

Instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos: requisitos reglamentarios y buenas prácticas

Daniela Gómez Velásquez, Edwar Yesid Talero Tibaduiza

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Electricista**

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería, Área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

A Dios por brindarme una mano cuando más lo necesitaba;

A mi padre Joaquín Talero y mi madre María Tibaduiza por su apoyo incondicional, que gracias a sus esfuerzos hicieron realidad este gran sueño.

A mi hermano Rafael Talero que me ayudó tanto económicamente como brindándome un lugar en donde dormir y un plato de comida. A mi hermana Norida Talero por sus consejos y estar siempre dispuesta a ser esa gran amiga que uno necesita.

A mi abuelo Pedro Tibaduiza que me enseñó el trabajo de finca, me enseñó a pescar y todas las labores que se hacen en el campo, fue un gran profesor de la vida y me contaba sus anécdotas las cuales hoy recuerdo con mucho amor, solo le pido a mi Dios que lo tenga en su Santa Gloria y este descansando tranquilo a su lado.

A toda mi familia, seres queridos y amigos cercanos infinitas gracias.

Edwar Yesid Talero Tibaduiza

Dedicatoria

A Dios principalmente, por permitirme culminar mi carrera y compartir esta felicidad con toda mi familia.

A mis padres Ernesto y Olga, por el gran apoyo incondicional que me han brindado en toda mi formación, creyeron en mí en todo momento y estuvieron día a día dándome fuerzas para luchar por mi futuro, esto es por y para ustedes.

A mis cuatro abuelos, el tesoro más grande que Dios me ha dado, gracias por llenarme de vida con cada demostración de afecto y soporte durante toda mi formación personal y profesional.

A mis hermanas por siempre apoyarme sin juicio alguno, por escucharme y confiar en mí; a mis sobrinos por ser los principales promotores de mis sueños y metas.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, llena de virtudes y valores.

Para terminar, quiero agradecer también al profesor German Osma, por brindarnos el tiempo, paciencia y conocimiento en este proceso profesional.

Daniela Gómez Velásquez

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Descripción de Principios Teóricos, Componentes y Criterios Empleados en Instalaciones Eléctricas de SFV	19
1.1 Principios teóricos de las instalaciones eléctricas	20
1.2 Sistema fotovoltaico aislado (Off-grid)	21
1.3 Aplicaciones aisladas de la red eléctrica	21
1.4 Sistema fotovoltaico conectado a la red (On-grid)	24
<i>1.4.1 Autogeneración a pequeña escala</i>	25
<i>1.4.2 Autogeneración a gran escala</i>	26
1.5 Aplicaciones conectadas a la red eléctrica	26
1.6 Componentes principales en instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos	27
<i>1.6.1 Componentes principales de una instalación eléctrica típica de un sistema fotovoltaicos aislado de la red</i>	29
<i>1.6.2 Componentes principales de una instalación eléctrica con un sistema fotovoltaico conectado a la red</i>	33
1.7 Clasificación de baterías	36
1.8 Componentes complementarios en una instalación eléctrica típica con un sistema fotovoltaico	39
2. Síntesis de disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas en instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos	43

2.1 Normativa y reglamentación técnica para elementos de sistemas solares fotovoltaicos	45
2.1.1 Requisitos de producto para módulos fotovoltaicos	46
2.1.2 Requisitos de producto para inversores	47
2.1.3 Requisitos de producto para medidores bidireccionales	49
2.1.4 Requisitos de producto para reguladores de carga	50
2.1.5 Requisitos de producto para baterías	51
2.1.6 Requisitos de producto para conductores DC	53
2.1.7 Requisitos de producto para conductores AC	54
2.1.8 Requisitos de producto para canalizaciones	54
2.1.9 Requisitos de producto para puesta tierra	55
2.2 Buenas prácticas de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos	56
2.2.1 Módulos fotovoltaicos	57
2.2.2 Inversores	58
2.2.3 Reguladores	60
2.2.4 Baterías	61
2.2.5 Acometidas (DC y AC)	62
3. Guía metodológica para la verificación de las instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos (conectado y desconectado de la red)	64
3.1 Etapa 1 – Revisión de la memoria técnica del proyecto	64
3.2 Etapa 2 – Definición de ítems aplicables para el caso	66
3.3 Etapa 3 – Inspección de la instalación del sistema fotovoltaico	68
3.4 Etapa 4 – Reporte técnico	69

4. Casos de Estudio de Sistemas Solares Fotovoltaicos (Conectado y Desconectado de la Red Eléctrica)	77
4.1 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica	77
4.1.1 <i>Ubicación del proyecto SFV</i>	78
4.1.2 <i>Datos geográficos del proyecto SFV</i>	78
4.1.3 <i>Simulación y disposición de módulos fotovoltaicos del proyecto</i>	79
4.1.4 <i>Resumen del proyecto SFV</i>	79
4.1.5 <i>Rutas de cableado para el proyecto SFV</i>	80
4.1.6 <i>Memoria de cálculo para tuberías y conductores.</i>	83
4.1.7 <i>Instalación de los módulos fotovoltaicos</i>	84
4.1.8 <i>Espacio para inversores, tablero agrupador y medida del sistema SFV</i>	87
4.2 Sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica	88
4.2.1 <i>Ubicación del proyecto fotovoltaico</i>	88
4.2.2 <i>Datos geográficos del proyecto SFV</i>	89
4.2.3 <i>Especificaciones técnicas de los módulos SFV</i>	89
4.2.4 <i>Instalación de los módulos fotovoltaicos</i>	90
4.2.5 <i>Componentes para la generación de energía eléctrica</i>	95
4.2.6 <i>Evidencias del funcionamiento del proyecto SFV</i>	96
5. Evaluación de Proyectos Solares Fotovoltaicos Implementados	98
5.1 Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica	98
5.2 Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica	104
6. Conclusiones	110
7. Recomendaciones	111

Referencias Bibliográficas	112
Anexos	116

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Descripción del Capítulo 1.</i>	19
Figura 2. <i>Esquema general de instalación fotovoltaica aislada .</i>	21
Figura 3. <i>Esquema de una aplicación terrestre en telecomunicación.</i>	22
Figura 4. <i>Esquema de una aplicación terrestre en señalización.</i>	23
Figura 5. <i>Esquema de una aplicación terrestre de bombeo de agua</i>	24
Figura 6. <i>Esquema general de instalación fotovoltaica conectada a la red</i>	25
Figura 7. <i>Circuito eléctrico de sistema fotovoltaico aislado de la red.</i>	28
Figura 8. <i>Circuito eléctrico de sistema fotovoltaico conectado a la red.</i>	29
Figura 9. <i>Módulo fotovoltaico.</i>	30
Figura 10. <i>Regulador de carga MPPT OLMO -ICM2024</i>	31
Figura 11. <i>Batería de gel VRLA marca SEC Energy Storage modelo 6/12-TSG</i>	32
Figura 12. <i>Inversor híbrido o aislado</i>	32
Figura 13. <i>Inversor centralizado</i>	34
Figura 14. <i>Inversor en cadena o string</i>	35
Figura 15. <i>Medidor Bidireccional CFE 282L4M</i>	35
Figura 16. <i>Estructura para módulos</i>	40
Figura 17. <i>Conector solar</i>	40
Figura 18. <i>Espacio para elementos del sistema SFV</i>	40
Figura 19. <i>Caja para controlador</i>	40
Figura 20. <i>Interruptores de protección</i>	40
Figura 21. <i>DPS</i>	41

Figura 22. <i>Cable THM</i>	41
Figura 23. <i>Cable solar</i>	41
Figura 24. <i>Alambre o cable TW</i>	41
Figura 25. <i>Cordones flexibles vulcanizados</i>	42
Figura 26. <i>Canalizaciones</i>	42
Figura 27. <i>Puesta a tierra del sistema</i>	42
Figura 28. <i>Puesta a tierra de equipos</i>	42
Figura 29. <i>Descripción del Capítulo 2.</i>	43
Figura 30. <i>Información importante en el mercado de los inversores.</i>	48
Figura 31. <i>Requerimientos normativos y reglamentarios para inversores (on-grid y off-grid).</i>	48
Figura 32. <i>Requisitos normativos y reglamentarios para el medidor bidireccional.</i>	49
Figura 33. <i>Requerimientos normativos y reglamentarios para el regulador de carga.</i>	51
Figura 34. <i>Requerimientos normativos y reglamentarios para las baterías.</i>	53
Figura 35. <i>Cable fotovoltaico marca PROCABLES</i>	53
Figura 36. <i>Sistema puesta a tierra</i>	56
Figura 37. <i>Protección inversores</i>	59
Figura 38. <i>Soporte inversor</i>	59
Figura 39. <i>Cableado inversor</i>	60
Figura 40. <i>Instalación de baterías</i>	61
Figura 41. <i>Conexiones selladas y terminadas</i>	63
Figura 42. <i>Marcado de cables</i>	63
Figura 43. <i>Ubicación del lugar</i>	78
Figura 44. <i>Disposición de módulos fotovoltaicos en cubierta</i>	79

Figura 45. <i>Rutas de cableado</i>	81
Figura 46. <i>Detalle entrada buitrón cubiertas A, B y C</i>	82
Figura 47. <i>Detalle entrada buitrón cubierta D</i>	83
Figura 48. <i>Detalle montaje sistema SFV – vista isométrica</i>	85
Figura 49. <i>Detalle montaje sistema SFV – vista isométrica</i>	85
Figura 50. <i>Instalación de módulos lateral</i>	86
Figura 51. <i>Instalación de módulos</i>	86
Figura 52. <i>Espacio para equipos</i>	87
Figura 53. <i>Ubicación del laboratorio</i>	88
Figura 54. <i>Estructura sistema SFV – vista isométrica .</i>	91
Figura 55. <i>Estructura sistema SFV – vista lateral</i>	91
Figura 56. <i>Instalación de estructura metálica para módulos fotovoltaicos</i>	92
Figura 57. <i>Toma de medidas de los módulos fotovoltaicos antes de instalación</i>	93
Figura 58. <i>Instalación de los módulos fotovoltaicos sobre estructura metálica</i>	93
Figura 59. <i>Evidencia de estado del panel después de la instalación</i>	94
Figura 60. <i>Confirmación del ángulo de inclinación después de la instalación</i>	94
Figura 61. <i>Componentes para la generación de energía eléctrica</i>	95
Figura 62. <i>Sistema de cableado interno</i>	96
Figura 63. <i>Evidencia instalación módulos fotovoltaicos</i>	96
Figura 64. <i>Conexión de los módulos fotovoltaicos</i>	97

