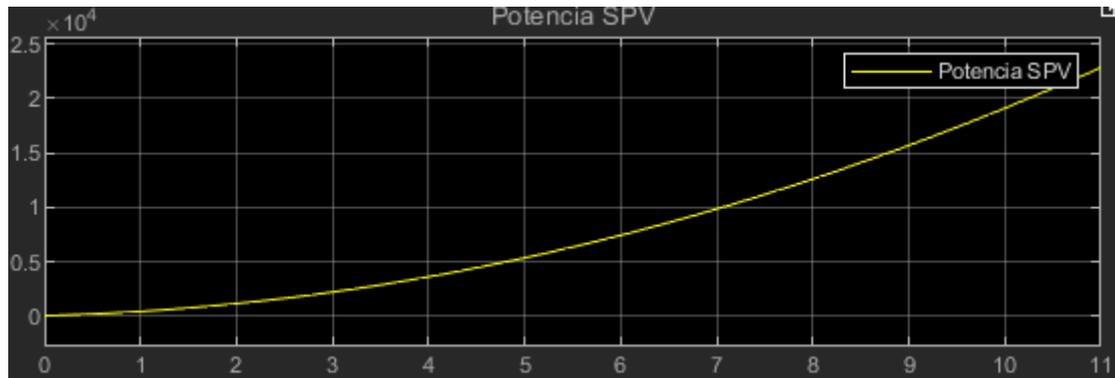
3.5.2 Potencia entregada por los inversores en paralelo

A partir de la evaluación de potencia del panel fotovoltaico en diferentes condiciones de temperatura e irradiación solar se empleó un arreglo de bloques en

Simulink que permitiera evaluar la potencia entregada por los inversores en paralelo.

Figura 25

Potencia entregada por el sistema fotovoltaico en diferentes condiciones de pruebas



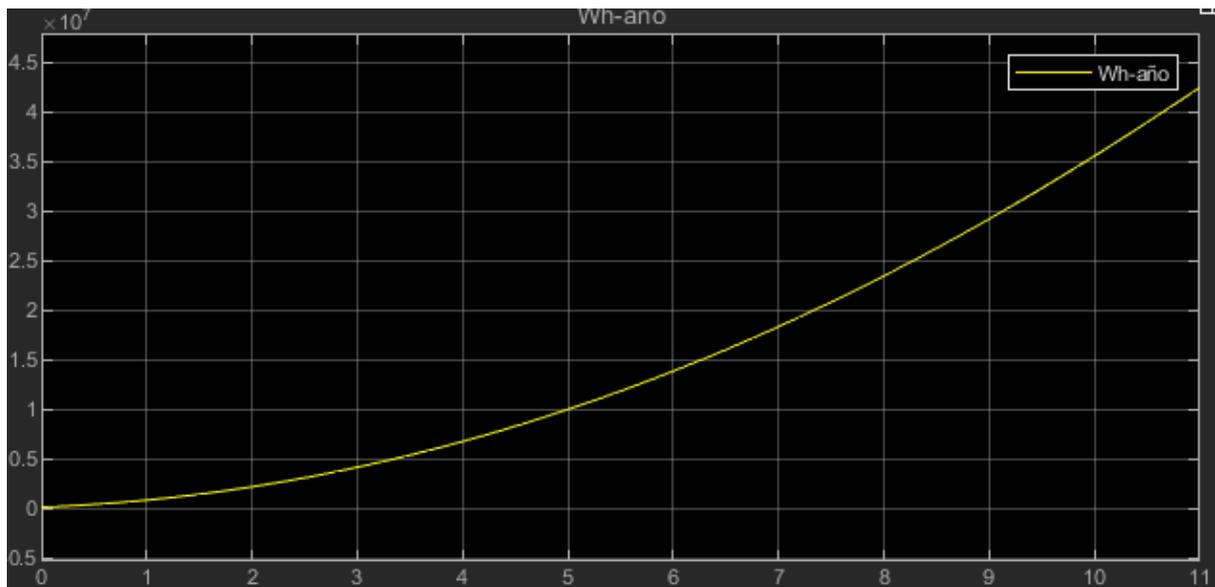
De acuerdo con la Figura 25 el valor que entrega el sistema fotovoltaico ronda los 23.2kW es decir que se generan alrededor de 4.64kWh-día en comparación con los valores calculados y los valores obtenidos en la simulación mediante el uso de PVSYST se puede decir que la potencia obtenida concuerda entre sí.

3.5.3 Potencia entregada anualmente por el sistema fotovoltaico

La Figura 26 describe la potencia entregada por el sistema fotovoltaico al año dando como resultado 42.500kWh/año, dicho valor tiene relación con los valores obtenidos a través del cálculo y la simulación realizada a partir de PVSYST en donde se obtuvo un valor de 42.583kWh/año.

Figura 26

Potencia entregada por el sistema fotovoltaico en un año



3.6 Análisis de resultados

El sistema fotovoltaico propuesto para la agrícola Alfadeli presento los siguientes resultados.

En primer lugar, la potencia anual requerida por la industria agrícola Alfadeli de acuerdo con los valores de medición entregados por la empresa eléctrica EMELNORTE S.A son de 39.600kWh-año en promedio.

Mediante una tabla de ponderación se seleccionó un panel fotovoltaico TSM-DE18M(II) de 500Wp el cual se acoplo a el proyecto debido a sus características descritas en el ANEXO F.

Respecto a la radiación solar de la zona donde se encuentra la industria es de 141.26 kWh/m²/mes a través de este valor se determinó que existen alrededor de 5 Horas sol pico dicho sin embargo tras considerar que cada mes tiene un valor de radiación diferente se empleó el valor de 4 Horas sol pico dicho valor fue necesario para realizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico de acuerdo con las ecuaciones descritas en el capítulo II.

A partir de estos datos iniciales se determinó que la potencia necesaria en kWp del sistema es de 28, en conjunto con la potencia del panel de 500Wp se determinó que se debían emplear 56 paneles. De igual manera que con el panel fotovoltaico se buscó un inversor que se adapte a las necesidades de la agrícola en base a varias

matrices de ponderación se seleccionó el inversor Growatt 10000TLX debido a sus características descritas en el ANEXO E. Ya que la potencia del arreglo de módulos fotovoltaicos supera la potencia de un inversor se optó por emplear dos inversores en paralelo para suplir dicho problema posteriormente se realizó el cálculo que determino el mejor arreglo de paneles fotovoltaicos para cada entrada MPPT (Seguidor de Punto de Máxima Potencia) donde se obtuvo que 8 paneles en serie serian adecuados para cada una de las entradas de los inversores.

Una vez determinado el arreglo de módulos fotovoltaicos para cada una de las entradas MPP se calculó los valores de protecciones tanto para el lado de corriente continua como para el lado de corriente alterna de forma que se eviten daños en los equipos debido a protecciones inadecuadas. Respecto a el cableado del sistema fotovoltaico se determinó que para el lado de corriente continua se puede trabajar con un conductor de calibre 10AWG, y para el lado de corriente alterna se puede trabajar con un conductor de calibre 8AWG, cabe aclarar que de ser el caso en que las distancias sean diferentes a las descritas en las Tablas 17 y 18 el valor del conductor deberá ser recalculado.

A partir de todos estos datos se procedió con la simulación donde se obtuvieron resultados concordantes a el trabajo realizado. Respecto a la potencia anual obtenida tras la simulación en PVSYST en conjunto con la simulación en SIMULINK se determinó que el sistema fotovoltaico planteado puede cubrir el 100% de la demanda energética de la agrícola, además de que se puede generar un excedente del 7% de acuerdo con la simulación realizada en el software PVSYST juntamente con Simulink.

3.7 Propuesta técnica para un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en la Industria ALFADELI S.A.

El presente documento describe una propuesta técnica para la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en la Industria ALFADELI S. A. Este sistema aprovechará la energía solar para generar electricidad y contribuirá a la sostenibilidad, la reducción de costos de energía.

El sistema fotovoltaico estará compuesto por los siguientes componentes:

Paneles Solares:

Tipo: TRINA SOLAR TSM-DE18M(II) de 500W

Potencia nominal: 500 W.

Cantidad: 56.

Inversores:

Tipo: GROWATT MIN10000TL-X

Capacidad:10000 W

Sistema de Montaje:

Estructura de montaje: La estructura a emplearse es el Sistema MultiRail que es muy específico para utilizar el techo de Eternit.

Diseño

El diseño del sistema incluirá:

Ubicación de los paneles solares será sobre el techo de uno de los galpones de la Industria.

Inclinación y orientación óptimas para maximizar la captación solar esto es debido por el lugar y mantenimiento de los paneles a un grado de 5°.

Dimensionamiento del sistema de acuerdo con el consumo de energía eléctrica.

Diseño eléctrico para la interconexión segura con la red eléctrica existente.

Implementación

La implementación del sistema se llevará a cabo en las siguientes etapas:

Análisis y Planificación: Se realizará un análisis detallado de las necesidades energéticas y se planificará la ubicación de los componentes.

Adquisición de Componentes: Se adquirirán los paneles solares, inversores y demás componentes necesarios.

Instalación: Se llevará a cabo la instalación de los componentes siguiendo las mejores prácticas de seguridad y eficiencia.

Conexión a la Red: Se realizará la conexión del sistema a la red eléctrica existente, cumpliendo con los requisitos legales y técnicos.

Beneficios Esperados

Generación de energía sostenible.

Reducción significativa en los costos de electricidad.

Contribución a la sostenibilidad ambiental.

Acceso a programas de energía renovable.

Tabla 22

Elementos que conforman el sistema fotovoltaico.

ITE M	DETALLE	UNIDADE S	DESCRPCIÓN
		TOTAL	
1	Paneles Fotovoltaicos de TRINA SOLAR TSM-DE18M(II) de 500W	56	Tomado de Deege Solar. (2023, May 24). The Different Types of Solar Panels. Retrieved January 22, 2024, from https://www.deegesolar.co.uk/types_of_solar_panels/
2	Inversores fotovoltaicos GROWATT MIN10000TL-X De 10000W	3	Tomado de Radica Software. (2024). Single Line Symbols. SIEMENS. Retrieved January 22, 2024, from https://symbols.radicasoftware.com/229/single-line-symbols
3	Estructura de soporte Multi rail K2 Systems	143	Sirve para montar y sostener los paneles solares.

4	Tornillo autoterrajador con disco obturador	286	Nos permite asegurar los soportes Multi rail
5	Clamp intermedio de K2-Systems	97	Nos permiten unir un panel con otro teniendo sujeción en el centro.
6	Clamps final de K2-Systems	46	Nos ayudan a sujetar al final de cada string de paneles solares.
7	Fusible 40A-500V DC	7	Nos permiten dar protección a la entrada de nuestro inversor.
8	Breaker magnetotérmico de 63AAC	3	Nos permiten dar protección a la salida del inversor en AC.
9	Conectores MC4 macho	14	Nos permiten unir los cables de salida de los paneles y entrada con hembra al inversor.
10	Conectores MC4 hembra	14	Nos permiten unir los cables de salida de los paneles y entrada con macho al inversor.
11	Cable para alterna #8 AWG	50 m	Nos permite conectar al medidor bidireccional a la salida del inversor.
12	Cable fotovoltaico #10 AWG	50 m	Nos permite realizar las conexiones entre paneles a la entrada de cada MPPT del inversor fotovoltaico.
13	Cable puesta a tierra #14 AWG	100 m	Sirve para llevar la puesta tierra de cada panel fotovoltaico TNC tierra neutro común conectado al tablero general.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los diseños más comunes son on-grid (conectados a la red), off-grid (independientes de la red) y sistemas híbridos que integran ambos. Se ha determinado que los sistemas on-grid resultan más económicos, tomando en cuenta los paneles e inversores. Los sistemas fotovoltaicos contribuyen a la reducción de costos en la factura eléctrica a corto plazo y a la recuperación de la inversión inicial a largo plazo. Bajo esta perspectiva, se propuso diseñar un sistema fotovoltaico específico para la industria agrícola ALFADELI S.A.
- Se considera el dimensionamiento en base al consumo calculado donde permitió establecer una potencia anual aproximada de 39600kWh/año dicho consumo se obtuvo considerando el formato de levantamiento de cargas de la industria agrícola ALFADELI S.A, a partir de este valor se obtuvo que la potencia del sistema fotovoltaico debe ser de 28kWp capaz de cubrir el consumo energética de la agrícola por ende se selecciona la capacidad del inversor y del panel con sus principales características y protecciones.
- Con la simulación realizada en MATLAB, PVGIS y PVSYST para el sistema fotovoltaico on-grid de 28kWp de ALFADELI S.A., se mostró una producción anual de 42583kWh. Este sistema satisface completamente el consumo energético de la empresa agrícola, proporcionando incluso un 7% de excedente. La propuesta técnica del sistema fotovoltaico para la industria incluye paneles solares, inversores y protecciones. El diseño, se enfocó en maximizar la generación de energía y reducir costos, adaptado a las necesidades de ALFADELI S.A., teniendo en cuenta la ubicación, orientación y ángulo de los paneles.

Recomendaciones

- A los resultados obtenidos se recomienda que al realizar la instalación se debe tomar en cuenta el mantenimiento preventivo y correctivo para dicho sistema fotovoltaico, también del presente estudio sobre el sistema fotovoltaico conectado a la red diseñado para la industria agrícola ALFADELI S.A., se fundamentaron a partir de datos históricos de radiación solar y temperatura hasta el año 2023, por ende, se recomienda utilizar dichos resultados como referencia para investigaciones futuras de diseños fotovoltaicos. Es pertinente que dichas investigaciones consideren los valores de irradiación y temperatura actualizados para garantizar la precisión y relevancia de los análisis en el desarrollo de sistemas fotovoltaicos adaptados a las necesidades energéticas.

REFERENCIAS

- AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (5 de abril de 2021). Regulación Nro. ARCERNNR-001/2021. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ALQUIMODUL. (2019). Sistemas Fotovoltaicos. *Alquimodul*, 1-4.
- AL-SHAHRI, O. A.-S. (2021). Solar photovoltaic energy optimization methods, challenges and issues: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 284.
- APARICIO, M. (2020). *Radiación Solar y su aprovechamiento*. Marcombo.
- AUTOSOLAR. (2023). Obtenido de AutoSolar Web Site: <https://autosolar.co/>
- BERNAOLA CANTURIN, A. P. (2018). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica en el pabellón de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- BERNARDINO, L. T. (2021). Cooperación y emergencia ambiental: Hacia la reversión del reloj climático.
- BURGOS, M. E. (2018). Los desafíos del futuro: crecimiento poblacional y desarrollo. *Journal de Ciencias Sociales*, vol. 6, no 11.
- CEVALLOS, W. R. (2019). La energía fotovoltaica. *Revista contribuciones a la Economía*.
- CHAVARRÍA, J. (2010). *Diseño e Implementación de un Inversor Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red*. Barcelona: ETSETB.
- COMMISSION, E. (2023). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM - PVGIS*. Obtenido de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html
- CONELEC. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR*. Quito.
- Energética, C. p. (2008). *Atlas Solar*. Quito.
- ENERGÍAS RENOVABLES. (Noviembre de 2018). Obtenido de Energías

- Renovables Info Web site: <https://www.energiasrenovablesinfo.com>
- ESTENSSORO, F. (2021). *Energía y Medio Ambiente. Una Ecuación Difícil para América Latina*. Santiago de Chile, Chile.
- GAD, I. (2020). *Contratación del servicio de consultoría de la agenda productiva de la provincia de Imbabura*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Growatt. (2023). *Growatt*. Obtenido de Growatt Latam Web site: <https://latam.growatt.com>
- Hernández S., R., Fernández C., C., & Baptista L., P. (2016). *Metodología de la Investigación 6ta Edición*. México D.F.: MacGraw-Hill.
- HUIDOBRO PELAYO, M. (septiembre de 2016). *Diseño de una estructura soporte para un módulo de placa fotovoltaica*.
- INELDEC. (2023). Obtenido de Ingeniería Eléctrica Web Site: <https://ineldec.com/>
- INNOVACIÓN Y CUALIFICACION, S. L. (2017). *Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas*. IC ENAE0108: El Libro.
- K2 Systems. (2023). *K2 Systems*. Obtenido de K2-Systems Web site: <https://k2-systems.com/>
- LABARTA, J. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. San Sebastián: Editorial Donostiarra Sa.
- TASINCHAMNA, C. (Abril de 2021). *Propuesta técnica económica para un sistema de generación solar fotovoltaico conectado a red para el supermercado mi rey ubicado en la ciudad de Ibarra*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Trina Solar. (2023). *Trina Solar*. Obtenido de Trina Solar Web site: <https://www.trinasolar.com/>
- Oh, M., & Park, H. (2019, August 24). Optimization of Solar Panel Orientation Considering Temporal Volatility and Scenario-Based Photovoltaic Potential: A Case Study in Seoul National University. *Energies*, 12(17), 3262-3262. <https://doi.org/10.3390/en12173262>

García, J L., Jurado, F., & Larco, V C S. (2019, January 1). Review and resource assessment, solar energy in different region in Ecuador. E3S web of conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001003>

I. Hidayat, F. A. Samman and R. S. Sadjad, "Single-Phase DC-AC Inverter with Transformer and Transformerless and Low Power Dissipation Filter for Photovoltaic-Based Home-Scale Electric Power System," 2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 723-727, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938478.

Kumawat, P S. (2020, May 31). Review on Inverter for Solar Applications and Power Quality Improvement. https://www.ijeas.org/download_data/IJEAS0705007.pdf

Malik, N U R., Ullah, S., Khan, A., & Ullah, F. (2020, October 16). Designing and Analysis of Single Stage and Two Stage PV Inverter Connected to Weak Grid System. International journal of engineering works, 7(10), 361-368. <https://doi.org/10.34259/ijew.20.710361368>

Electronic Components - Resistors | FDA. (2019, February 19). <https://www.fda.gov/inspections-compliance-enforcement-and-criminal-investigations/inspection-technical-guides/electronic-components-resistors>

C, P. M. X. A. M. (2019, July 1). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el bloque b de la universidad técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5358>

Patricio, M. G. I. (2022, September 1). Diseño de un sistema de generación distribuida fotovoltaica para el bloque "D" del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23321>

MATLAB - MathWorks. (n.d.). MATLAB - MathWorks. <https://www.mathworks.com/products/MATLAB.html>

PVSYST (n.d). <https://pvsyst.com/>

Mauricio, V. V. R. (2023, November 14). Estudio de factibilidad para la implementación de sistemas fotovoltaicos en los sectores residenciales, comerciales e industriales de la ciudad de Ibarra. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15263>

Voltaconsolar. (2022, June 12). Three diagrams with photovoltaics and energy storage – Hybrid, Off Grid, Grid-Tied with Batteries. Voltacon Solar Blog. Retrieved January 22, 2024, from <https://voltaconsolar.com/blog/2022/06/09/three-diagrams-with-photovoltaics-and-energy-storage-hybrid-off-grid-grid-tied-with-batteries/>

Solardesignguide. (2021, February 2). An Introduction To Solar PV Systems - SolarDesignGuide. SolarDesignGuide. Retrieved January 22, 2024, from <https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>

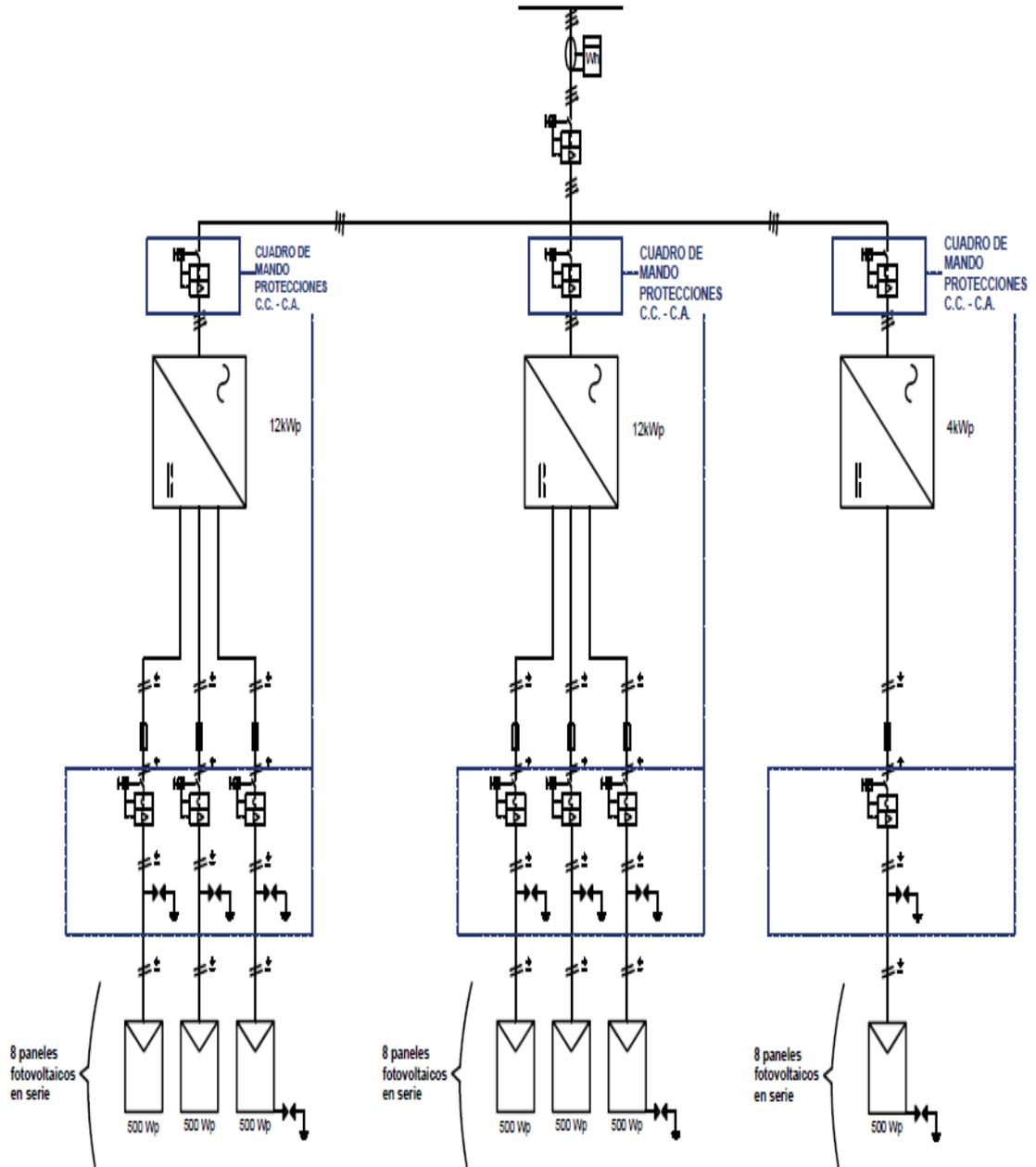
Radica Software. (2024). Single Line Symbols. SIEMENS. Retrieved January 22, 2024, from <https://symbols.radicasoftware.com/229/single-line-symbols>

GEYA. (2023, August 5). Combiner Box GYPV/16-1 DC - Relé de tiempo eléctrico Geya. GEYA Electrical Equipment Supply. Retrieved January 22, 2024, from <https://www.geya.net/es/product/gypv-16-1-dc-combiner-box/>

Retelec. (2022, October 21). Cuadro de protección salida inversor. Retrieved January 22, 2024, from <https://retelec.com/producto/cuadro-de-proteccion-salida-inversor/>

ANEXOS

Anexo A - Plano Unifilar Del Sistema Fotovoltaico



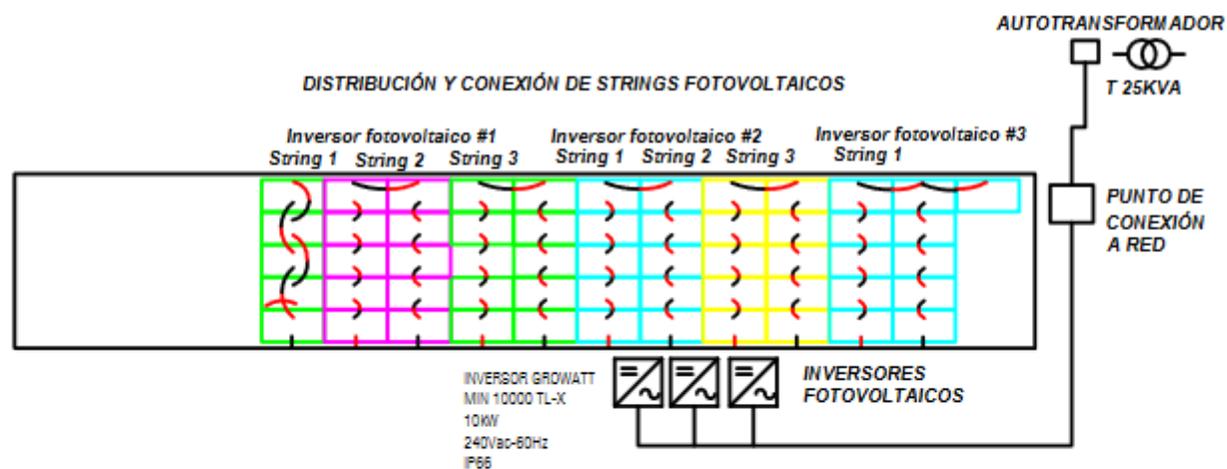
Anexo B - Plano De Distribución De Los Paneles Solares

CANTIDAD DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y ESTRUCTURA DE SOPORTE



PANEL SOLAR
TRINA SOLAR
VERTEX - 505W

DISTRIBUCIÓN Y CONEXIÓN DE STRINGS FOTOVOLTAICOS



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE		solucion no	fecha	funcion economica y tecnica
Diagrama de conexiones sistema fotovoltaico ALFADELI		Nelson Montenegro		Imágenes satelitales
autor	fecha	solucion no	fecha	costo
	1/1	Nelson Montenegro		
proyecto no	fecha			

Anexo C – Planilla De Consumo Eléctrico De Alfadeli S.A.

Juan Manuel Grilera S-54 y José Joaquín de Orosco, R.L.C. 1090051721001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN RP 195



Factura 001-999-012233937
 Número de autorización 1410202101109005172100120019990122339371455331217
 Ambiente PRODUCCION
 Emisión EMISION NORMAL
 Fecha de Autorización 15-10-2021 23:55:39

No. de	33317607-66
Valor a pagar:	474.98

Fecha de Emisión: 14/10/2021

Fecha de 02/11/2021

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 333176-8 AGRICOLA ALFADELI S.A.
 Código Único Eléctrico Nacional: 1300333176 Cédula / R.U. 1091743228001 Cod. 100156
 Dirección SALINAS VIA LA VICTO HDA. LA DELICIA
 Plan/Geocódigo: 7 01-19-005-0500 Tarifa: 306-B.Agua Dem.Registrador(Media Tension)
 Provincia - Cantón - Imbabura - Ibarra - Salinas Geocódigo postal:
 Dirección notificación: Domicilio

FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor 17980-STR Desde 13/09/2021 Hast 13/10/2021 Días 30 Tipo Leído Constant 1.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 00h - 24h (L-D)	49874.00	45564.00	4398	kWh	268.16
Demanda 22h00 - 18h00 00h - 2	19.19		20	KW	
Maxima			20	KW	
Demanda Cliente			20	KW	

SERVICIO ELÉCTRICO

VALOR CONSUMO	268.16
DEMANDA	95.80
COMERCIALIZACION	1.41
SERVICIO ELÉCTRICO (1.1) :	365.37
ALUMBRADO PÚBLICO	73.07
ALUMBRADO PÚBLICO (1.2) :	73.07
OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO	
I.V.A. (0%)	0.00
OTROS (1.3) :	0.00
TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3) :	438.44



SUBSIDIOS DEL GOBIERNO	
Tarifa Eléctrica	127.92
TOTAL:	127.92



TOTAL	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público:	438.44
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (A):	438.44

FORMA DE PAGO

EFFECTIVO	DINERO ELECTRÓNICO	TARJETA DE CRÉDITO/DÉBITO	OTROS
			438.44



1410202101109005172100120019990122339371455331217

CLIENTE

NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTOS PARA
EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN

RUC: Suministro: 333176-8
 Nombre: AGRICOLA ALFADELI S.A. Cédula / R.U. 1091743228001
 Dirección: SALINAS VIA LA VICTO HDA. LA DELICIA
 Fecha de: 14/10/2021

CONCEPTO	VALOR
TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBEROS:	

NOTIFICACIÓN DE PAGO POR LA TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA DEL
MUNICIPIO DEL CANTÓN
MUNICIPIO DE IBARRA

RUC: 1060000260001 Suministro: 333176-8
 Nombre: AGRICOLA ALFADELI S.A. Cédula / R.U. 1091743228001
 Dirección: SALINAS VIA LA VICTO HDA. LA DELICIA
 Fecha de: 14/10/2021

CONCEPTO	VALOR
TASA RECOLECCION BAS	36.54
TOTAL TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA:	36.54

RESUMEN DE VALORES A PAGAR

Total Sector Eléctrico (A) :	438.44
Total tributo cuerpo de bomberos	0
Total tasa de recolección de basura	36.54
Total otros rubros terceros	0
TOTAL A PAGAR (USD):	474.98

Anexo D – Visita Técnica A La Agrícola Alfadeli S.A.