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Principios teóricos de las instalaciones eléctricas</i>	20
Tabla 2. <i>Componentes principales de una instalación eléctrica con un sistema fotovoltaico aislado de la red</i>	30
Tabla 3. <i>Componentes principales de una instalación eléctrica típica con un sistema fotovoltaico conectado a la red.</i>	33
Tabla 4. <i>Tabla comparativa de las tecnologías disponibles en baterías.</i>	36
Tabla 5. <i>Componentes complementarios de un sistema fotovoltaico.</i>	40
Tabla 6. <i>Documentos base para la instalación de sistemas fotovoltaicos.</i>	44
Tabla 7. <i>Requerimientos paneles fotovoltaicos.</i>	46
Tabla 8. <i>Características del cable fotovoltaico</i>	54
Tabla 9. <i>Factores de corrección</i>	55
Tabla 10. <i>Etapa 1.</i>	65
Tabla 11. <i>Etapa 2.</i>	66
Tabla 12. <i>Etapa 3</i>	68
Tabla 13. <i>Etapa 4.</i>	70
Tabla 14. <i>Datos geográficos</i>	78
Tabla 15. <i>Resumen del proyecto SFV</i>	80
Tabla 16. <i>Tuberías en DC</i>	84
Tabla 17. <i>Tuberías en AC</i>	84
Tabla 18. <i>Datos geográficos</i>	89

Tabla 19. <i>Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos</i>	89
Tabla 20. <i>Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.</i>	99
Tabla 21. <i>Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica.</i>	105

Lista de anexos

	Pág.
Anexo A. Antecedentes bibliográficos	117
Anexo B. Normas necesarias para los módulos fotovoltaicos	124
Anexo C. Pruebas para módulos fotovoltaicos	126
Anexo D. Normas necesarias para los inversores eléctricos	127
Anexo E. Requisitos del numeral 20.10.1 (a, b, c, f, h, i, j y k) del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE	128
Anexo F. Datasheet módulo fotovoltaico implementado en el sistema SFV conectado a la red eléctrica	130
Anexo G. Datasheet inversor fotovoltaico implementado en el sistema SFV conectado a la red eléctrica	132
Anexo H. Rutas de cableado demarcadas para el proyecto fotovoltaico conectado a la red eléctrica	133
Anexo I. Áreas de mantenimiento para el proyecto fotovoltaico conectado a la red eléctrica	134
Anexo J. Diagrama unifilar para el proyecto fotovoltaico conectado a la red eléctrica	135
Anexo K. Etiquetado para el proyecto fotovoltaico conectado a la red	136

Resumen

Título: Instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos: requisitos reglamentarios y buenas prácticas.*

Autores: Daniela Gómez Velásquez, Edwar Yesid Talero Tibaduiza **

Palabras claves: Sistemas Fotovoltaicos (SFV), Instalación eléctrica, RETIE, NTC 2050, Buenas Prácticas, Reporte Técnico, Aislado de la red, Conectado a la red.

Descripción

Este trabajo de grado está basado principalmente en proponer una guía metodológica y utilizarla en dos proyectos de Sistemas FV (aislado y conectado a red) ejecutados y puestos en marcha en el territorio colombiano, encontrados gracias a una búsqueda exhaustiva en fuentes bibliográficas. Inicialmente, se realiza una descripción de los tipos de Sistemas FV, principios teóricos, componentes principales y secundarios utilizados en una instalación eléctrica de Sistema FV. Seguidamente, se realiza una revisión del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) y guías externadas encontradas a lo largo de la investigación, para llevar a cabo una síntesis de las disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas sobre las instalaciones eléctricas de Sistemas FV aislados y conectados a la red eléctrica. Basados en la información encontrada anteriormente, se realiza una guía metodológica que consta de cuatro etapas para la verificación del cumplimiento de las disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas de los proyectos fotovoltaicos, apoyados principalmente en la rúbrica de evaluación adjuntada en la cuarta etapa del reporte. Finalmente, se identifican los dos proyectos de sistemas FV (aislado y conectado a red) ya empleados, y se anexa su información principal, para así, evaluarlos con ayuda de la rúbrica presentada en el documento.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Director. German Alfonso Osma Pinto. Doctor en Ingeniería, Área Ingeniería Eléctrica

Abstract

Title: Electrical installations of photovoltaic systems: regulatory requirements and good practices.*

Authors: Daniela Gómez Velásquez, Edwar Yesid Talero Tibaduiza.**

Keywords: Photovoltaic Systems (SFV), Electrical installation, RETIE, NTC 2050, Good Practices, Technical Report, Isolated from the network, Connected to the network.

Description:

This degree work is mainly based on proposing a methodological guide and using it in two projects of PV Systems (isolated and connected to the network) executed and launched in the Colombian territory, found thanks to an exhaustive search in bibliographic sources. Initially, a description of the types of PV Systems, theoretical principles, main and secondary components used in an electrical installation of PV System is made. Next, a review of the Technical Regulation of Electrical Installations (RETIE) and Colombian Technical Standard (NTC 2050) and external guides found throughout the investigation is carried out, to carry out a synthesis of the regulatory provisions, regulations and good practices on electrical installations of isolated PV systems connected to the electrical network. Based on the information found above, a methodological guide is made that consists of four stages for the verification of compliance with the regulatory provisions, regulations and good practices of photovoltaic projects, mainly supported by the evaluation rubric attached in the fourth stage of the report. Finally, the two PV system projects (isolated and connected to the grid) already used are identified, and their main information is attached, in order to evaluate them with the help of the rubric presented in the document.

* Graduate work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering Director. German Alfonso Osma Pinto. Doctor of Engineering, Electrical Engineering Area

Introducción

En la actualidad, el uso de las fuentes de energía renovable para la generación de electricidad se ha convertido en una solución accesible para suplir la demanda energética y para asegurar un servicio eficiente de energía que ayude a mitigar el cambio climático [1]. Las energías renovables consideradas como energías “limpias”, son una gran alternativa baja en generación de desechos para el medio ambiente [2], que provienen de fuentes naturales inagotables con fácil instalación y operación [3].

En la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander se han desarrollado tesis de estudiantes de pregrado, con relación a las instalaciones eléctricas, como: manual para la interpretación y aplicación RETIE en instalaciones eléctricas para condiciones especiales [4] y manual para interpretación y aplicación del RETIE basado en la NTC 2050 para instalaciones eléctricas [5].

Los proyectos encontrados sirven como guía para la construcción de este trabajo de grado, así como la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) que nos brinda información sobre salvaguardar, preservar y mejorar la calidad de vida de los usuarios, de los equipos e instalaciones eléctricas; la norma debe ser acatada desde el diseñador hasta el usuario final.

Partiendo de lo anterior, este trabajo de grado busca proporcionar información a los estudiantes de la E3T sobre la verificación del cumplimiento de reglamentos y normas técnicas en instalaciones eléctricas; contribuyendo conocimientos y habilidades, de modo que, en un futuro como egresados lleguen a contar con información necesaria en las instalaciones de SFV. Para ello, se reconoce el grupo de elementos, el funcionamiento, las disposiciones reglamentarias y normativas así como las buenas prácticas aplicadas a los sistemas fotovoltaicos

autónomos y conectados a otra fuente de generación, para así, llegar a poner en práctica la información recopilada, en diseños de sistemas fotovoltaicos ya empleados.

El objetivo general de este trabajo de grado es *proponer una guía metodológica para la verificación del cumplimiento de disposiciones reglamentarias, normativas y las buenas prácticas en las instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red*. Los objetivos específicos que lo soportan son:

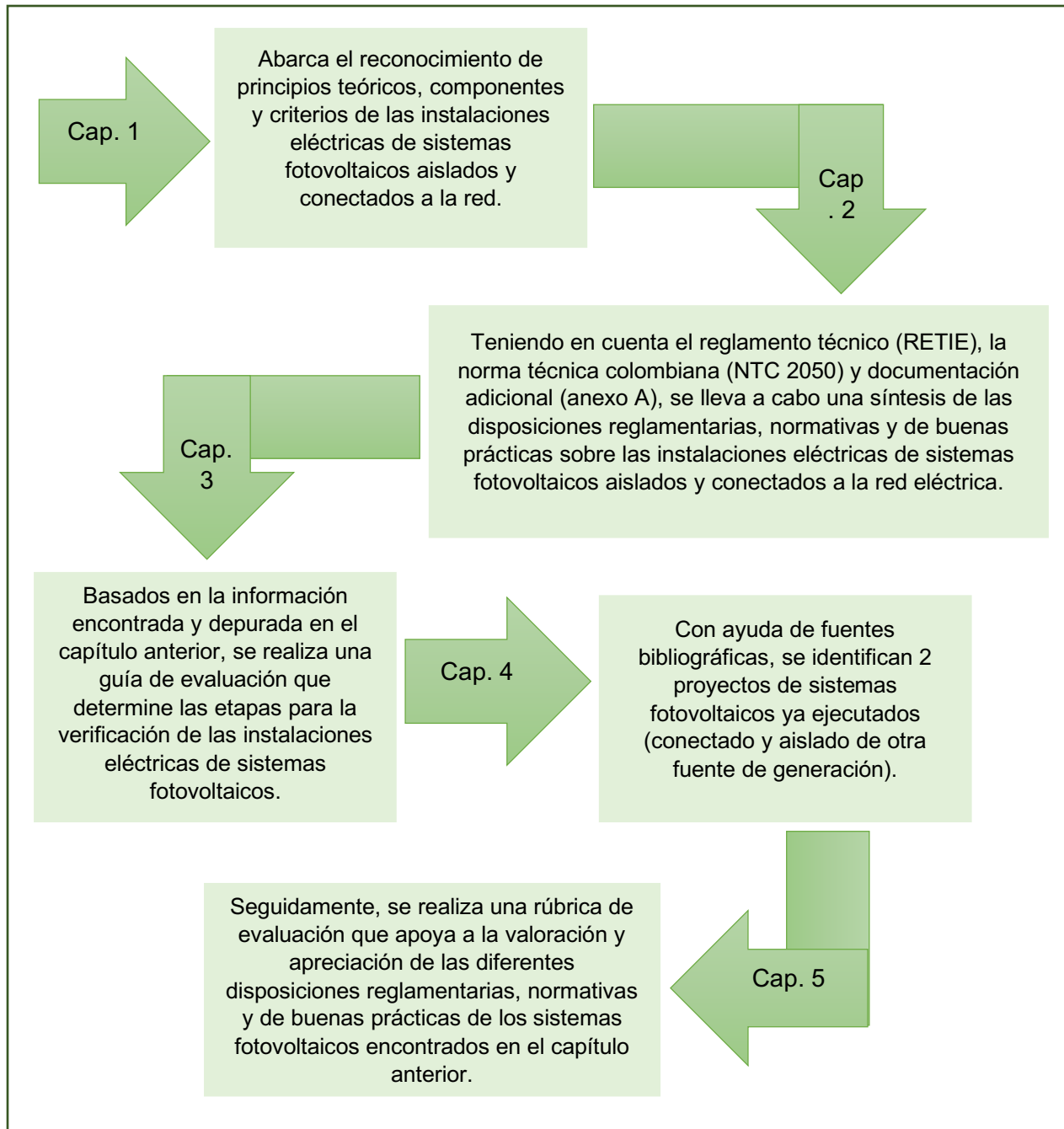
- Reconocer los principios teóricos, los componentes y los criterios empleados en la definición de las instalaciones eléctricas mediante la revisión conceptual y de los antecedentes bibliográficos.