Entrada al Cuarto de Máquinas de la Agrícola



Toma de Datos de Niveles de Voltaje en el Sistema de Riego de la Agrícola



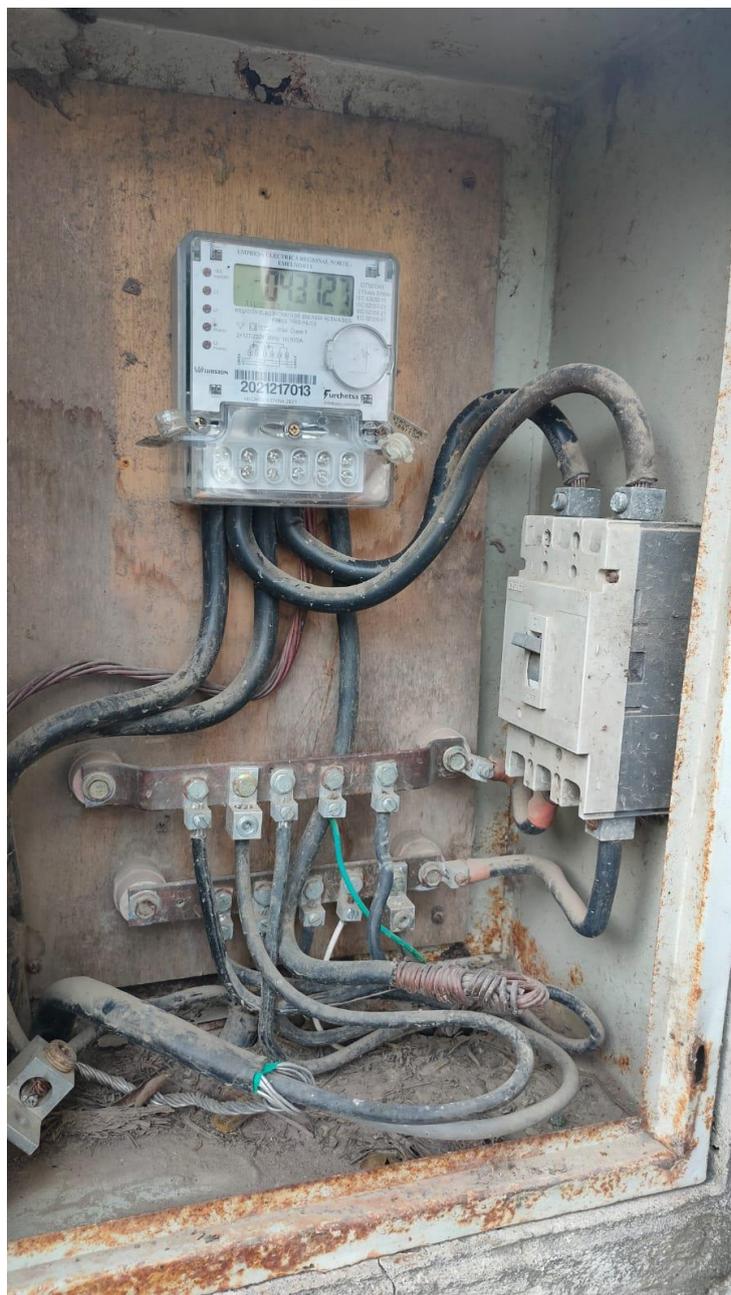
Sistema de Riego de la Plantación de Aguacate



Bombas del Sistema de Riego de la Plantación de Aguacates



Medidor de Energía Eléctrica de la Agrícola



MIN 7000~10000 TL-X

- Maximum efficiency 98.1%
- 2/3 MPP trackers
- Type II SPD on DC side
- Supports export control
- Touch key and OLED display



GROWATT



www.ginverter.com

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Datasheet	MIN 7000TL-X(E)	MIN 8000TL-X(E)	MIN 9000TL-X	MIN 10000TL-X
Input data (DC)				
Max. recommended PV power (for module STC)	12000W	12000W	13500W	15000W
Max. DC voltage	600V			
Start voltage	100V			
Nominal voltage	360V			
MPP voltage range	60-550V			
No. of MPP trackers	2		3	
No. of PV strings per MPP tracker	1/2		1/1/2	
Max. input current per MPP tracker	13.5A/27A		13.5A/13.5A/27A	
Max. short-circuit current per MPP tracker	16.9A/33.8A		16.9A/16.9A/33.8A	
Output data (AC)				
AC nominal power	7000W	8000W	9000W	10000W
Max. AC apparent power	7000VA	8000VA	9000VA	10000VA
Nominal AC voltage(range*)	Default:240V split-phase, optional:208V & 240V single phase , 183-228@208V 211-264V@240V			
AC grid frequency(range*)	50/60 Hz (45-55Hz/59.5-60.5Hz)			
Max. output current	33.5A	38.3A	43A	45.5A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging			
THDi	<3%			
AC grid connection type	Single phase			
Efficiency				
Max. efficiency	97.3%		98.1%	
European efficiency	97.3%		97.6%	
MPPT efficiency			99.5%	
Protection devices				
DC reverse polarity protection	Yes			
DC switch	Yes			
DC/AC surge protection	Type II / Type III			
Insulation resistance monitoring	Yes			
AC short-circuit protection	Yes			
Ground fault monitoring	Yes			
Grid monitoring	Yes			
Anti-islanding protection	Yes			
Residual-current monitoring unit	Yes			
AFCI protection	Yes			
General data				
Dimensions (W / H / D)	425/387/180mm			
Weight	18.2kg			
Operating temperature range	- 25 °C ... +60 °C			
Nighttime power consumption	< 1W			
Topology	Transformerless			
Cooling	Natural convection			
Protection degree	IP66			
Relative humidity	0-100%			
Altitude	4000m			
DC connection	H4/MC4(Optional)			
AC connection	Cable gland +OT terminal			
Display	OLED+LED/WIFI+APP			
Interfaces: RS485 / USB/WI-FI / GPRS/ RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional			
Warranty: 5 years / 10 years	Yes/Optional			
CE, IEC 62116, IEC 61727, IEC 62109, INMETRO, AS4777, UL1741, IEE1547				

* The AC voltage and frequency range may vary depending on specific country grid standard.
All specifications are subject to change without notice.

SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY CO.,LTD. A: 4-13/F, Building A, Sino-German(Europe)Industrial Park, Hangcheng Ave, Bao'an District, Shenzhen, China
T: + 86 755 2747 1900 E: + 86 755 2749 1460 E: info@ginverter.com

Anexo F - Hoja Del Panel Solar

Mono Multi Solutions

THE Vertex

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE



500W+
MAXIMUM POWER OUTPUT

21.1%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS | POWERRANGE
TSM-DE18M(II) | 480-505W



High customer value

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



High power up to 505W

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



High reliability

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



High energy yield

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

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

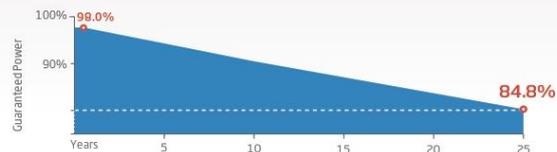
Comprehensive Products and System Certificates

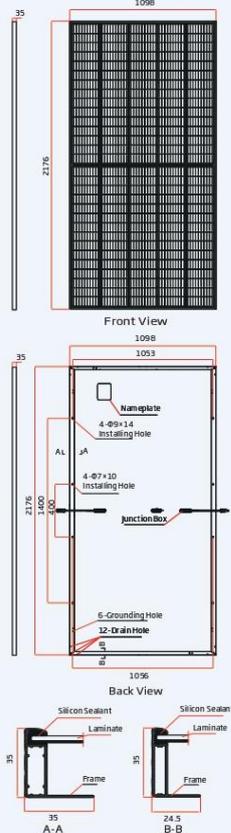
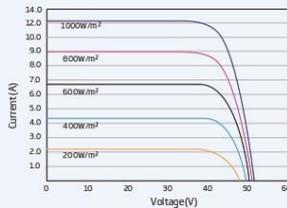
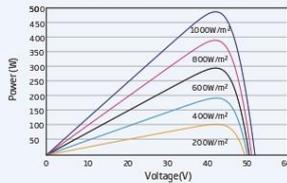
IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
ISO 9001: Quality Management System
ISO 14001: Environmental Management System
ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
ISO45001: Occupational Health and Safety Management System



Trinasolar

Trina Solar's VERTEX Backsheet Performance Warranty



DIMENSIONS OF PV MODULE (mm)

I-V CURVES OF PV MODULE (490 W)

P-V CURVES OF PV MODULE (490W)

ELECTRICAL DATA (STC)

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

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
 *Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

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

NMOT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm (85.67 × 43.23 × 1.38 inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 6B rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: N 280mm/P 280mm(1.102/11.02inches) Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

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

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

MAXIMUM RATINGS

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

WARRANTY

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

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

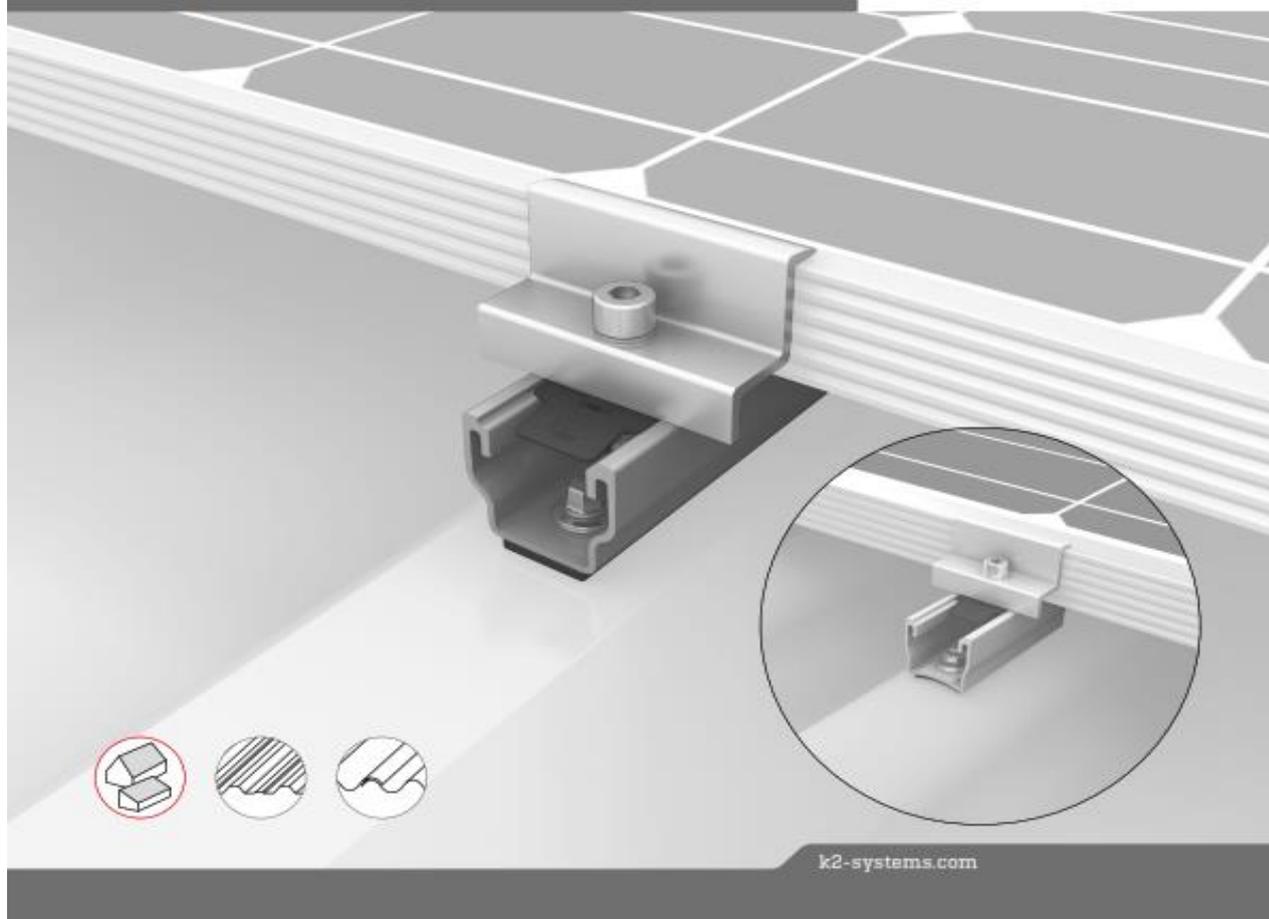
- Modules per box: 30 pieces
- Modules per 40' container: 600 pieces

Fijamos los sistemas fotovoltaicos



Sistema MultiRail

INSTRUCCIONES DE MONTAJE



Inhalt

▸ Resumen de herramientas	3
▸ Indicaciones generales de seguridad	4
▸ En general	5
· Planificación con K2 Base	5
· Requisitos del tejado	5
· Requisitos estáticos	5
· Wichtige Montagehinweise	5
▸ Componentes	6
· Cubierta de chapa trapezoidal	6
· Cubierta de chapa ondulada	8
▸ Montaje	10
· Cubierta de chapa trapezoidal	10
· Cubierta de chapa ondulada	14
▸ Pasos opcionales de montaje	20
· Conexión a tierra del bastidor del módulo	20
· Soporte paralelo al tejado con RailUp	20
▸ Notas	21

Calidad probada y certificada reiteradamente

K2 Systems representa la conexión segura y la máxima calidad y precisión. Nuestros clientes y socios ya lo saben desde hace mucho. Entidades independientes han comprobado, verificado y certificado nuestras competencias y componentes.

En k2-systems.com/es/informacion-tecnica encontrará nuestros certificados de calidad y de los productos.



Resumen de herramientas



6 mm



8 mm



6 - 35 Nm
(4,5 - 22,2 lb-ft)



6 mm



≥ 3,0 m



≥ 6,0 m

Digitale Toolbox



¿Conoce ya nuestros servicios digitales? Utilice ahora nuestra K2 DocuApp y registre los primeros datos importantes directamente en el lugar del cliente o del proyecto. Basta con transferir los datos a nuestro software de planificación en línea K2 Base. Aquí podrá planificar su proyecto de forma fácil, segura y rápida. Recibirá un informe detallado del proyecto con un plan de montaje y un informe estático. La interfaz K2+ permite transferir sin problemas los datos del proyecto a las herramientas de planificación de otros fabricantes. Con K2 DocuApp, la documentación del proyecto se realiza de forma rápida y sencilla, sin molestos trámites.

Empiece y regístrese ahora:

base.k2-systems.com →

docuapp.k2-systems.com →

Indicaciones generales de seguridad

Por favor, tenga en cuenta que deben cumplirse nuestras instrucciones generales de montaje. Éstas pueden consultarse en <https://k2-systems.com/es/informacion-tecnica>.

- ▶ Las instalaciones deben ser montadas y puestas en funcionamiento solo por personas que puedan garantizar una ejecución adecuada gracias a su cualificación especializada [p.ej. formación o actividad] o experiencia.
- ▶ Antes del montaje hay que comprobar si el producto cumple los requisitos estáticos in situ. En instalaciones en tejados hay que comprobar la capacidad de carga del tejado.
- ▶ Es imprescindible cumplir los reglamentos de construcción, las normas y las disposiciones medioambientales nacionales y locales.
- ▶ ¡Hay que cumplir las normativas de protección laboral y de prevención de accidentes, así como las correspondientes normas y normativas de la asociación profesional! En particular, hay que tener en cuenta:
 - Hay que llevar indumentaria de seguridad [entre otras, casco de protección, calzado de trabajo y guantes].
 - En los trabajos en tejados hay que respetar las normativas de trabajos sobre el tejado [p.ej. uso de: dispositivos contra caídas, andamiaje con dispositivo de retención a partir de una altura de alero de 3 m, etc.].
 - Es obligatoria la presencia de dos personas durante todo el proceso de montaje, para poder garantizar una asistencia rápida en caso de accidente.
- ▶ Los sistemas de montaje de K2 están en perfeccionamiento continuo. Con ello, los procesos de montaje pueden cambiar. Por esta razón, antes del montaje es imprescindible comprobar la versión actual de las instrucciones de montaje en: www.k2-systems.com/es/informacion-tecnica. Si nos lo solicita, le enviaremos con mucho gusto la versión actual.
- ▶ Hay que tener en cuenta las instrucciones de montaje del fabricante de los módulos.
- ▶ La conexión equipotencial entre las partes individuales de la instalación deberá realizarse según las correspondientes normativas nacionales específicas.
- ▶ Durante todo el tiempo que dure el montaje hay que garantizar que en el lugar del mismo haya disponible como mínimo un ejemplar del manual de instrucciones.
- ▶ En caso de incumplir nuestras normas e instrucciones de montaje y de no utilizar todos los componentes del sistema, así como en caso de montaje y desmontaje de componentes, que no hayan sido adquiridos a través nuestro, no asumimos ninguna responsabilidad por las deficiencias o daños que se deriven. En este sentido, queda excluida toda garantía.
- ▶ En caso de incumplimiento de nuestras indicaciones generales de seguridad, así como en caso de montaje o incorporación de componentes de la competencia, K2 Systems GmbH se reserva el derecho de exención de responsabilidad.
- ▶ Si se cumplen todas las indicaciones de seguridad y la instalación se realiza correctamente, existirá el derecho a la garantía del producto durante 12 años. Por favor, tenga en cuenta nuestras condiciones de garantía, que se pueden consultar en www.k2-systems.com/es/informacion-tecnica. Si nos lo solicita, le enviaremos con mucho gusto la versión actual.
- ▶ El desmontaje del sistema se realiza siguiendo los pasos de montaje en orden inverso.
- ▶ Los componentes de K2 de aceros inoxidable se pueden adquirir con diferentes clases de resistencia a la corrosión. En cada caso hay que comprobar la corrosividad que queda esperar para la construcción o componente correspondiente.

En general



Bajo las siguientes condiciones se puede emplear por defecto el sistema MultiRail. Aunque el sistema satisfaga elevadas exigencias por la integración de factores de seguridad, si se sobrepasan los valores indicados, dirijase a su persona de contacto de K2 Systems para una comprobación.

Planificación con K2 Base

Para el diseño recomendamos nuestro software online gratuito K2 Base. En cinco pasos planificará el sistema de montaje adecuado y obtendrá recomendaciones para la construcción, una lista de piezas y un informe de análisis estructural. Solo tiene que iniciar sesión y empezar con la planificación: base.k2-systems.com

Requisitos del tejado

- ▶ Fuerza de sujeción suficiente de la cubierta del tejado a la estructura soporte o subestructura
- ▶ Inclinación del tejado: 5 - 75°
- ▶ Grosor de chapa trapezoidal:
≥ 0,4 mm de acero o ≥ 0,5 mm de aluminio
- ▶ Calidad min. del acero S235 según DIN EN 10025-1
- ▶ Resistencia mínima a la tracción del aluminio:
165 N/mm²
- ▶ Anchura min. de molduras 22 mm, soporte plano alrededor de orificio de perforación: Ø ≥ 20 mm
- ▶ Alto radio de reborde para chapa ondulada:
r = 22 - 45 mm

Requisitos estáticos

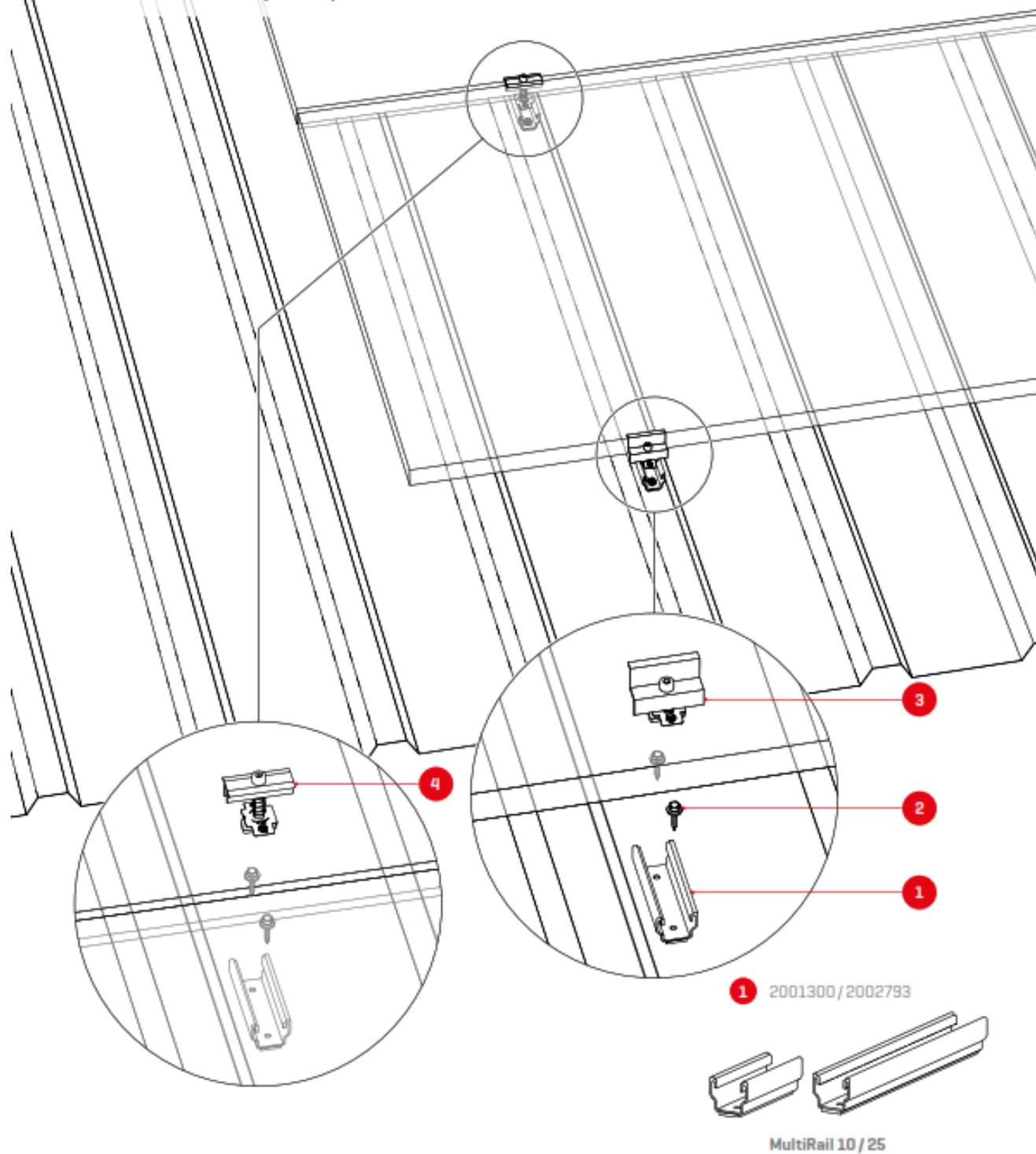
La comprobación estática de los componentes para la ubicación correspondiente se calcula automáticamente con el software de planificación K2 Base. El diseño se facilita mediante un informe del proyecto y debe respetarse.

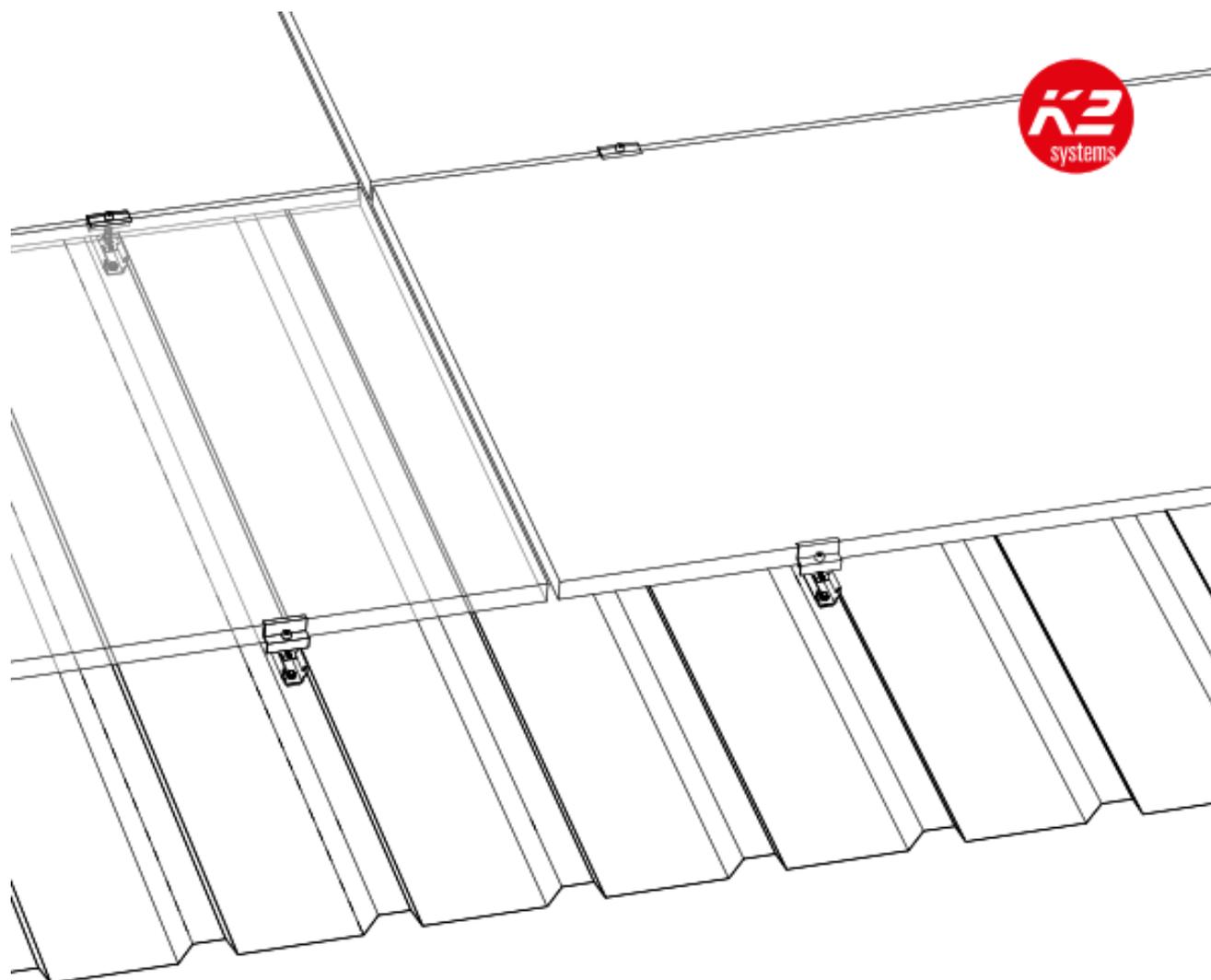
Wichtige Montagehinweise

- ▶ El cliente deberá observar todas las normas y prescripciones generales de protección contra rayos y, en caso necesario, deberá consultar a un técnico para la elaboración de la protección contra rayos [dado el caso, utilizar pinza de protección contra rayos]. Además se tienen que cumplir las normativas nacionales específicas.
- ▶ Hay que instalar una separación térmica tras cada 13,60 m [longitud de la fila de módulos en el sentido de las molduras]. Para ello hay que fijar dos carriles sucesivos sobre la misma moldura. La distancia mínima entre los MultiRails tiene que ser de 30 mm.
- ▶ Si la chapa trapezoidal está fijada con calotas, no se deben atornillar los MultiRails sobre ellas. Es imprescindible medir previamente las separaciones.
- ▶ Fije los MultiRails a la chapa ondulada o trapezoidal con tornillos de chapa fina aprobados por las autoridades de la construcción.
- ▶ Distancia mínima horizontal [sentido saliente del tejado-saliente del tejado] entre los lados cortos de los módulos: 5 mm.