- Realizar una síntesis de las disposiciones reglamentarias, normativas y de las buenas prácticas sobre instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a la red mediante un estudio documental.

- Identificar dos diseños eléctricos de sistemas fotovoltaicos (aislado y conectado a red) ya empleados, por medio de una búsqueda exhaustiva en fuentes bibliográficas de apoyo.

- Evaluar las aplicaciones de las disposiciones registradas en los diseños eléctricos de sistemas fotovoltaicos (aislado y conectado a red) encontrados, mediante rúbrica de evaluación.

El documento está conformado por cinco capítulos.



1. Descripción de los principios teóricos, los componentes y los criterios empleados en las instalaciones eléctricas de SFV

Este capítulo busca reconocer los principios teóricos, los diferentes componentes y los criterios empleados en las instalaciones eléctricas. Basándose en antecedentes bibliográficos de apoyo para la investigación, a partir, de la recopilación de información anexada al final del documento.

Figura 1.

Descripción del Capítulo 1.



1.1 Principios teóricos de las instalaciones eléctricas

Se conoce como instalación eléctrica al conjunto de elementos que permiten distribuir la energía eléctrica [6], desde el punto de generación o suministro, hasta los diferentes puntos de consumo. Para realizar el diseño de una instalación eléctrica se necesita el conocimiento de los siguientes conceptos: `

Tabla 1.

Principios teóricos de las instalaciones eléctricas

Concepto	Definición
Circuito eléctrico	Trayectoria cerrada que transporta corriente eléctrica por los diferentes elementos conectados.
Corriente eléctrica	Es un movimiento de electrones a través de un material conductor en un circuito eléctrico.
Tensión eléctrica	Es la fuerza con la que son empujados los electrones mediante los conductores eléctricos [6].
Potencia eléctrica	Es la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento cualquiera en un tiempo determinado.
Frecuencia de la corriente eléctrica	Es la cantidad de ciclos completos en una corriente eléctrica y se calcula por segundo.

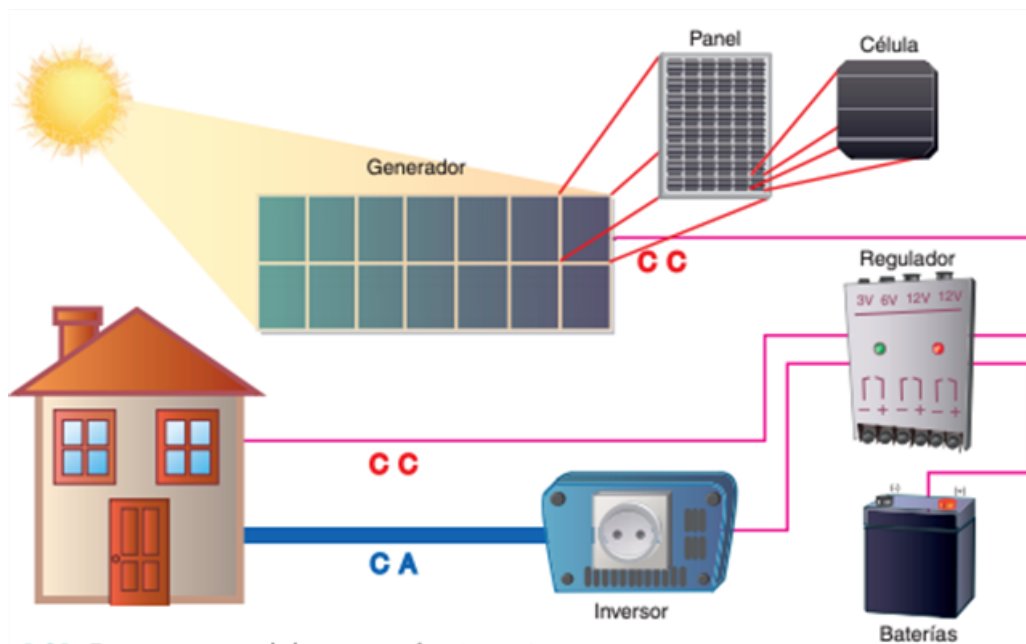
Nota: Propia. Información tomada de [6].

1.2 Sistema fotovoltaico aislado (Off-grid)

Una instalación solar fotovoltaica aislada, es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica, la cual proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol (Ver Figura 2).

Figura 2.

Esquema general de instalación fotovoltaica aislada [7].



1.3 Aplicaciones aisladas de la red eléctrica

Son aquellas que producen electricidad sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica, por ejemplo, se tienen aplicaciones terrestres tales como:

Figura 3.

Esquema de una aplicación terrestre en telecomunicación [8].

Telecomunicaciones

Se aplica en los equipos de telecomunicaciones, radios y antenas utilizadas como repetidores.



Figura 4.

Esquema de una aplicación terrestre en señalización.

**Alumbrado público y
señalización**



Se usa en zonas donde no puede llegar la red eléctrica o donde el operador de red requiere reducir costos por tiempos determinados.



Figura 5.

Esquema de una aplicación terrestre de bombeo de agua [8].

Bombeo de agua



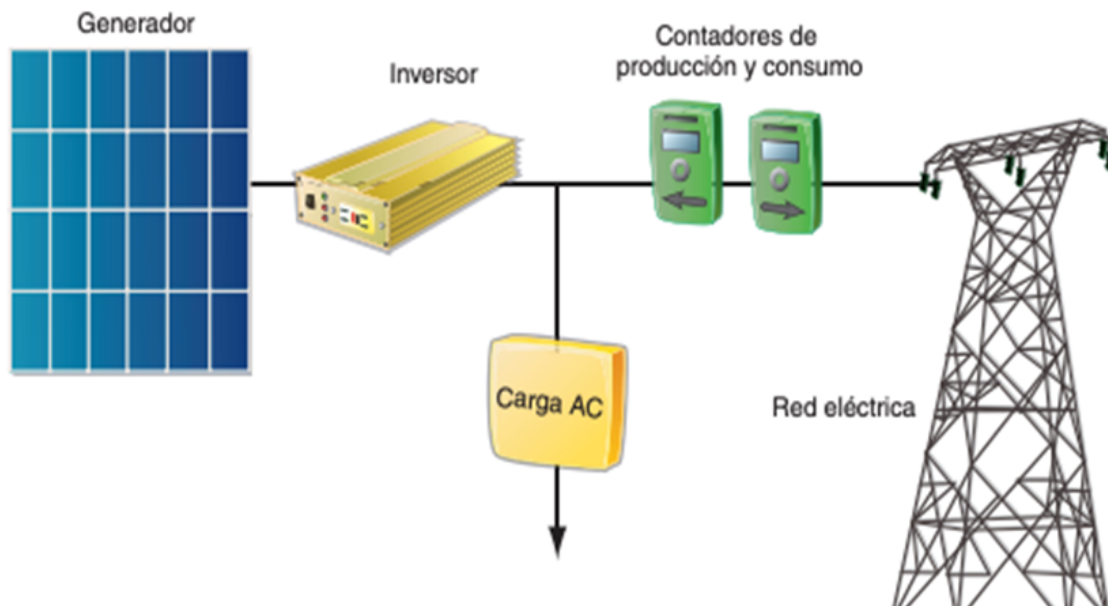
Se aplica en zonas rurales donde se necesitan motores para extracción y riego de agua.

**1.4 Sistema fotovoltaico conectado a la red (On-grid)**

Es un sistema que genera electricidad y está conectado a la red eléctrica. Van desde pequeños sistemas residenciales y comerciales hasta grandes estaciones de energía solar a escala de servicios públicos (*Ver Figura 6*).

Figura 4.

Esquema general de instalación fotovoltaica conectada a la red [7].



1.4.1 Autogeneración a pequeña escala

La autogeneración a pequeña escala (AGPE) es cuando un usuario o cliente decide producir energía eléctrica, principalmente para atender sus necesidades y el tamaño de su instalación de generación es inferior a 1MW [9].

La Resolución CREG 135 de 2021 establece los mecanismos de protección y deberes de los usuarios del servicio público domiciliario de energía eléctrica que ejercen la actividad de autogeneración a pequeña escala y entregan o venden sus excedentes al comercializador que le presta el servicio [10].

1.4.2 Autogeneración a gran escala

Persona jurídica o natural que produce energía para atender principalmente sus propias necesidades, y su potencia instalada es mayor a 1 MW (generalmente la autogeneración a gran escala es para grandes industrias y comercios).