Componentes

Cubierta de chapa trapezoidal





2 1005207



Tornillo autoterrajador
con disco obturador

3 N.º de artículo específico de
la instalación



K2 Clamp EC 25 - 37
Plata 2004147
Negro 2004149

K2 Clamp EC / OneEnd /
Pinza lateral de módulos estándar

4 N.º de artículo específico de
la instalación



K2 Clamp MC 25 - 40
Plata 2004148
Negro 2004149

K2 Clamp MC / OneMid /
Pinza intermedia de módulos XS

Componentes opcionales **Véanse páginas 20!**

2003191



RailUp Set

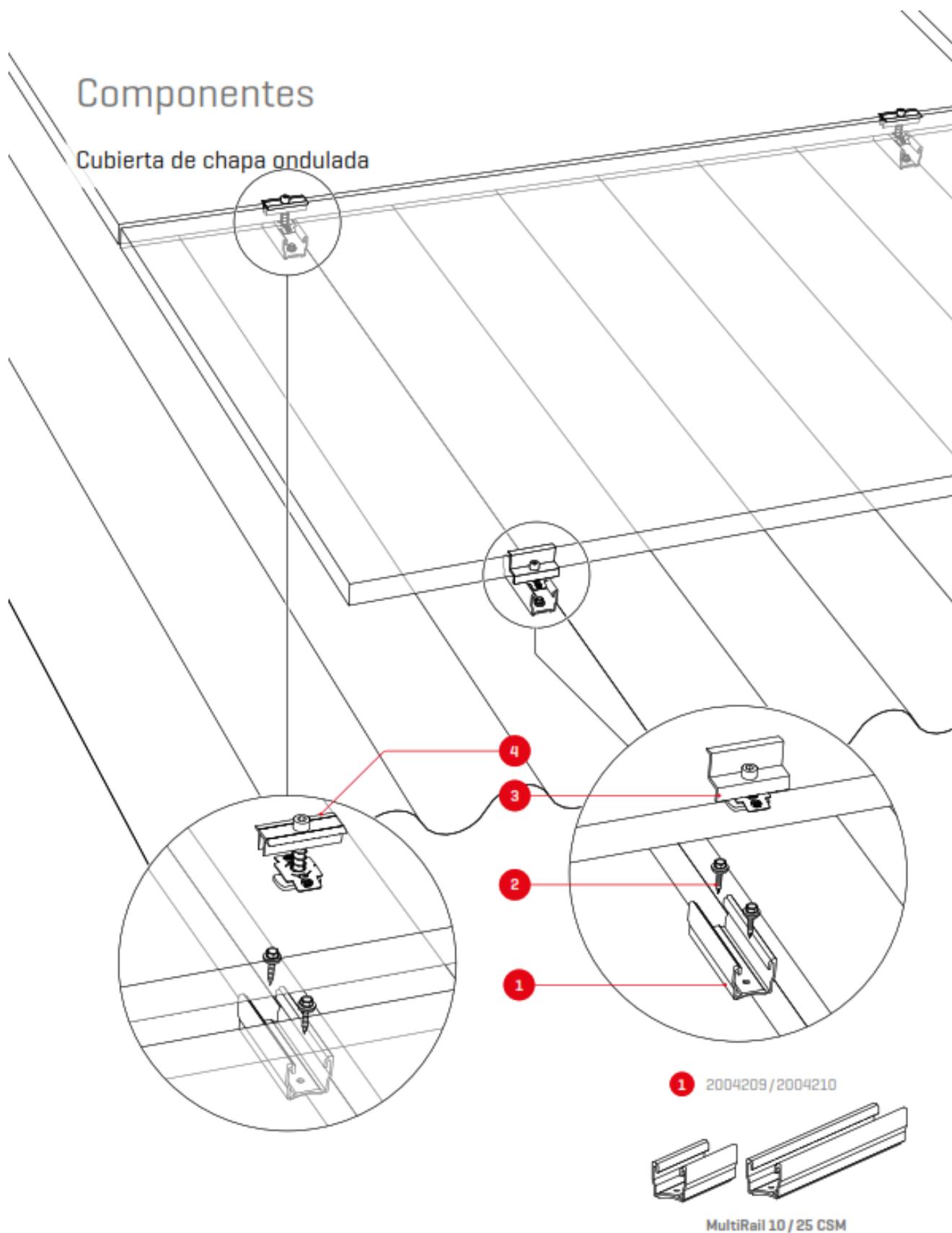
2001881

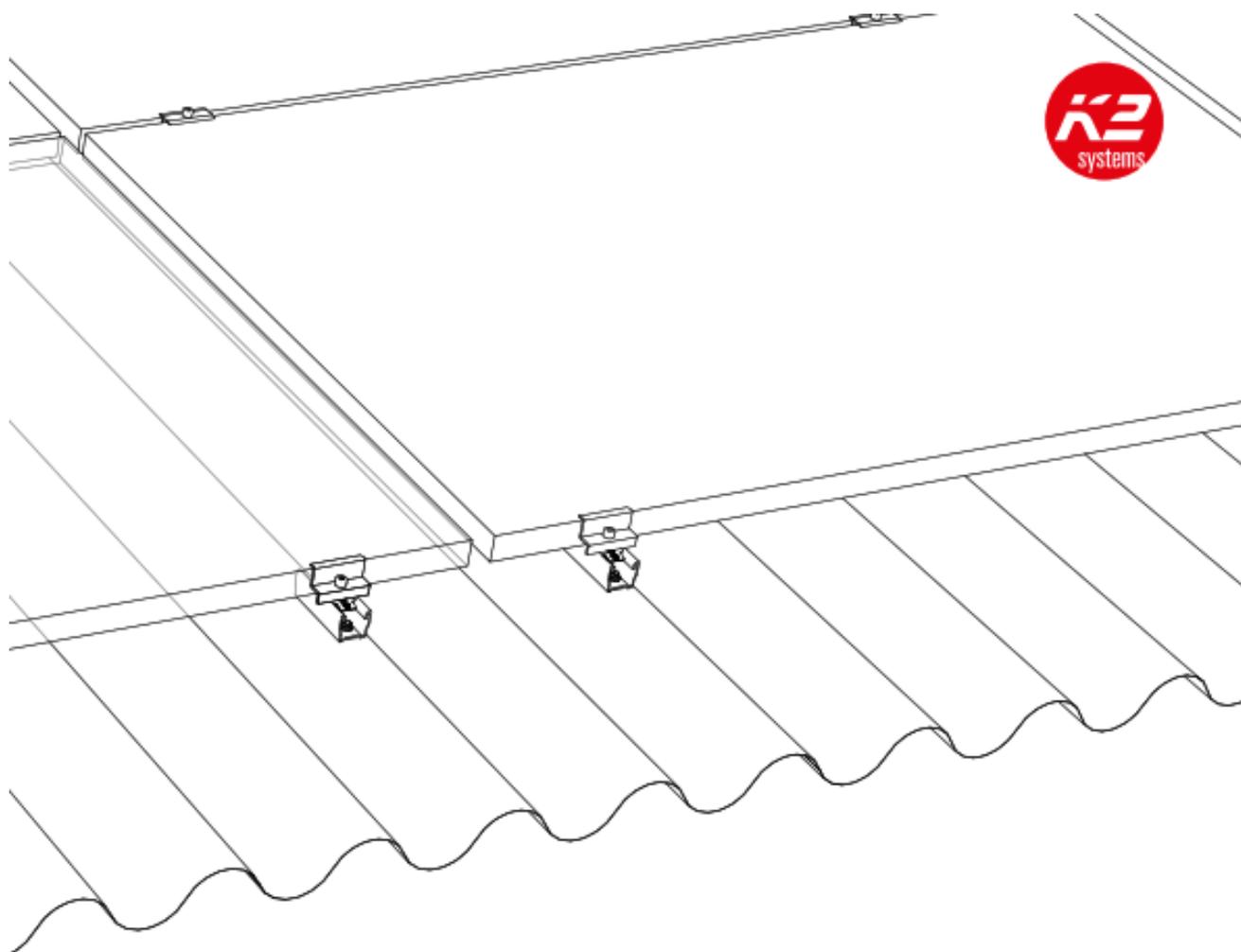


TerraGrif K2SZ

Componentes

Cubierta de chapa ondulada





2 1005207



Tornillo autoterrajador
con disco obturador

3 N.º de artículo específico de
la instalación



K2 Clamp EC 25 - 37
Plata 2004147
Negro 2004149

K2 Clamp EC / OneEnd /
Pinza lateral de módulos estándar

4 N.º de artículo específico de
la instalación



K2 Clamp MC 25 - 40
Plata 2004148
Negro 2004149

K2 Clamp MC / OneMid /
Pinza intermedia de módulos XS

Componentes opcionales **Véanse páginas 20!**

2003191



RailUp Set

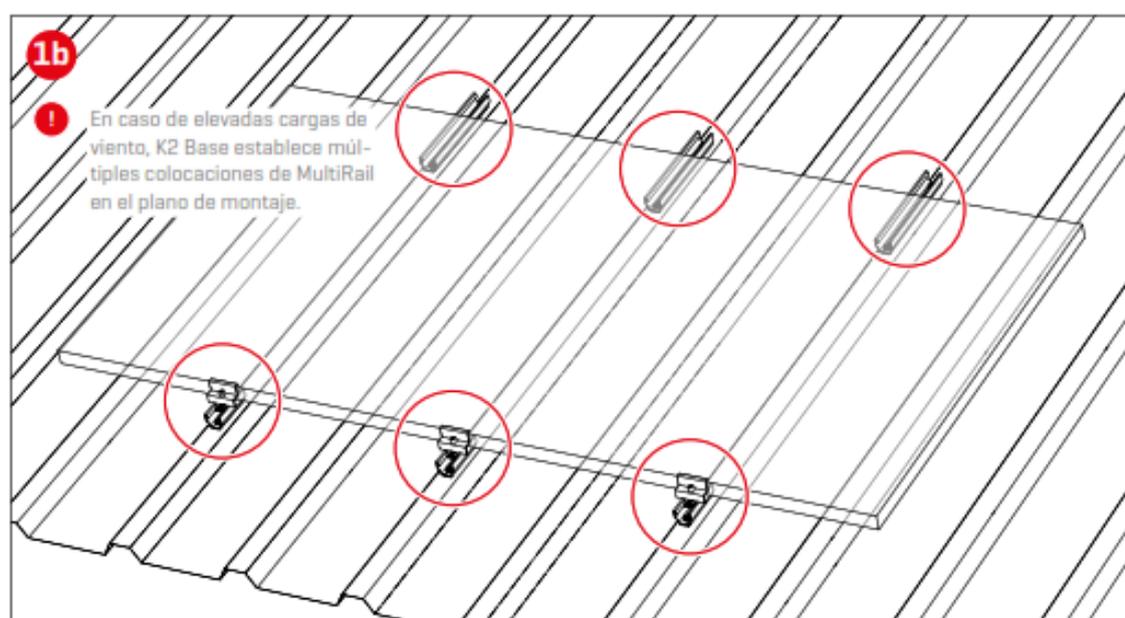
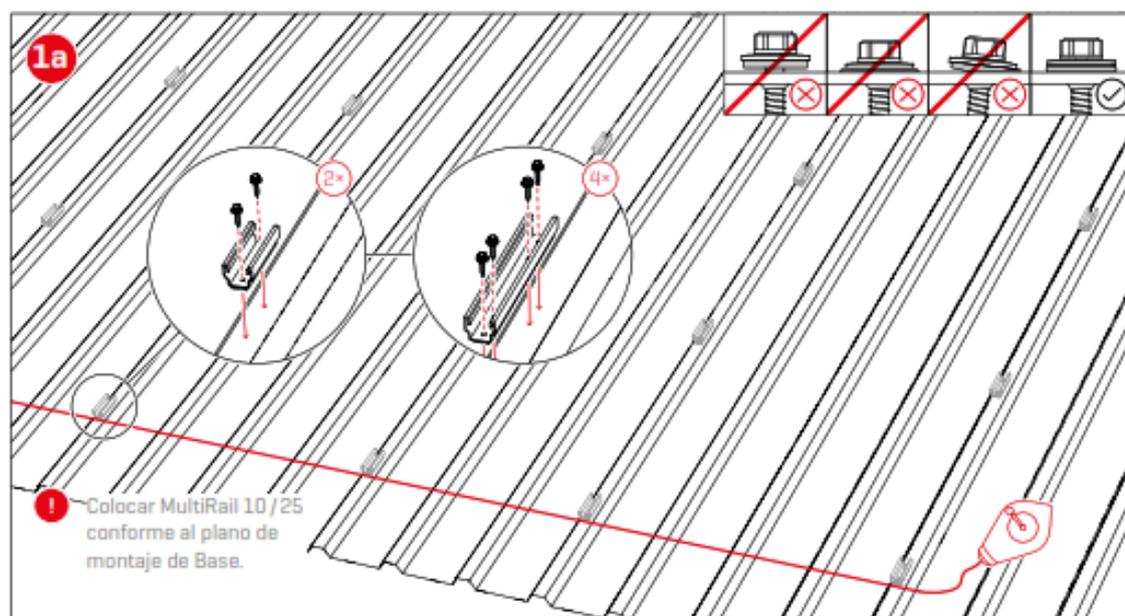
2001881

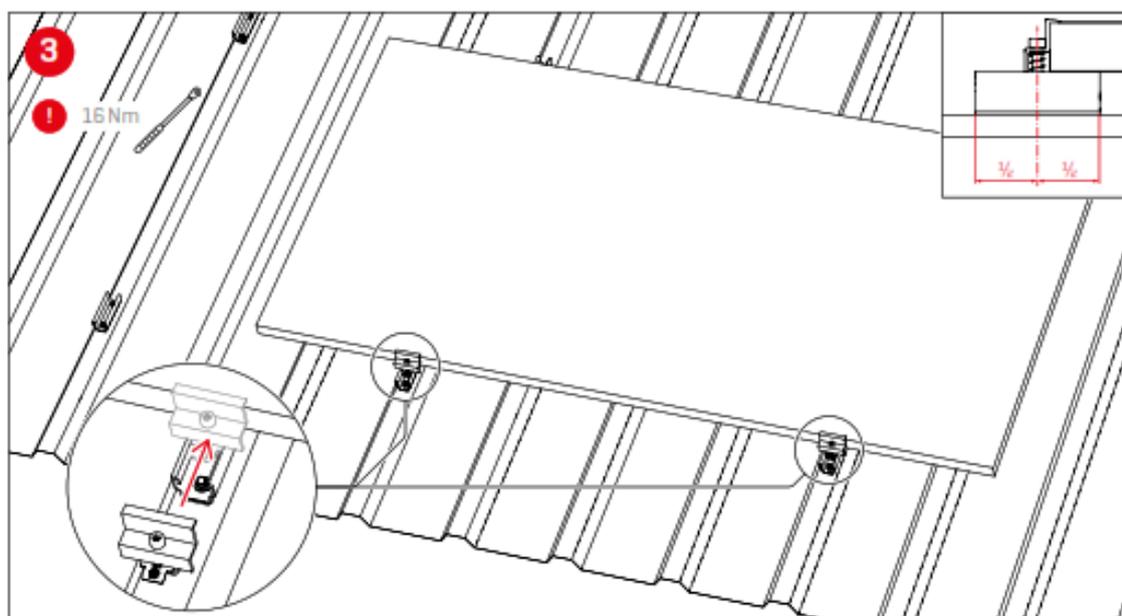
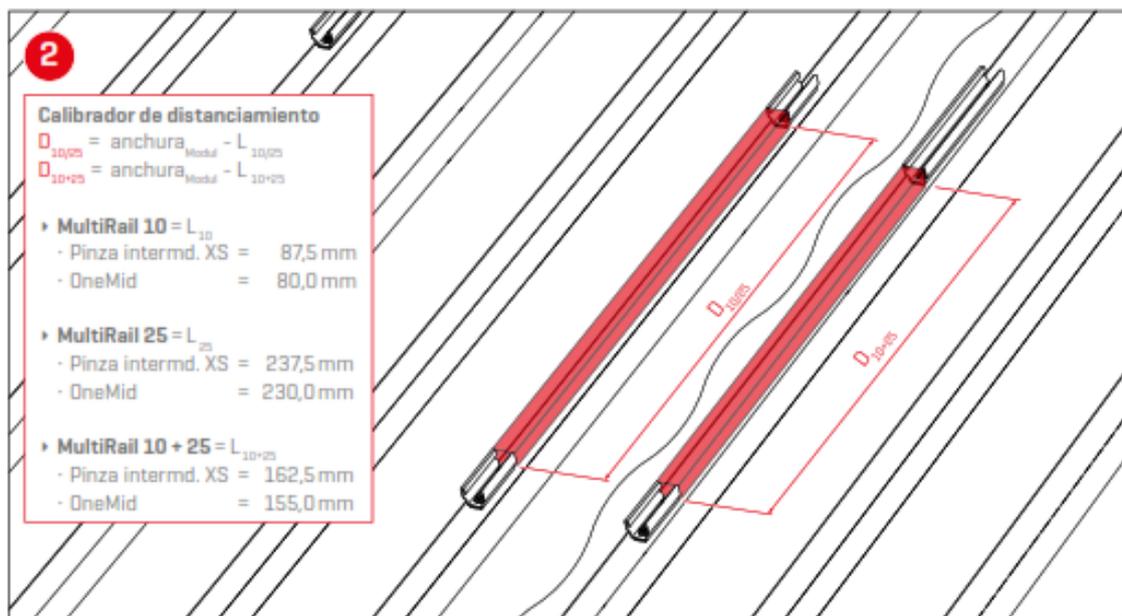


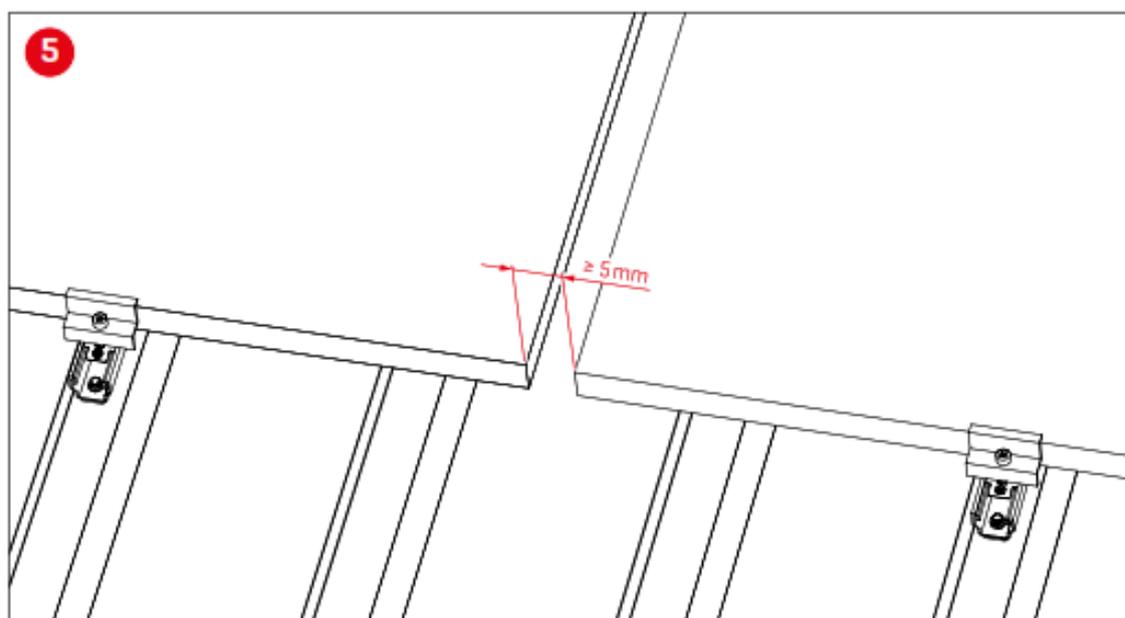
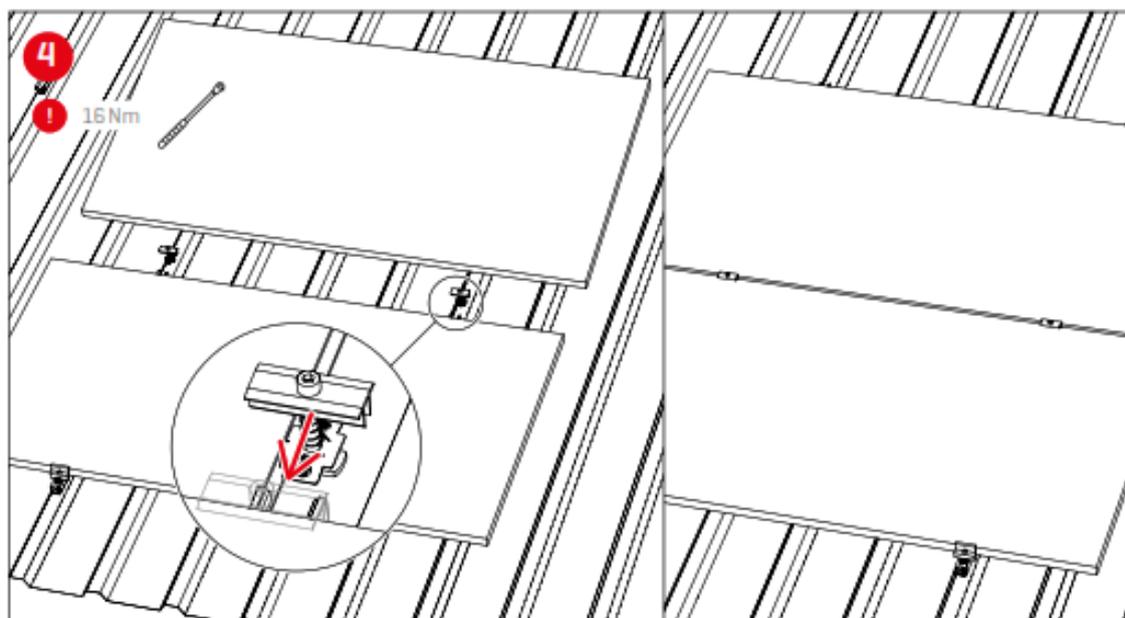
TerraGrif K2SZ

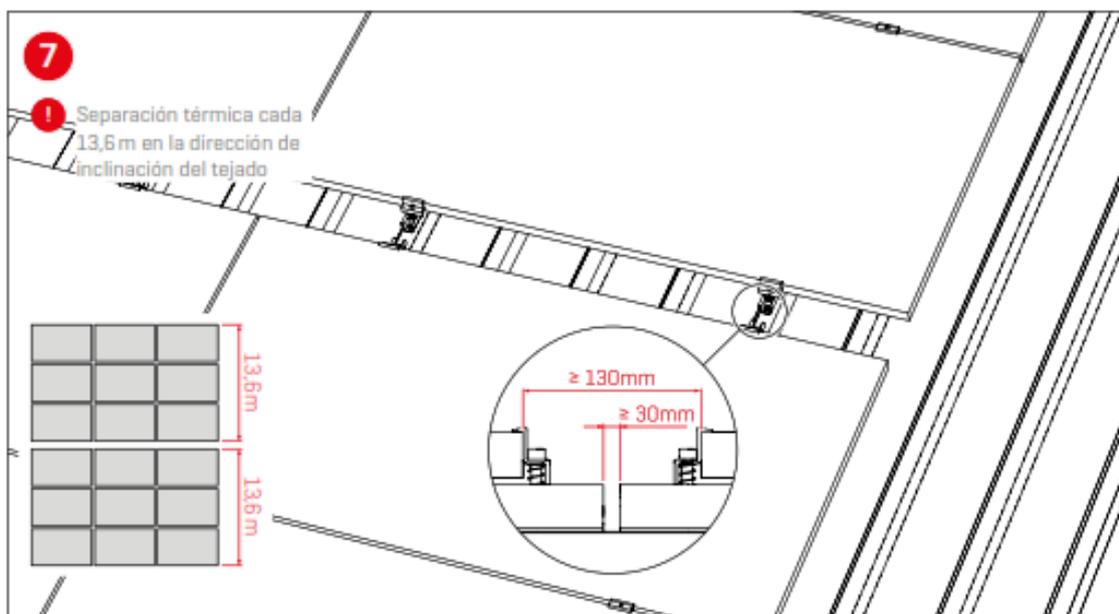
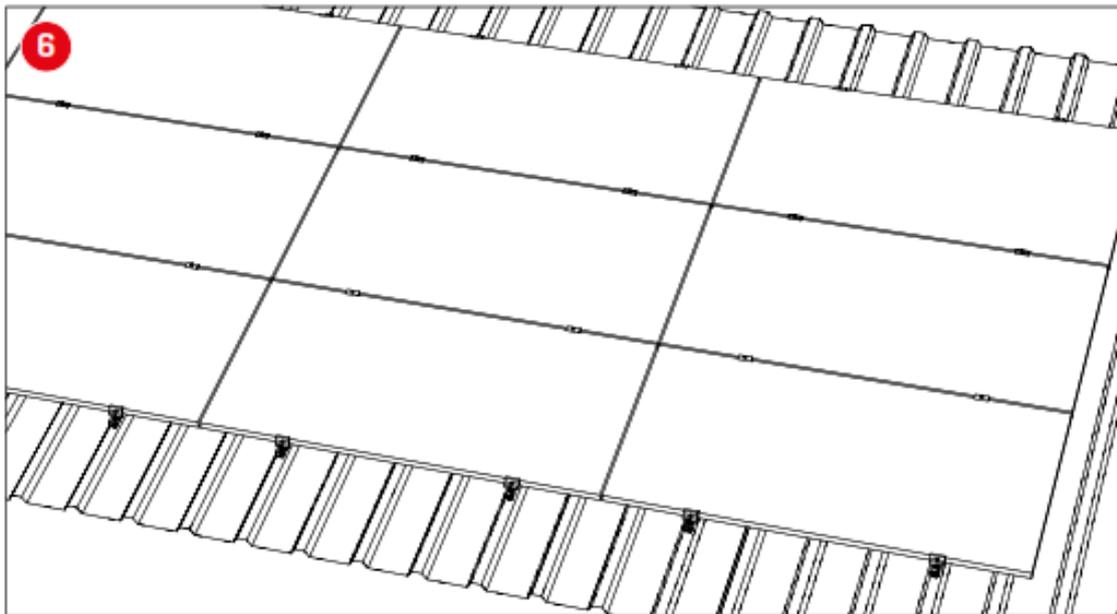
Montaje

Cubierta de chapa trapezoidal



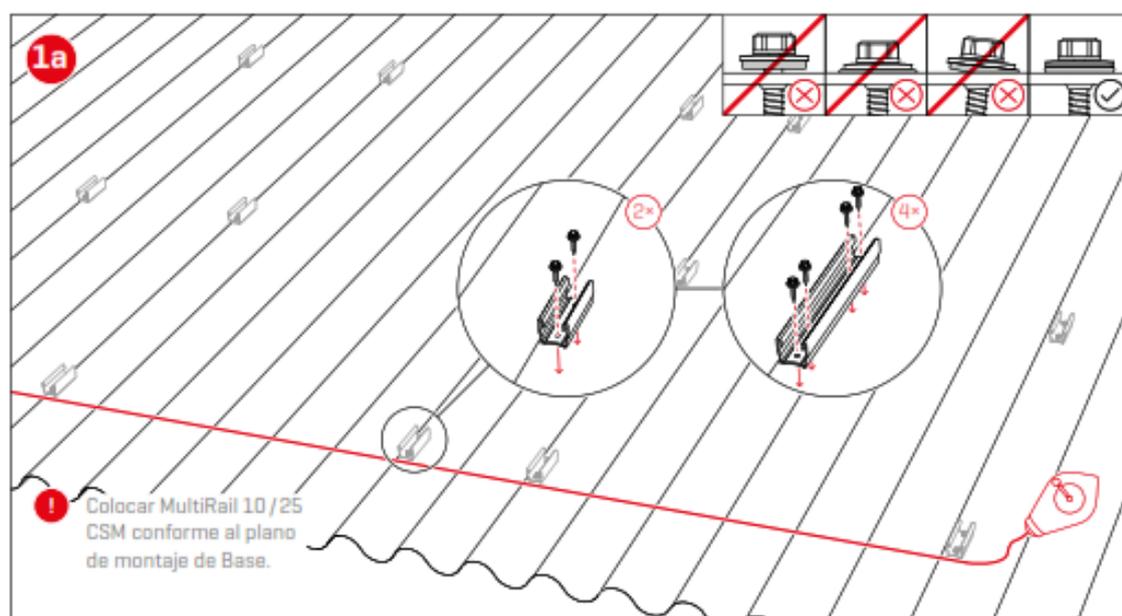
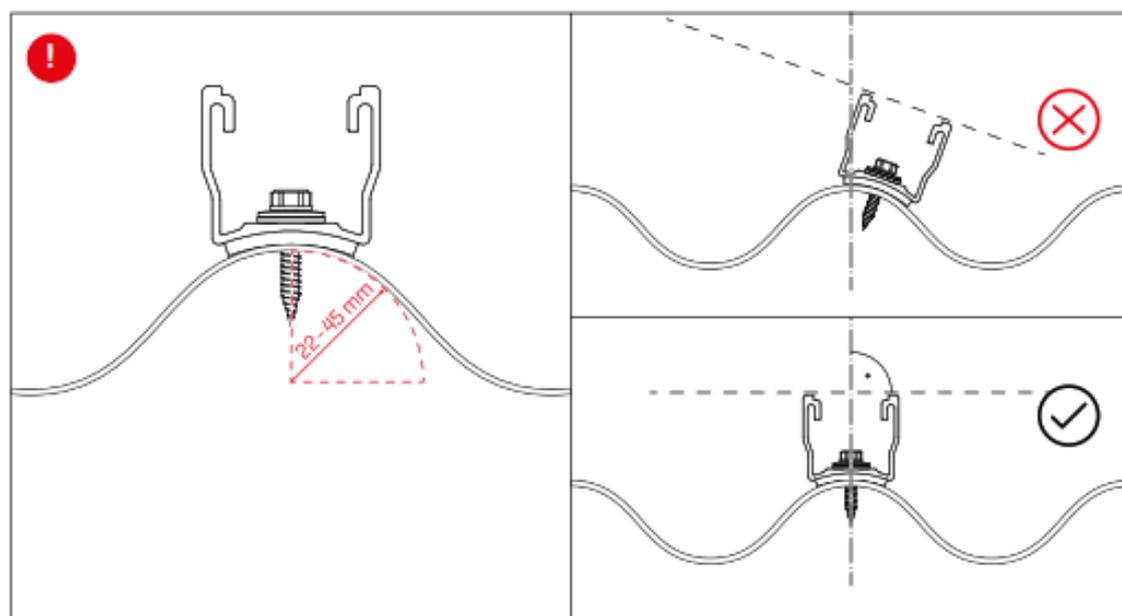