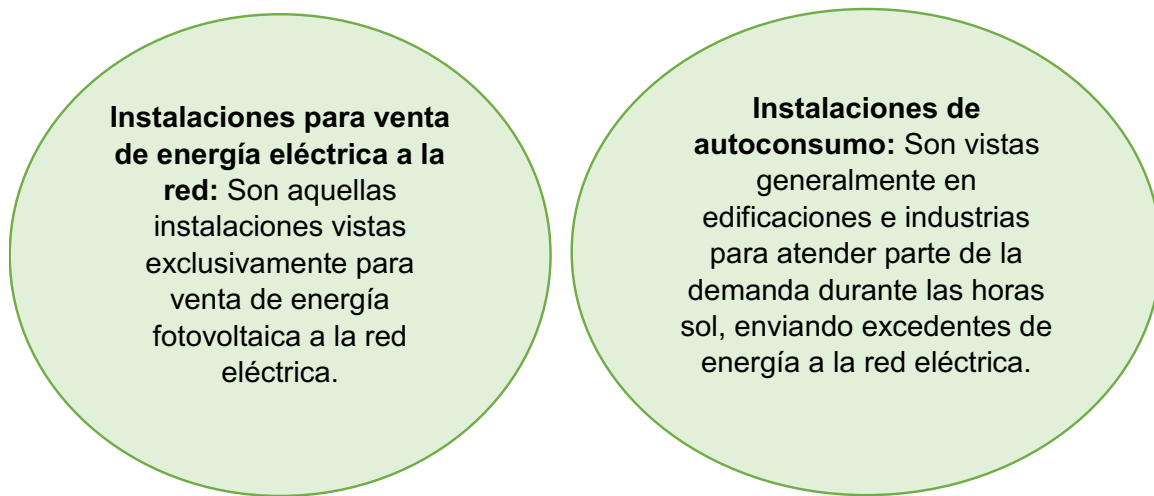
Para esta autogeneración se consideran importantes las siguientes resoluciones:

- La Resolución CREG 173 de 2021 permite la conexión y operación de plantas solares y eólicas en el SDL con capacidad efectiva neta o potencia máxima declarada igual o mayor a 1 MW y menor a 5 MW y se dictan otras disposiciones [11].

- La Resolución CREG 148 de 2021 permite la conexión y operación de plantas solares y eólicas en el SDL con capacidad efectiva neta o potencia máxima declarada igual o mayor a 5 MW y se dictan otras disposiciones [12].

1.5 Aplicaciones conectadas a la red eléctrica

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica funcionan como si fueran un generador adicional, es decir, son una central de producción de energía que aporta al cliente y a la red eléctrica. Estas instalaciones pueden verse reflejadas de la siguiente forma:

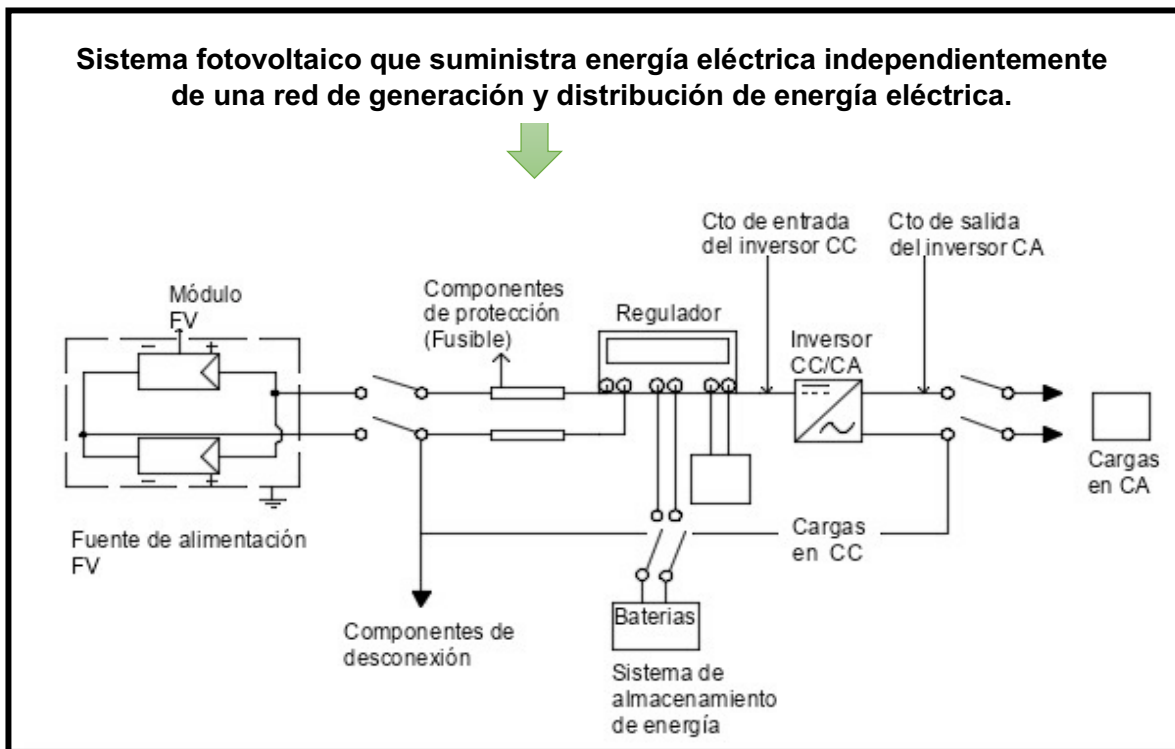


1.6 Componentes principales en instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos

Para llevar a cabo la instalación de un sistema fotovoltaico aislado (*Figura 7*) o conectado a la red (*Figura 8*), es necesario comprender en primera instancia el circuito del sistema a conectar, éste ayuda para que dicha instalación sea realizada de forma eficiente y adecuada.

Figura 5.

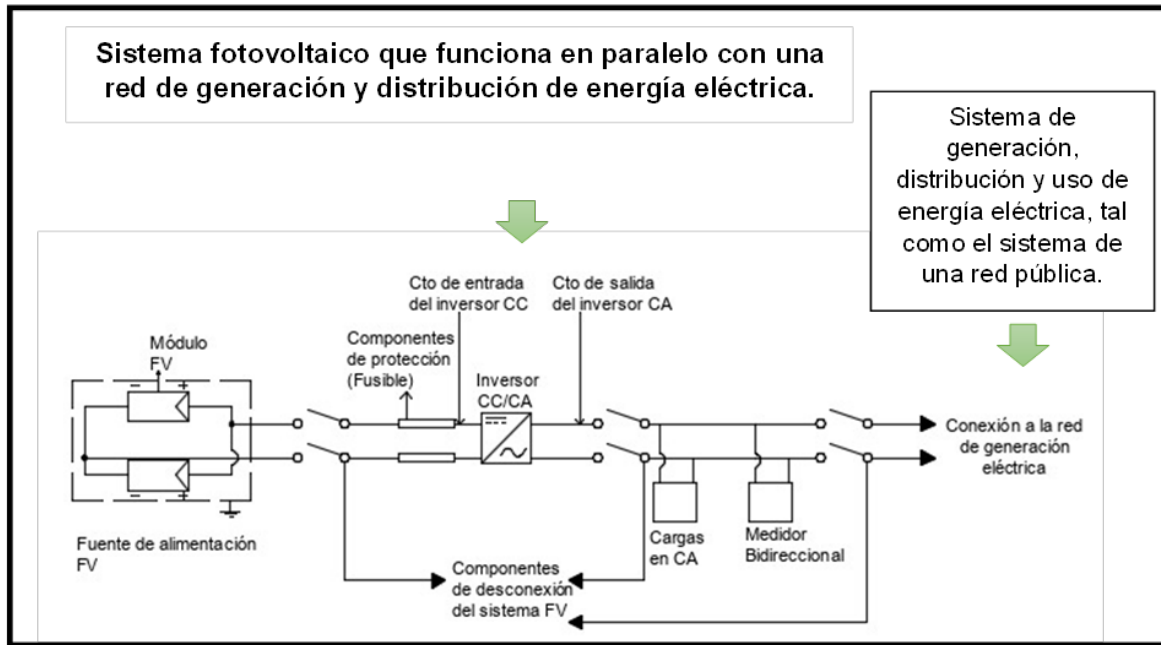
Circuito eléctrico de sistema fotovoltaico aislado de la red.



Nota: Propia. Diseñada a partir de definiciones de Sección 690 [17], [34] y [41].

Figura 6.

Circuito eléctrico de sistema fotovoltaico conectado a la red.



Nota: Propia. Diseñada a partir de definiciones de Sección 690 [17], [35] y [41].

1.6.1 Componentes principales de una instalación eléctrica típica de un sistema fotovoltaicos aislado de la red

Una instalación fotovoltaica aislada es un sistema de generación que su fuente principal es la luz solar sin conexión a la red eléctrica, los componentes principales de esta instalación están descritos en la Tabla No. 2.

Tabla 2.

Componentes principales de una instalación eléctrica con un sistema fotovoltaico aislado de la red

Componente	Descripción	Parámetros	
		relevantes para su selección	Operación
Módulo fotovoltaico	Está compuesto de células capaces de convertir la luz en electricidad. Todas las células del módulo están unidas entre si, para poder sumar su potencia y alcanzar conjuntamente la potencia nominal.	Potencia Tamaño del Módulo Fotovoltaico Eficiencia de las celdas solares Calidad Durabilidad del Módulo	Las células fotovoltaicas del módulo absorben la luz solar a través de un material semiconductor; cuando esto ocurre, los electrones se ven forzados a fluir en una dirección mediante un diodo. La potencia de un módulo determinado se mide en watts-pico (Wp), es la potencia que puede generar cuando está sometida a la intensidad máxima. Se debe buscar un lugar libre, donde no se encuentren obstáculos que hagan sombra e impidan recibir los rayos del sol.
Regulador de carga	El sistema de regulación	La principal	Trabaja en dos zonas, en

Figura 7. Módulo fotovoltaico. [13].




Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
<p>Figura 8. Regulador de carga MPPT OLMO -ICM2024 [14].</p> 	<p>de carga se instala en la unión entre los módulos fotovoltaicos y las baterías para un correcto funcionamiento de la instalación. El regulador tiene como objetivo principal evitar situaciones de carga y sobredescarga de la batería.</p>	<p>clasificación para elegir la tecnología a utilizar es: PWM (Modulación por ancho de pulso), se basa en la técnica de reducción de tensión mediante modulación por ancho de pulso. MPPT (Seguidor de punto de máxima potencia), busca ubicar al módulo en su punto de máxima potencia para obtener la mayor cantidad de energía y transferirla al banco de baterías.</p>	<p>la parte de la carga su objetivo es garantizar una carga suficiente al acumulador para evitar situaciones de sobredescarga, y en la parte de descarga se asegura que el suministro eléctrico diario sea suficiente para evitar la descarga excesiva de la batería.</p>
<p>Figura 11. Batería de gel VRLA marca SEC Energy</p>	<p>Regulada la energía eléctrica de los módulos, se almacena en baterías</p>	<p>Voltaie nominal del sistema</p>	<p>La operación depende del tipo de batería que se quiera utilizar (ver Tabla</p>

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
<p><i>Storage modelo 6/12-TSG [14].</i></p>	<p>o acumuladores para usarla en otro momento. Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. Las más utilizadas en las instalaciones fotovoltaicas son las de plomo-ácido, dado a las características que presentan.</p>	<p>Rendimiento Costo y garantías Necesidades de mantenimiento Tipo de batería Peso y dimensiones estructurales</p>	<p>4). La batería de marca SEC Energy Storage modelo 6/12-TSG (<i>Figura 11</i>), está diseñada para tener el mínimo riesgo de fuga térmica, una vida útil más prolongada y soportar las descargas profundas.</p>
<p>Inversor híbrido</p>	<p>Un inversor híbrido o más conocido como aislado, tiene como función convertir la energía DC en AC. El mismo trabaja integrando y gestionando las diferentes fuentes de energía (módulos y baterías), dándoles prioridad a cada una de ellas, dependiendo de las</p>	<p>Tensión entrada nominal y máxima Tensión mínima y máxima de salida Potencia nominal Coeficiente de rendimiento Protecciones contra</p>	<p>Este dispositivo está diseñado principalmente para transformar la corriente durante el día (procedente de los módulos fotovoltaicos), intercalándola con el uso de los acumuladores (baterías) durante las horas de la noche.</p>



Figura 12. *Inversor híbrido o aislado [36].*

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
	necesidades energéticas del momento.	cortocircuitos y sobrecargas Aislamiento Monitorización	



1.6.2 Componentes principales de una instalación eléctrica con un sistema fotovoltaico conectado a la red



Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de distribución es un sistema que trabaja de manera conjunta con la red eléctrica pública y la generación de energía a través de los módulos fotovoltaicos. Los componentes principales para este tipo de instalación son los mostrados en la *Tabla 3*.

Tabla 3.

Componentes principales de una instalación eléctrica típica con un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
Módulo fotovoltaico	Está compuesto de	Potencia	Las células fotovoltaicas

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
<p>Figura 9. Módulo fotovoltaico [13].</p> 	<p>células capaces de convertir la luz en electricidad. Todas las células del módulo están unidas entre sí, para poder sumar su potencia y alcanzar conjuntamente la potencia nominal.</p>	<p>Tamaño del Módulo Fotovoltaico Eficiencia de las celdas solares Calidad Durabilidad del Módulo</p>	<p>del módulo absorben la luz solar a través de un material semiconductor; cuando esto ocurre, los electrones se ven forzados a fluir en una dirección mediante un diodo. La potencia de un módulo determinado se mide en watts-pico (Wp), es la potencia que puede generar cuando está sometida a la intensidad máxima. Se debe buscar un lugar libre, donde no se encuentren obstáculos que hagan sombra e impidan recibir los rayos del sol.</p>
<p>Figura 13. Inversor centralizado [37].</p> 	<p>Es el dispositivo más importante de toda la instalación fotovoltaica, su función principal es convertir una entrada de corriente continua</p>	<p>Los inversores comúnmente utilizados en las instalaciones fotovoltaicas son: Inversores centralizados: Estos dispositivos son</p>	<p>Centralizados: Todas las cadenas de módulos estarán conectadas en paralelo al mismo inversor eléctrico. Su mantenimiento se torna un poco más complejo ya que al momento de sufrir</p>

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
	<p>en una salida de alterna.</p>	<p>apropiados para campos solares uniformes por orientación e inclinación.</p>	<p>un daño es necesaria la revisión total de la caseta.</p>
<p>Figura 14. Inversor en cadena o string [15].</p> 		<p>Inversores string o en cadena: Esta tecnología de inversores está compuesta por cadenas con varios módulos conectados en serie.</p>	<p>String: Debido a su configuración se obtienen rendimientos mayores con respecto a los inversores centralizados por medio de cada dispositivo MPPT reduciendo las pérdidas debidas a sombras. Son dispositivos pequeños y ligeros, tienen un costo menor y no son necesarios grandes mantenimientos.</p>
<p>Figura 15. Medidor Bidireccional CFE 282L4M [18].</p> 	<p>El medidor bidireccional tiene la función de leer la cantidad de energía activa que se consume y la que se inyecta al sistema eléctrico cuando no se gasta por el</p>	<p>Calibración en los cuatro cuadrantes de energía - Garantía de calidad</p>	<p>El proveedor de la energía eléctrica obtiene dos lecturas, las cuales se utilizan para la factura sobre el cobro de la energía que se consume y la energía que se vende.</p>

Componente	Descripción	Parámetros relevantes para su selección	Operación
	usuario. Debe estar equipado con dispositivo para consulta y obtención de medidas.		

1.7 Clasificación de baterías

Existen diferentes tipos de baterías (acumuladores de energía) para uso de instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica; se pueden diferenciar teniendo en cuenta tecnologías de fabricación, a continuación en la Tabla 4, se muestra comparativa con los tipos de baterías utilizadas en este tipo de instalaciones fotovoltaicas.

Tabla 4.

Tabla comparativa de las tecnologías disponibles en baterías.

Criterio	Batería de plomo-ácido abierto	Batería de AGM (Absorbed Glass Mat)	Baterías de GEL	Baterías estacionarias	Batería de litio
Características	Bajo costo.	Diseño sellado sin emisiones.	Mayor costo que las AGM, son baterías selladas sin emisiones.	Existen dos modelos: Placa plana Placa tubular	Mayor densidad energética y son más ligeras a igualdad de

Criterio	Batería de plomo-ácido abierto	Batería de AGM (Absorbed Glass Mat)	Baterías de GEL	Baterías estacionarias	Batería de litio
Composición	Contiene 6 compartimientos en serie, que están sumergidos en ácido sulfúrico.	Retiene el electrolito en una malla de fibra de vidrio, para estar siempre en contacto con las placas de plomo.	Electrolito gelificado.	Se pueden encontrar en: OPzS (Plomo ácido abierto) OPzV (GEL)	capacidad. Y su costo de adquisición es superior Tienen una particular configuración de celdas y preparadas para ser conectadas en paralelo.
Voltaje en circuito abierto V _{oC}	Tensión nominal de 12 V.	Tensión nominal de 12 V.	Tensión nominal de 12 V.	OPzV se encuentran en 2 V o 6 V.	El modelo para instalaciones aisladas es de 24-48 V. Modelo hasta de 500 V para instalaciones solares de autoconsumo con

Criterio	Batería de	Batería de	Baterías de	Baterías	Batería de litio
	plomo-ácido abierto	AGM (Absorbed Glass Mat)	GEL	estacionarias	
					acumulación.
mAh	Capacidades de 50-300 Ah.	Capacidades de 7-300 Ah.	Capacidades de 7-300 Ah.	Capacidades del modelo OPzV: Las de 2 V a 150 -4500 Ah. Las de 6 V a 200- 600 Ah.	Los fabricantes proporcionan garantías de hasta 10 años.
Aplicaciones	Es muy común verlas en instalaciones aisladas pequeñas.	Es muy común verlas en caravanas por su uso en interiores.	No desprenden gases nocivos, se encuentran en lugares con poca ventilación.	El modelo OPzV son los más recomendados para instalaciones solares de mediano y gran tamaño.	Se pueden instalar en un lugar sin ventilación, y son cada vez más utilizadas debido a su constante bajada de precio.
Vida útil	Tienen la menor durabilidad 1500 ciclos de vida.	Tienen mayor vida útil de 6 a 8 años.	La mejor durabilidad entre las baterías monoblock.	La mayor durabilidad en la tecnología de plomo hasta 8000 ciclos de	Tiene una durabilidad superior, la vida útil es de más de 10 años.

Criterio	Batería de plomo-ácido abierto	Batería de AGM (Absorbed Glass Mat)	Baterías de GEL	Baterías estacionarias	Batería de litio
Mantenimiento	Requieren de mantenimiento periódico.	No requiere mantenimiento.	Libres de mantenimiento.	carga y descarga. Tipo OPzS requiere mantenimiento periódico. OPzV no requiere de mantenimiento.	No requiere mantenimiento.

Nota: Propia. Información tomada de video de Youtube “baterías solares: tecnologías y diferencias”.



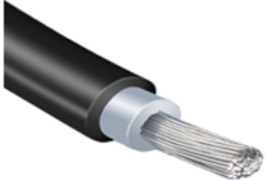
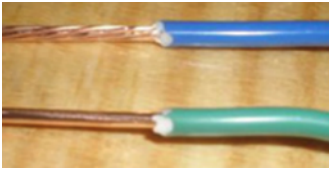
1.8 Componentes complementarios en una instalación eléctrica típica con un sistema fotovoltaico

Los componentes complementarios de un sistema fotovoltaico aislado o conectado a la red son los que se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Componentes complementarios de un sistema fotovoltaico.

Componente	Definición	Imagen
Estructura metálica para módulos	Soporte para el módulo fotovoltaico cuando la instalación es sobre piso, cubierta o parqueadero. Cada tipo de instalación debe tener su diseño de estructura con fijaciones.	<p>Figura 16. Estructura para módulos [19].</p> 
Conector solar (MC4)	Permite establecer una conexión entre los componentes del sistema fotovoltaico (módulos e inversores).	<p>Figura 17. Conector solar [20].</p> 
Espacio para inversores tablero agrupador y medida del sistema.	Deben ir soportados en pared o estructura fija al piso. Cubiertos de la luz solar y diferentes cambios climáticos.	<p>Figura 18. Espacio para elementos del sistema SFV. ¡Error! Marcador no definido.</p> 
Caja para controlador	Caja de material resistente a golpes y/o salpicaduras, que ayuda a salvaguardar el componente del sistema.	<p>Figura 19. Caja para controlador [21].</p> 
Interruptores de protección o totalizador	El interruptor de cumple la función de proteger de cortocircuitos y sobrecargas a la instalación eléctrica fotovoltaica [8], es necesario ubicarlo en el punto de interconexión en el tablero, con el dimensionamiento necesario.	<p>Figura 20. Interruptores de protección [8].</p> 

Componente	Definición	Imagen
DPS	<p>Protección contra sobretensiones generadas por rayos, para los sistemas fotovoltaicos son necesarios los tipos II si la distancia entre los módulos y los inversores es menor a 10 m.</p>	<p>Figura 21. DPS [22].</p> 
Cable THW (AC)	<p>Es recomendado para altas temperaturas (expuesto al sol) o en lugares con alto nivel de humedad ambiental [8].</p>	<p>Figura 22. Cable THM [8].</p> 
Cable solar (DC)	<p>Básicamente es cableado que sale del circuito fotovoltaico y llega hasta el inversor del sistema. En esta trayectoria se requiere que el cable solar cumpla con características técnicas que permitan su uso a la intemperie.</p> <p>El cable por emplear deberá tener las siguientes condiciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vida útil de 30 años aproximadamente - 100°C de máxima temperatura del conductor - -40°C de resistencia a temperatura extrema - Resistencia a rayos ultravioletas - Resistencia a la absorción de agua 	<p>Figura 23. Cable solar [23].</p> 
Alambre o cable TW (AC)	<p>Se usa en instalaciones fijas, edificaciones, interior de locales con ambientes secos o húmedos [8].</p>	<p>Figura 24. Alambre o cable TW [8].</p> 