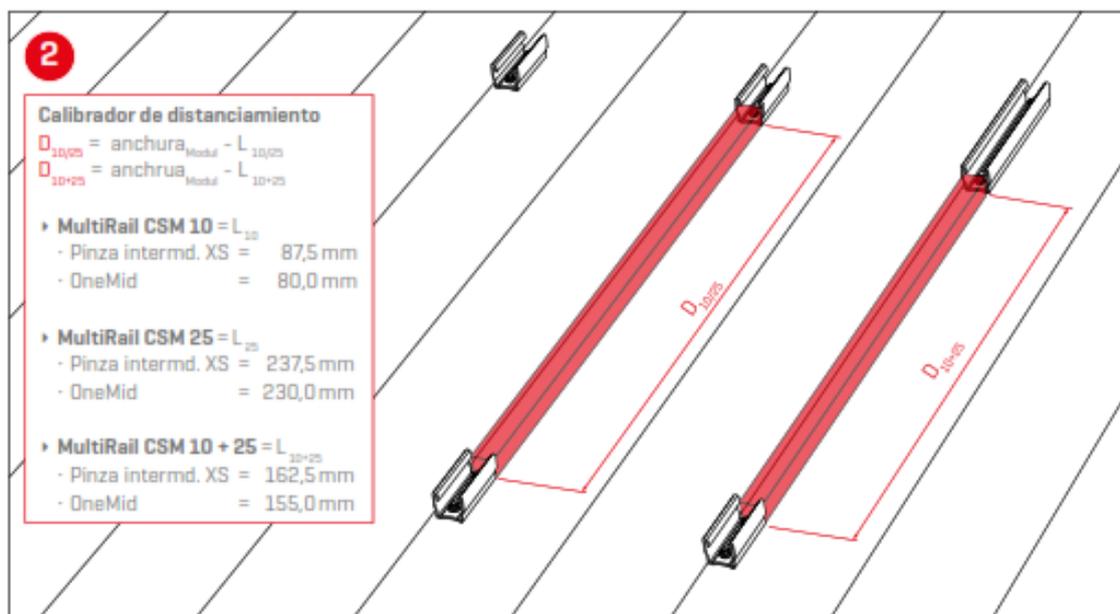
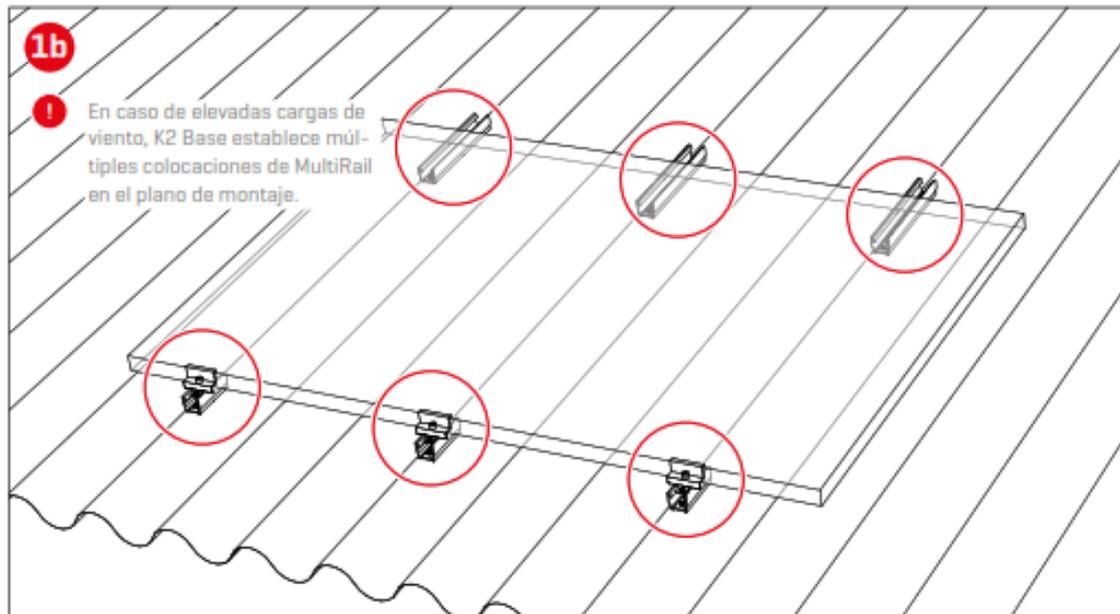


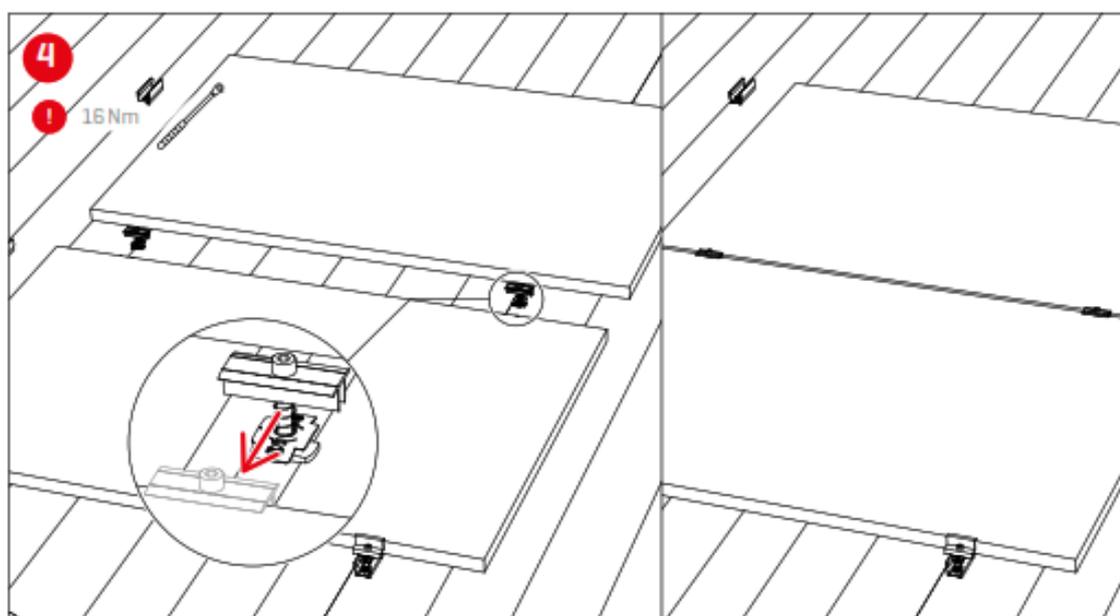
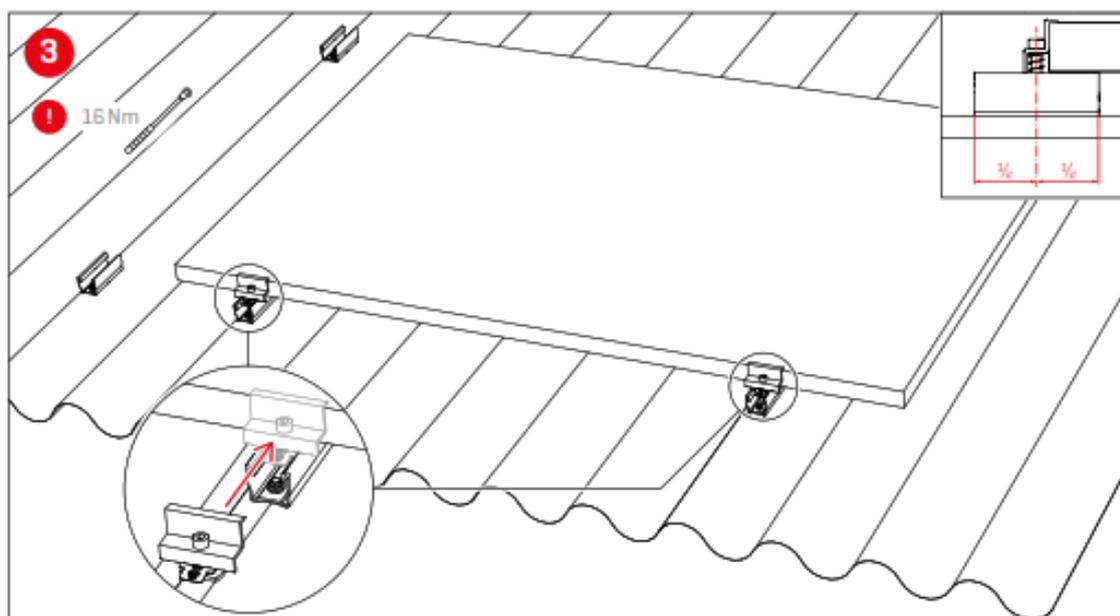


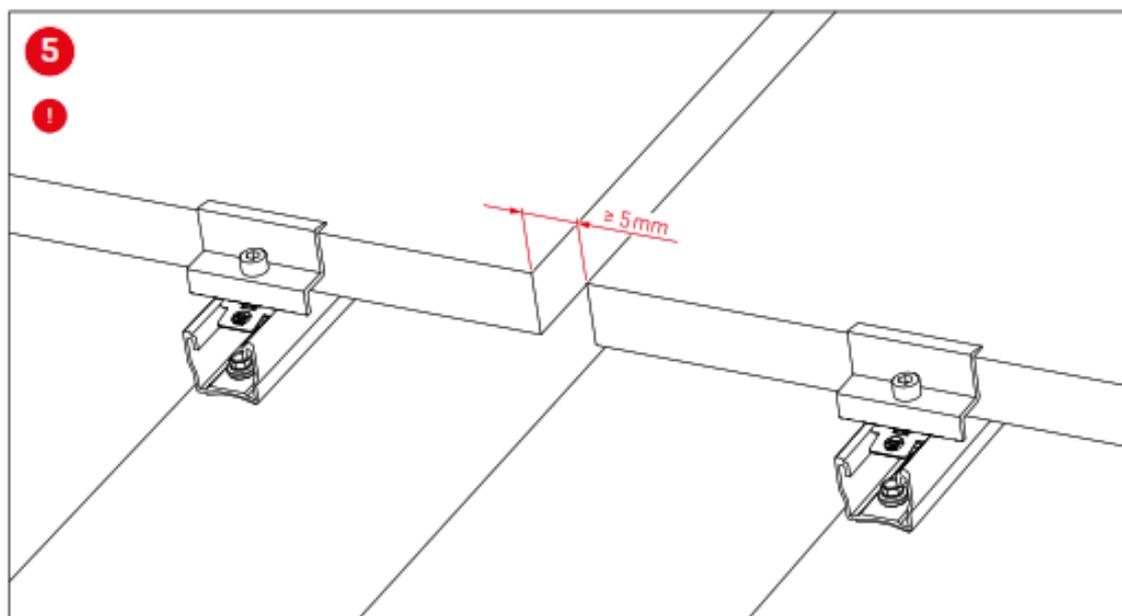
Montaje

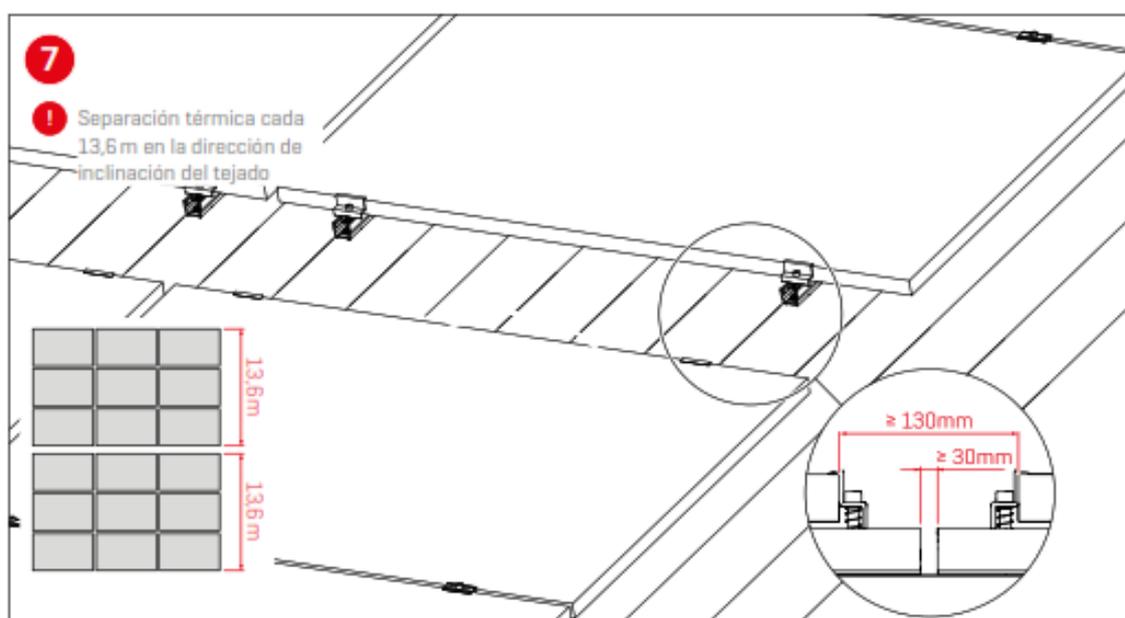
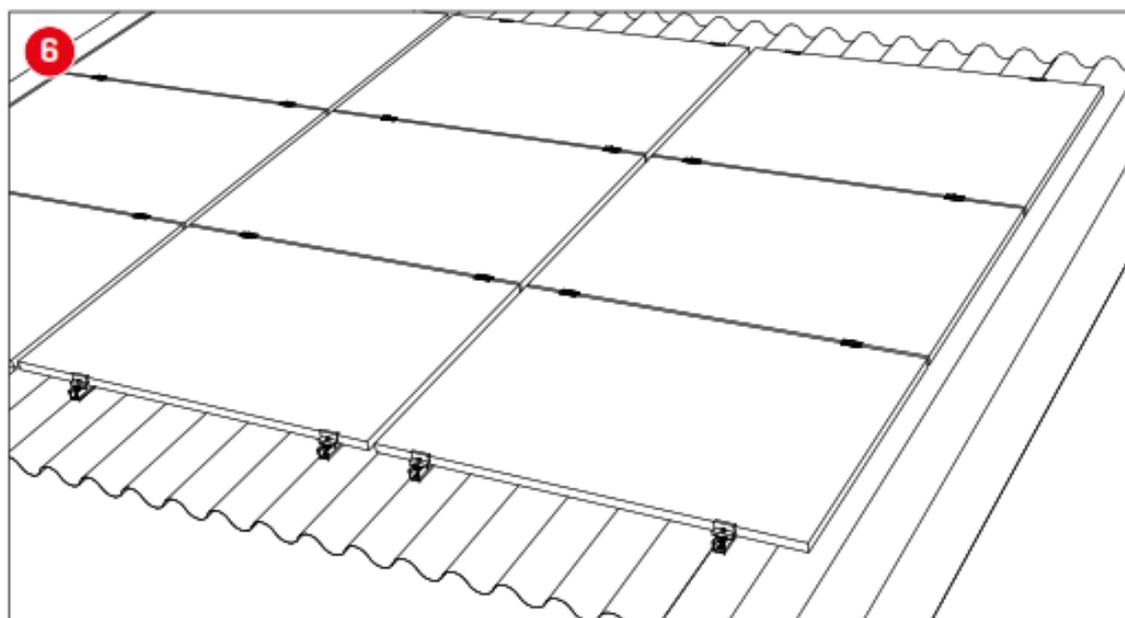
Cubierta de chapa ondulada





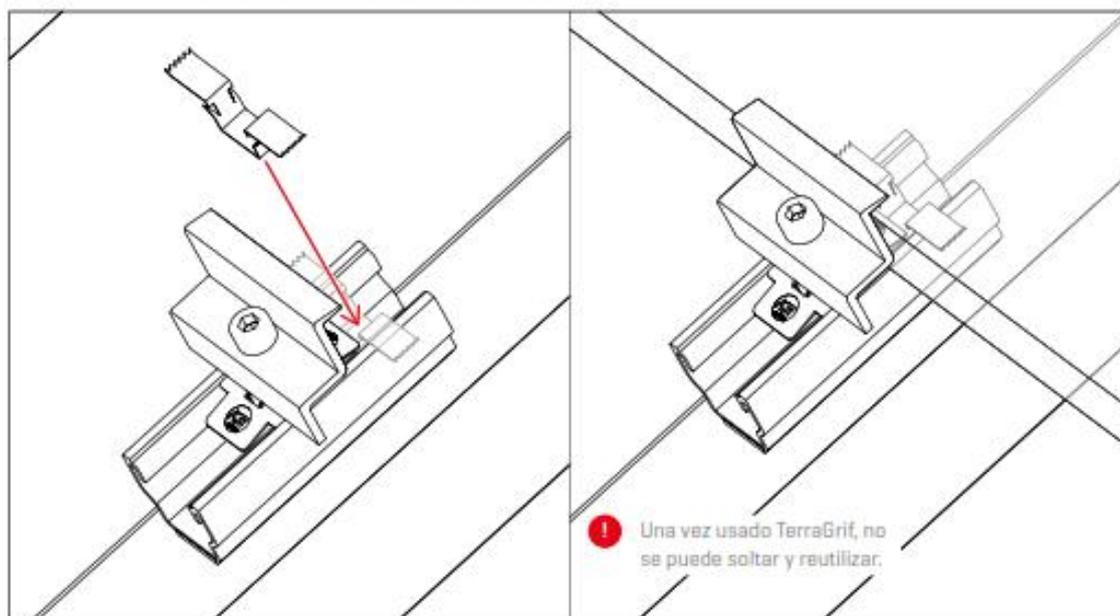




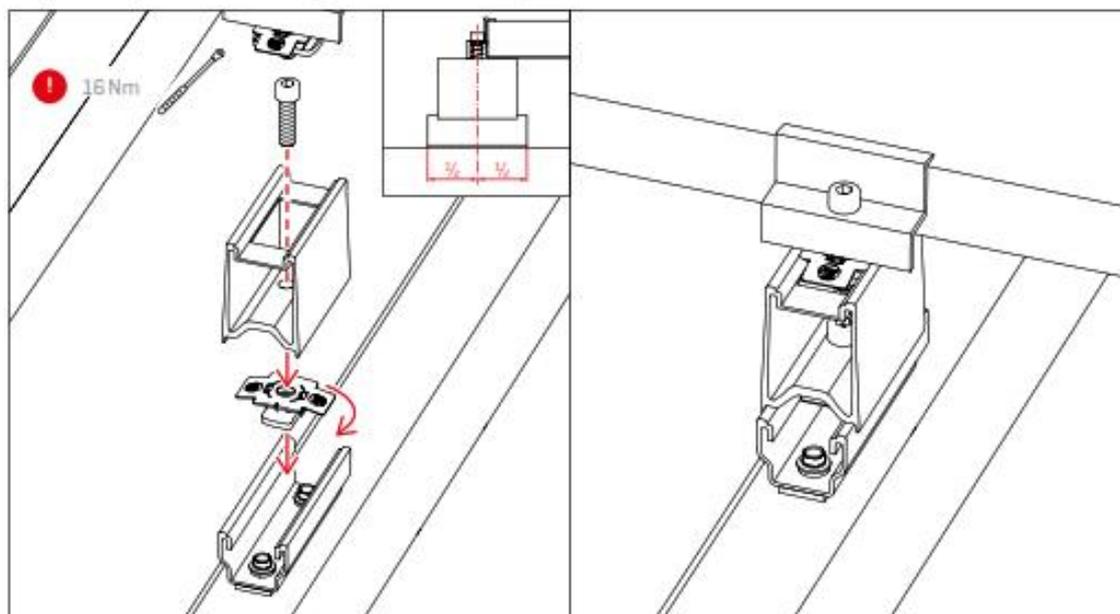


Pasos opcionales de montaje

Conexión a tierra del bastidor del módulo



Soporte paralelo al tejado con RailUp



Fijamos los sistemas fotovoltaicos



Muchas gracias por elegir un sistema de montaje K2.

Los sistemas de K2 Systems se montan de manera rápida y fácil. Esperamos que estas instrucciones le hayan sido de ayuda. Estamos a su entera disposición si tiene sugerencias, dudas o si desea plantear propuestas de mejora. Encontrará todos los datos de contacto en:

- k2-systems.com/es/contacto
- Línea de atención al cliente: +49 (0)7159 42059-0

Se aplica la legislación alemana con exclusión de la Convención de las Naciones Unidas sobre los Contratos de Compraventa Internacional de Mercaderías. El lugar de jurisdicción es Stuttgart.

Se aplican nuestras condiciones generales de suministro, que pueden verse en: k2-systems.com

K2 Systems GmbH
Industriestraße 18
71272 Renningen
Germany
+49 (0) 7159 - 42059 - 0
info@k2-systems.com
www.k2-systems.com

Anexo H – Cable Fotovoltaico Energyflex – Pv Wire

Cable fotovoltaico Energyflex-PV WIRE

Contacto

Ventas
Phone: 3134335510
ventas.colombia@nexans.com

Conductor de cobre suave flexible, con aislamiento termoestable libre de sustancias peligrosas (RoHS).

DESCRIPCIÓN

Aplicaciones

Para alimentación de circuitos de baja tensión hasta 2kV en instalaciones de energía solar fotovoltaica donde se requieran características de resistencia a la intemperie. En general los cables pueden ser usados para sistemas descritos en la NTC 2050 Artículo 690 parte IV.

Pueden instalarse en tubería Conduit, directamente enterrado o expuesto a la luz solar, en lugares secos húmedos o mojados.

Construcción

Conductor

Cobre temple suave flexible.

Opcional: Cobre estañado.

Aislamiento

Compuesto termoestable Retardante a la llama (FR) y resistente a los rayos UV (SR).

Normas Aplicables

UL 4703

Certificado

RETIE y NORMA N° 06875/07015

Temperatura de funcionamiento

90°C

Tensión de operación

2kV

Identificación

Aislamiento en color Negro. Otros colores están disponibles bajo pedido.



NORMAS

Internacional UL 4703



Flexibilidad del conductor
Flexible



Tensión nominal de servicio Uo/U
2 kV



Baja emisión de humos
Baja Emisión



Resistencia a la intemperie
-



Resistencia a radiaciones ultravioletas
SI

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas una representación de la parte de Nexans.

Generado 27/06/23 www.nexans.co Página 1 / 3

Cable fotovoltaico Energyflex-PV WIRE

Contacto
Ventas
Phone: 3134338810
ventas.colombia@nexans.com

CARACTERÍSTICAS

Características de construcción	
Aislamiento	XLPE
Flexibilidad del conductor	Flexible
Material del conductor	Cobre
Características dimensionales	
Número de conductores	1
Características eléctricas	
Tensión nominal de servicio U ₀ /U	2 kV
Características mecánicas	
Resistencia a la abrasión	Excellent
Características de uso	
Baja emisión de humos	Baja Emisión
Resistencia a la intemperie	-
Resistencia a radiaciones ultravioletas	Si

TABLA DE CARACTERÍSTICAS

Nombre	Sección [mm ²]	Espesor Aislam. [mm]	Diám. Ext Nom [mm]	Peso aprox. [kg/km]	Máx. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Corriente Admisible [A]
☎ 14 AWG	2,08	1,9	5,92	53	9,15	25,0
☎ 12 AWG	3,31	1,9	6,42	68	5,75	30,0
☎ 10AWG	5,26	1,9	7,06	90	3,41	40,0
☎ 8 AWG	8,37	2,16	8,36	133	2,14	55,0
☎ 6 AWG	13,3	2,16	9,42	147	1,34	75,0
☎ 4 AWG	21,2	2,16	10,44	285	0,846	95,0
☎ 2AWG	33,6	2,16	11,98	415	0,532	130,0
☎ 1/0 AWG	53,5	2,67	14,94	660	0,266	170,0
☎ 2/0 AWG	67,4	2,67	16,08	808	0,211	195,0
☎ 4/0 AWG	107	2,67	19,52	1198	0,167	260,0
☎ 250 Kcmil	127	3,05	21,56	1456	0,141	290,0
☎ 300 Kcmil	152	3,05	22,99	1666	0,123	320,0
☎ 350 Kcmil	177	3,05	24,38	1877	0,105	350,0



Flexibilidad del conductor
Flexible



Tensión nominal de servicio U₀/U
2 kV



Baja emisión de humos
Baja Emisión



Resistencia a la intemperie
-



Resistencia a radiaciones ultravioletas
Si

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas una representación de la parte de Nexans.

Generado 27/06/23 www.nexans.co Página 2 / 3

Cable fotovoltaico Energyflex-PV WIRE

Contacto

Ventas
Phone: 3134338810
ventas.colombia@nexans.com

Nombre	Sección [mm ²]	Espesor Aislam. [mm]	Diám. Ext Nom [mm]	Peso aprox. [kg/km]	Máx. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Corriente Admisible [A]
500 Kcmil	253	3,05	30,69	2594	0,074	430,0
600 Kcmil	304	3,43	33,93	3083	0,059	475,0

SELLING AND DELIVERY INFORMATION

Empaque

Carretes de 500 o 1000m.



Flexibilidad del conductor
Flexible



Tensión nominal de servicio U_{0/U}
2 kV



Baja emisión de humos
Baja Emisión



Resistencia a la intemperie
-



Resistencia a radiaciones ultravioletas
SI

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas una representación de la parte de Nexans.

Generado 27/06/23 www.nexans.co Página 3 / 3

Anexo I – Cable De Corriente Alterna

CONDUCTORES DE COBRE

THHN



› Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90°C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo THHN o THWN-2 pueden ser sólidos o cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico policloruro de vinilo (PVC) resistente a la humedad y al calor elevado, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de nylon o poliamida. Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de empaque.

APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, son especialmente aptos para instalaciones especiales por ductos difíciles y para usarse en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, gasolinas, etc. y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc., tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor, cuando es utilizado como THHN puede ser usado en lugares secos con temperatura máxima de operación de 90 °C; pero si es utilizado como THWN-2 puede ser usado en lugares secos y húmedos con temperatura máxima de operación de 90 °C, así mismo cuando están expuestos a aceites, grasas, pinturas, solventes químicos, etc. En cuanto a su tensión de servicio, para todas las aplicaciones, es de 600 V.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- › **ASTM B3:** Alambres de cobre recocido o suave.
- › **ASTM B8:** Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
- › **ASTM B787:** Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
- › **UL 83:** Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- › **ANSI/NEMA WC-70**
ICEA G-95-658 : Cables de potencia nominal 2000 V o menos, para distribución de energía eléctrica.
- › **NTE INEN 2 345:** Conductores y alambres aislados con material termoplástico.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.

Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90°C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg/ km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm²)	No. Hilos					
FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO							
14	2,08	1	0,38	0,10	2,59	22,56	25
12	3,31	1	0,38	0,10	3,01	34,32	30
10	5,261	1	0,51	0,10	3,81	54,74	40
8	8,367	1	0,76	0,13	5,04	89,55	55
8	8,367	7	0,76	0,13	5,48	94,93	55
6	13,3	7	0,76	0,13	6,44	144,57	75
4	21,15	7	1,02	0,15	8,22	231,68	95
FORMACIÓN UNILAY							
14	2,08	19	0,38	0,1	2,76	23,58	25
12	3,31	19	0,38	0,1	3,26	35,93	30
10	5,261	19	0,51	0,1	4,11	57,28	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,40	93,62	55
6	13,3	19	0,76	0,13	6,34	142,58	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,09	228,51	95
2	33,62	19	1,02	0,15	9,59	350,90	130
1	42,4	19	1,27	0,18	11,04	448,66	150
1/0	53,49	19	1,27	0,18	12,05	560,77	170
2/0	67,44	19	1,27	0,18	13,17	697,21	195
3/0	85,02	19	1,27	0,18	14,43	868,29	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	15,85	1083,04	260
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							
250	126,7	37	1,52	0,2	18,06	1289,56	290
300	152	37	1,52	0,2	19,44	1533,75	320
350	177	37	1,52	0,2	20,74	1774,71	350
400	203	37	1,52	0,2	21,93	2023,85	380
500	253	37	1,52	0,2	24,10	2502,47	430
600	304	61	1,78	0,23	26,70	3015,86	475
750	380	61	1,78	0,23	29,37	3740,80	535
1000	507	61	1,78	0,23	33,28	4947,40	615

*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30°C. Ref NEC (Tabla 310.16)

Anexo J- Factor de corrección

Latitud = 0°

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.98	.97	.96	.97	.98	1	1.01	1.02	1.02
10	1.03	1.01	.99	.96	.93	.92	.93	.95	.99	1.02	1.04	1.04
15	1.04	1.01	.97	.92	.88	.87	.88	.92	.97	1.02	1.05	1.05
20	1.04	1	.95	.88	.83	.81	.83	.88	.95	1.01	1.05	1.06
25	1.03	.99	.92	.84	.77	.75	.77	.83	.92	.99	1.04	1.06
30	1.02	.97	.88	.79	.71	.68	.7	.78	.88	.97	1.03	1.05
35	1	.94	.84	.74	.64	.61	.64	.72	.84	.94	1.02	1.03
40	.98	.9	.8	.68	.57	.53	.56	.66	.79	.91	.99	1.01
45	.95	.87	.75	.61	.5	.45	.49	.59	.73	.87	.96	.98
50	.91	.82	.69	.54	.42	.37	.41	.52	.68	.82	.92	.95
55	.87	.77	.63	.47	.34	.28	.33	.45	.61	.77	.88	.91
60	.82	.72	.57	.4	.26	.2	.24	.37	.55	.71	.83	.86
65	.77	.66	.5	.32	.18	.13	.16	.3	.48	.65	.77	.81
70	.71	.6	.43	.25	.13	.12	.11	.22	.4	.59	.72	.75
75	.65	.53	.36	.17	.12	.11	.11	.13	.33	.52	.65	.69
80	.58	.47	.29	.13	.12	.1	.1	.1	.25	.45	.58	.63
85	.52	.4	.21	.12	.11	.1	.09	.09	.17	.37	.51	.56
90	.45	.32	.14	.11	.1	.09	.08	.08	.09	.29	.44	.49