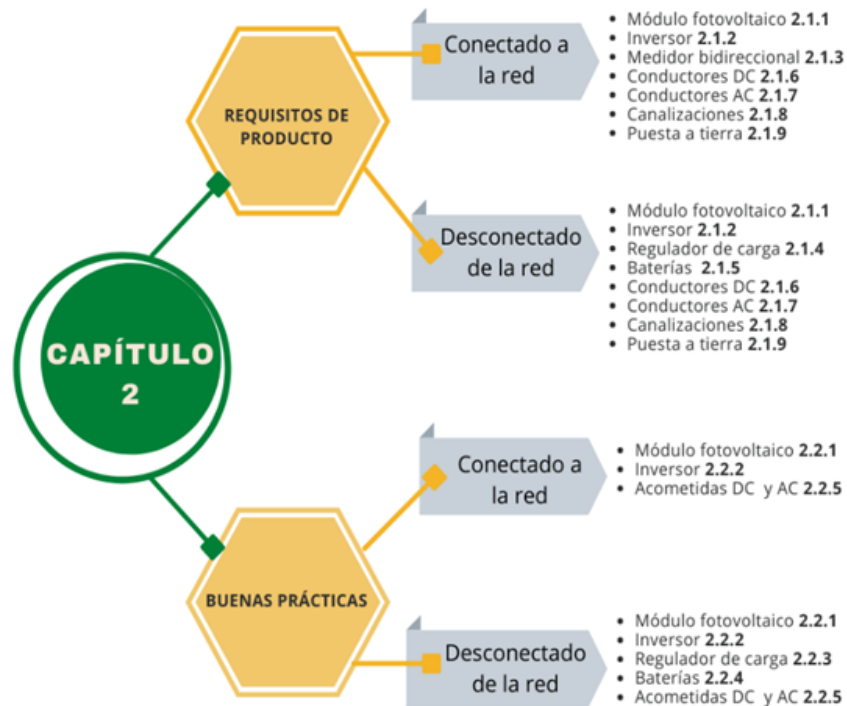
Componente	Definición	Imagen
<p>Cordones flexibles vulcanizados</p>	<p>Los cables flexibles son fáciles de maniobrar en espacios reducidos y se pueden enrollar y transportar con facilidad. Por su flexibilidad pueden soportar movimientos o vibraciones que se presentan en algunas aplicaciones específicas [8].</p>	<p>Figura 25. Cordones flexibles vulcanizados [8].</p> 
<p>Canalizaciones</p>	<p>En las instalaciones eléctricas fotovoltaicas se pueden utilizar las siguientes canalizaciones: tuberías IMC (exteriores), tubería EMT (interiores), bandeja portacables y canaletas; teniendo en cuenta el sitio y la cantidad de cables a conectar (según NTC 2050 y NEC 2014).</p>	<p>Figura 26. Canalizaciones [24].</p> 
<p>Puesta a tierra del sistema</p>	<p>En todas las fuentes de energía fotovoltaica debe haber un conductor de un sistema bifilar (dos conductores) de más de 50 V nominal que estén sólidamente puestos a tierra o debe utilizar otros métodos que logren una protección equivalente del sistema [17].</p>	<p>Figura 27. Puesta a tierra del sistema [25].</p> 
<p>Puesta a tierra de equipos</p>	<p>Se deben poner a tierra todas las partes expuestas metálicas no portadoras de corriente de los bastidores de los módulos, equipos y encerramientos de conductores, independientemente de su tensión [17].</p>	<p>Figura 28. Puesta a tierra de equipos [26].</p> 

2. Síntesis de disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas en instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos

Este capítulo busca exponer de forma concisa las disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas necesarias en una instalación eléctrica de sistema fotovoltaico aislado y conectado a la red. Basándose principalmente de disposiciones normativas legales o reglamentarias expresadas en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y norma técnica colombiana (NTC 2050), escrita y regida por lo estipulado en el National Electrical Code (NEC 2017).

Figura 29.

Descripción del Capítulo 2.



La *Tabla 6* indica las referencias normativas, los requerimientos regulatorios y las resoluciones necesarias para el trabajo seguro en alturas al momento de la instalación del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 6.

Documentos base para la instalación de sistemas fotovoltaicos.

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E INSTALACIONES ELÉCTRICAS
Referencias normativas
NEC 2017 – National Electrical Code NFPA70
RETIE - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
NTC 2050 - Código Eléctrico Colombiano – Actualización 2020
IEEE 80 Diseño de mallas de puesta a tierra
Requerimientos regulatorios
Creg 174 – 2021 “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional”
Creg 015-2018 “Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional”
Acuerdo CNO 1322 “Por el cual se actualiza el documento: Requisitos de Protecciones para la conexión de Sistemas de Generación en el SIN”
Trabajo seguro en alturas

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Resolución 4272 de 2021 – Reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajos seguros en alturas

La Sección 690 de la NTC 2050 (actualización 2020) aborda temas relacionados con los sistemas solares fotovoltaicos de energía eléctrica, donde están incluidos los arreglos de los circuitos, los inversores y los controladores de dicho sistema. Los sistemas solares fotovoltaicos a los que se refiere este artículo pueden ser interactivos con otras fuentes de generación de energía eléctrica o ser autónomos y tener o no acumuladores de energía eléctrica tales como baterías [27].

Se toman en cuenta los requisitos de la Sección 685 de la NTC 2050 para los sistemas eléctricos integrados, ayudando a reducir al mínimo los riesgos de las personas y daños a los equipos [17]; y las disposiciones de la Sección 690 de la NTC 2050 para los sistemas solares fotovoltaicos, los cuales pueden ser autónomos o interconectados con otras fuentes de generación de energía eléctrica [17]. Las secciones 685 y 690 de la NTC 2050 mencionadas, están basadas en el código eléctrico nacional (NEC 2017).

2.1 Normativa y reglamentación técnica para elementos de sistemas solares fotovoltaicos

Los elementos utilizados en los sistemas solares fotovoltaicos requieren del cumplimiento parcial o total de reglamentación técnica y normativa que indique el perfecto funcionamiento de estos mismos dentro de la instalación. Por esto, es indispensable el conocimiento de reglamentos y normas que rigen el montaje y mantenimiento (programado y obligatorio) del sistema fotovoltaico.

2.1.1 Requisitos de producto para módulos fotovoltaicos

a. Los módulos fotovoltaicos deben cumplir los requisitos que indiquen las normas técnicas internacionales, tales como, las expuestas en el *anexo B* y adicionalmente se deben realizar las pruebas del *anexo C*.

b. Los módulos fotovoltaicos cumplen principalmente con una garantía de funcionamiento de aproximadamente 25 años según manuales entregados por fabricantes.

c. Deben contar con los requerimientos expuestos en la *Tabla 7*.

Tabla 7.

Requerimientos paneles fotovoltaicos.

Requerimiento	Norma
Fabricación	NTC 2883
	NTC 4405
	UL 1703
	IEC 61730
	IEC 61701
Certificación y ensayos	UL 1703
	IEC / EN 61215
	IEC / EN 61646
	UL 61730 / UL 790
	UL – SU 8703 (CPV)
Rotulado	NTC 2050- Sección 690-51
Instalación y montaje	NTC 2050- Sección 690

d. Los módulos fotovoltaicos deben contar con mínimo las siguientes protecciones:

- Disponer de un diodo de bloqueo del flujo inverso de la corriente en el circuito.
- Llevar diodos de derivación para evitar las posibles averías de las celdas y sus circuitos

por sombreados parciales.

- Tener un grado de protección no menor a IP 65 o su equivalente NEMA.

e. Cada módulo fotovoltaico debe llevar una etiqueta general, localizada en la parte posterior del mismo y adherida de forma que no permita su remoción; debe contener de manera clara la siguiente información:

- Nombre o símbolo del fabricante – Tipo o número de modelo – Número serial
- Polaridad de los terminales – Fecha y lugar de manufactura – Tensión máxima (V)
- Potencia máxima Dc (Wp) – Corriente de corto circuito Isc (A)
- Tensión de corto circuito Voc (V) – Tensión y corriente de máxima potencia
- Temperatura nominal de operación (°C) – Símbolo de riesgo eléctrico

2.1.2 Requisitos de producto para inversores

a. Los inversores deben cumplir con los requisitos de seguridad que le apliquen de alguna de las normas expuestas en el *anexo D* o normas equivalentes de las mismas.


b. La corriente del inversor en modo de espera no debe superar un amperio.

c. Para condiciones normales de potencia y tensión, el factor de eficiencia no debe ser menor de 90 %.

d. El inversor debe estar marcado de forma permanente con la siguiente información:

Figura 30.

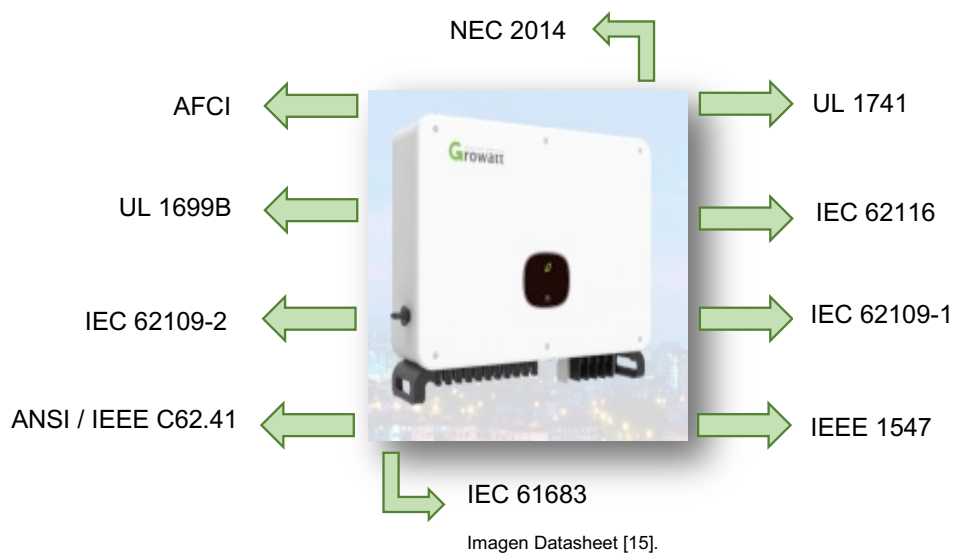
Información importante en el mercado de los inversores.

Nombre o marca comercial del fabricante o proveedor.		Número del modelo
Número de serie, código u otra marca que permita la identificación del lugar de fabricación y el lote de fabricación.		
En el lado de corriente continua:	En el lado de corriente alterna:	
- Máxima potencia admisible (W) - Rango de tensión de entrada (V) - Tensión máxima de entrada (V)	- Número de fases - Tensión de salida (+5%/-10%) (V) - Frecuencia 60Hz + 2% - Potencia nominal kW - Potencia aparente VAR - Distorsión armónica total THD	
Identificación de fusibles (se debe señalar la corriente mínima de corte del fusible y la tensión).		
Identificación de terminales, conexiones y controles: posición de encendido (on) y apagado (off); para conmutadores e interruptores automáticos.		
Señales de advertencia, con el símbolo de riesgo eléctrico.		

e. Debe contar con los requerimientos expuestos en la *Figura 31*.

Figura 31.

Requerimientos normativos y reglamentarios para inversores (on-grid y off-grid).



2.1.3 Requisitos de producto para medidores bidireccionales

Este equipo es capaz de registrar la energía importada y exportada hacia la red eléctrica del OR; es indispensable dentro de una instalación FV conectada a la red, por ende, es necesario el conocimiento de las normas que lo rigen (*Figura 32*).

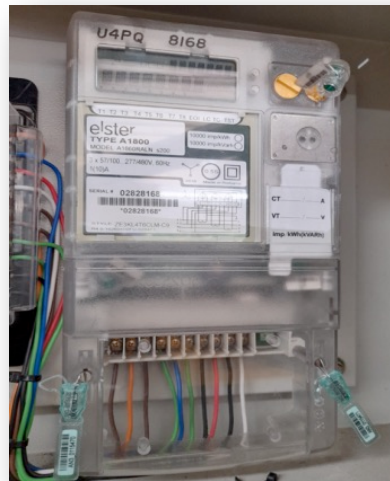
Figura 32.

Requisitos normativos y reglamentarios para el medidor bidireccional.

Este elemento sirve para la medición, control y registro de energía producida y entregada al consumo y a la red eléctrica.

Se debe configurar de tal manera que lleve el registro de excedentes y consumos de la red eléctrica.

El medidor debe contar con la función de bidireccionalidad y estar activo en los cuatro cuadrantes.



Resolución CREG 038 de 2014

Características técnicas que deben cumplir los sistemas de medición para el registro de los flujos de energía

IEC 62053- 21
IEC 62052- 11
IEC 62053- 22
IEC 6205

2.1.4 Requisitos de producto para reguladores de carga

- Los contactos macho (clavija) y hembra (tomacorriente), deben cumplir con los requisitos expuestos en el *anexo E*, garantizando una correcta conexión y eliminando cualquier riesgo eléctrico con partes expuestas.
- La resistencia de aislamiento no debe ser menor de 5 MΩ
- Las partes no portadoras de corriente deben ser probadas con hilo incandescente a 650 °C y las partes portadoras con hilo de 850 °C.
- Todos los tomacorrientes:
 - Ser polarizados
 - Tener el mismo rango de corriente (la capacidad no debe ser inferior a 15 A)
 - Tener contactos de neutro y tierra separados
- Los dispositivos de protección de los reguladores deben ser dimensionados como los de un circuito ramal.
- El tipo de conductor y los terminales de conexión deben ser adecuados para la capacidad de corriente de toda la carga conectada (debe ser de cobre y calibre no menor a 14 AWG); debe estar marcado con al menos la siguiente información: número de conductores, calibre, tipo de aislamiento y máxima corriente permanente permitida.
- El marcado o etiquetado debe ser visible, permanente, legible e impreso en el exterior del elemento, con la siguiente información básica:
 - Razón social o marca registrada del productor
 - Valores nominales de tensión de entrada y salida (V)
 - Rango de tensión de entrada (V)
 - Potencia nominal de salida (VA)
 - Corriente nominal de salida (A)
 - Número de fases
 - Factor de potencia

El regulador de carga debe contar con los siguientes requerimientos (*Figura 33*):

Figura 33.

Requerimientos normativos y reglamentarios para el regulador de carga.



2.1.5 Requisitos de producto para baterías

Para el propósito del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), las baterías deben cumplir alguna de las siguientes normas técnicas o internacionales que le apliquen al tipo

específico de batería y se debe demostrar por medio de un certificado de conformidad de producto, expedido por un organismo de certificación de producto acreditado.

IEC 60896-11. Norma de requisitos generales y métodos de ensayo de baterías plomo-ácido tipo ventiladas.

IEC 61056-1. Norma de requisitos generales y características funcionales para baterías tipo VRLA portátiles.

IEC 60896-21. Norma de requisitos generales y métodos de ensayo de baterías plomo-ácido tipo VRLA, no se incluye las baterías de plomo ácido libres de mantenimiento.

IEC 61427-1. Norma de requisitos generales y métodos de prueba, en sistemas fotovoltaicos off-grid para pilas y baterías secundarias de almacenamiento de energía renovable.

IEC 61427-2. Norma de requisitos generales y métodos de prueba, en sistemas fotovoltaicos on-grid para pilas y baterías secundarias utilizadas en sistemas fotovoltaicos.

Las baterías deben entregar la energía en un tiempo prolongado y permitir descargas a niveles bajos, eso significa que las baterías deben ser de tipo ciclo profundo. Estas baterías de plomo están diseñadas para abastecer energía sostenida durante un tiempo prolongado de manera segura hasta que se descargue al 80% o más, que es el momento donde se deben recargar [28].

La eficiencia de las baterías que se utilizan en los sistemas fotovoltaicos debe estar en un rango del 75% y 90%, teniendo en cuenta que se deben cumplir los requisitos reglamentarios y normativos expuestos en la *Figura 34*.

Figura 34.

Requerimientos normativos y reglamentarios para las baterías.



2.1.6 Requisitos de producto para conductores DC

En la *Figura 35* se muestran las normas y los estándares que definen el cableado resistente a altas temperaturas de la luz solar; este conductor es utilizado en acometidas DC (desde módulos fotovoltaicos hasta inversor). Adicionalmente en la *Tabla 8* se encuentran sus características relevantes.

Figura 35.

Cable fotovoltaico marca PROCABLES [29].

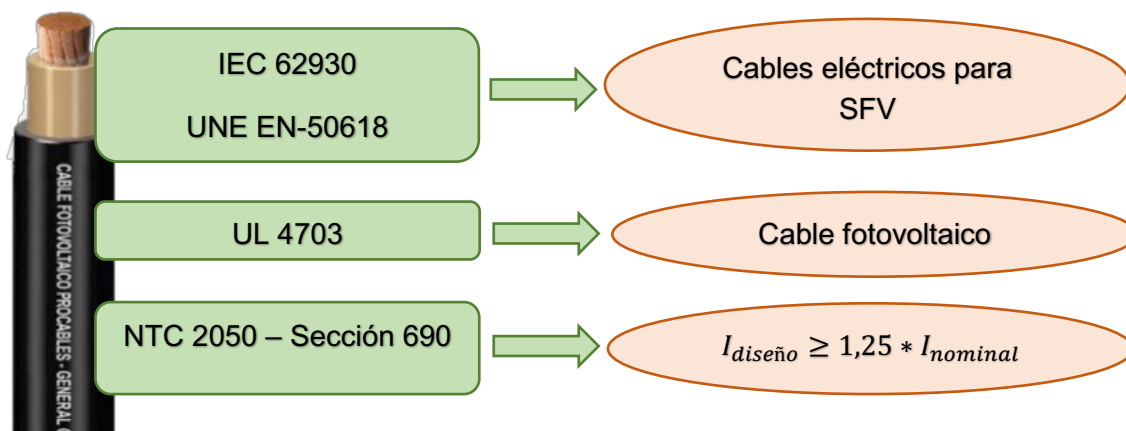


Tabla 8.

Características del cable fotovoltaico [29].

Cable Fotovoltaico	
<i>Características</i>	<i>Descripción</i>
Calibre	4mm ² a 16mm ²
Chaqueta	Polímero termoplástico a 90°C en lugares secos y mojados
Tensión máxima de operación	0.6/1 kV AC y 1.8 kV DC
Aislamiento	Polietileno reticulado a 90°C en lugares secos y mojados
Son resistentes a la intemperie, abrasión, desgarró, grasas industriales, aceites y aptos para trabajos a temperaturas muy bajas (-25°C)	

2.1.7 Requisitos de producto para conductores AC

Se permite utilizar cualquier conductor establecido por las normas NTC 2050 – RETIE, UL 1277 y NEC 2017.



2.1.8 Requisitos de producto para canalizaciones

Se permite utilizar cualquier método de cableado en canalizaciones y con conexiones de cables incluidos en la NTC 2050 (actualización 2020), se permiten otros accesorios aptos para uso en arreglos fotovoltaicos y sistemas de cableado adecuados.

Las canalizaciones deben adecuarse en lugares fácilmente accesibles para la instalación y mantenimiento.

Los circuitos de entrada y salida de los inversores que operan a tensiones mayores de 30 V deben estar protegidos e instalados en tubería Tipo IMC o canalización tipo bandeja metálica con tapa. Si la temperatura ambiente excede los 30 °C, se deben corregir las capacidades de corriente tomando en cuenta la *Tabla 9*.

Tabla 9.

Factores de corrección [30].

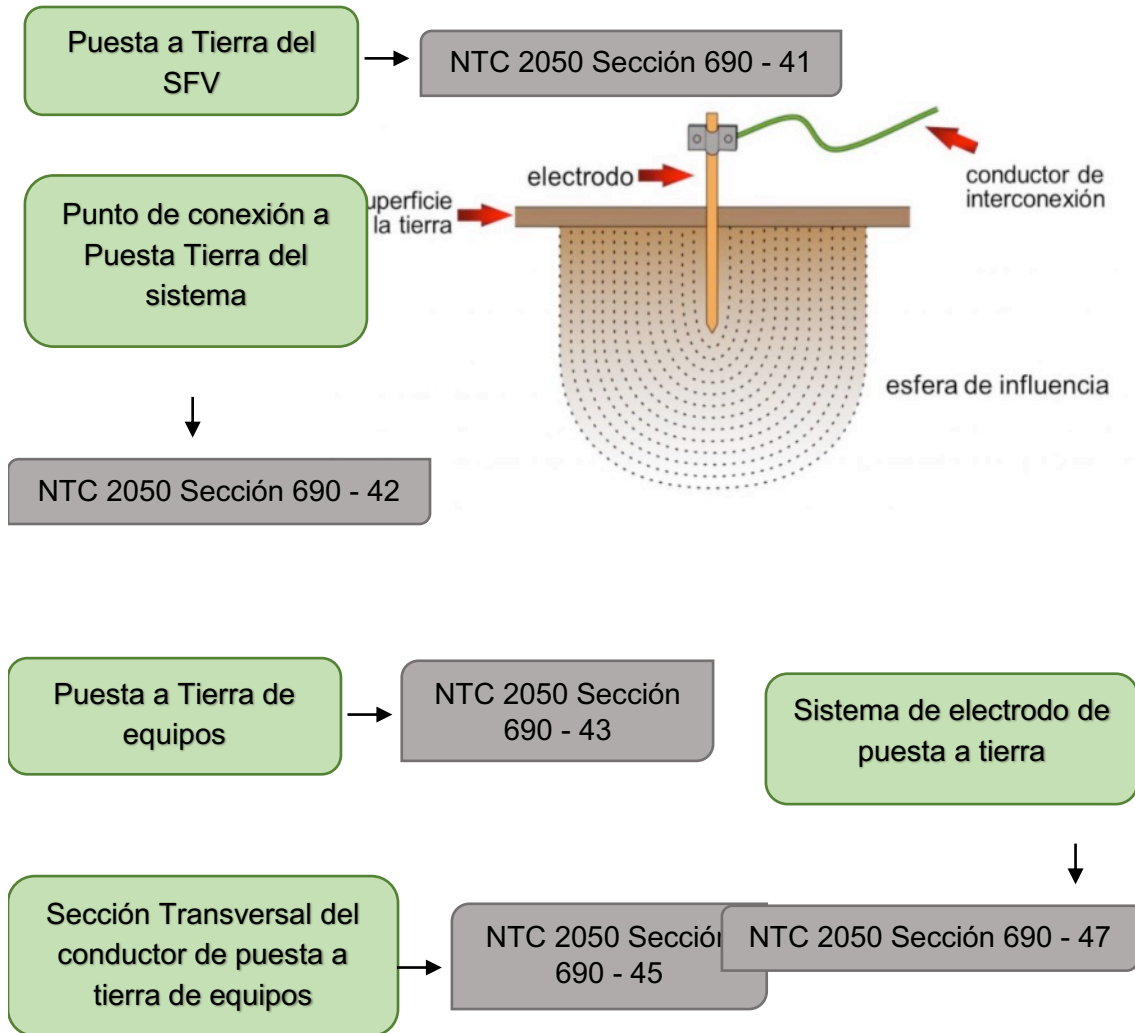
Temperatura ambiente (°C)	Temperatura nominal de conductor			
	60 °C	75 °C	90 °C	105 °C
30	1	1	1	1
31-35	0,91	0,94	0,96	0,97
36-40	0,82	0,88	0,91	0,93
41-45	0,71	0,82	0,87	0,89
46-50	0,58	0,75	0,82	0,86
51-55	0,41	0,67	0,76	0,82
56-60	-	0,58	0,71	0,77
61-70	-	0,33	0,58	0,68
71-80	-	-	0,41	0,58

2.1.9 Requisitos de producto para puesta tierra

La puesta a tierra es un sistema que permite cuidar la vida humana, los aparatos y la maquinaria frente a descargas eléctricas y cortos circuitos. En la *Figura 36* se encuentran las normas que aplican para el buen funcionamiento de un sistema de puesta a tierra.

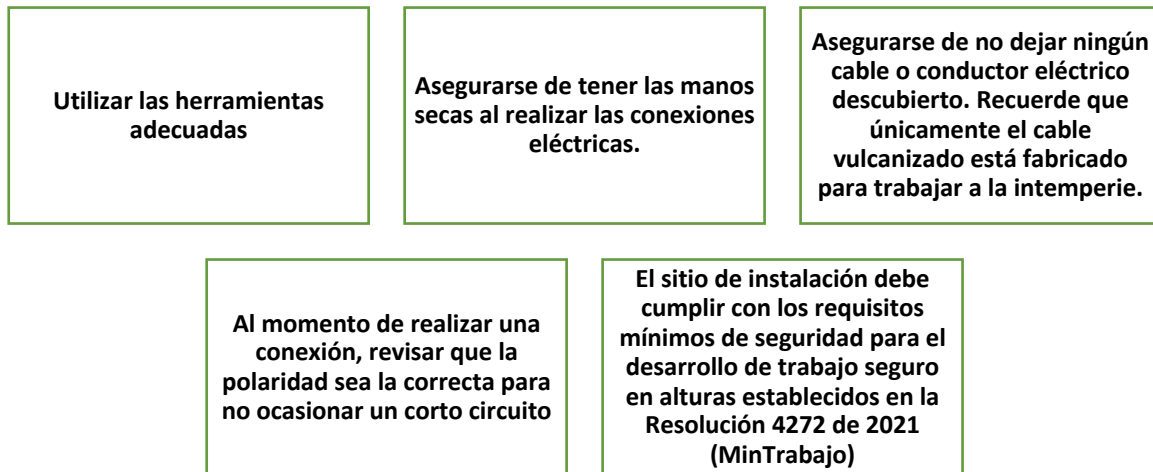
Figura 36.

Sistema puesta a tierra [31].



2.2 Buenas prácticas de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos

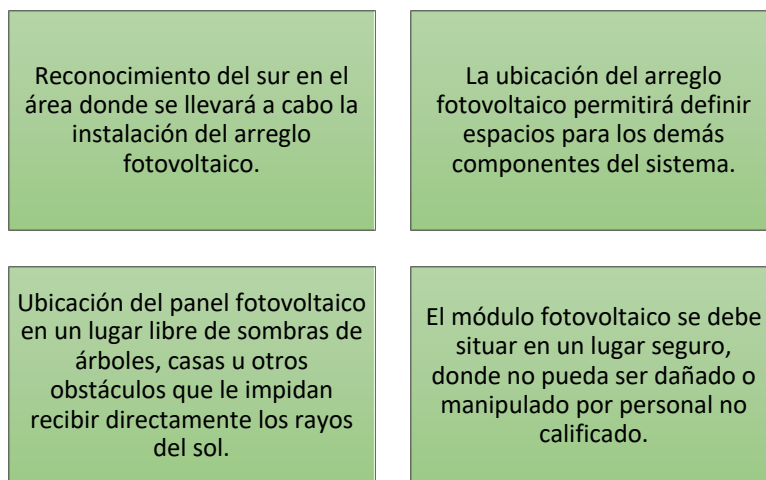
Durante todo el proceso de instalación de un sistema de generación fotovoltaica, debe tenerse en cuenta una serie de cuidados básicos, por ende, es necesario no olvidar las siguientes recomendaciones.



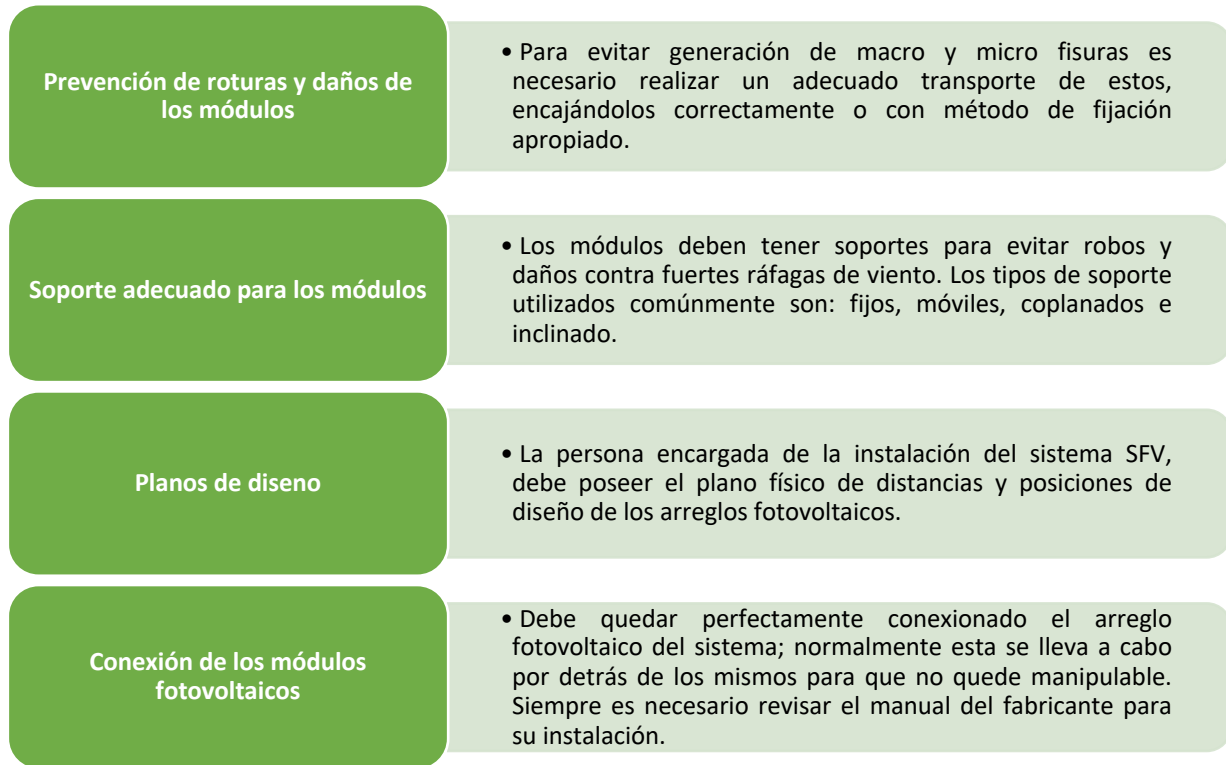
2.2.1 Módulos fotovoltaicos

Para las características y condiciones que prevalecen en el territorio colombiano, es de gran importancia asegurar la utilidad completa de un sistema de generación fotovoltaica.

Previamente a su instalación, es necesario realizar un proceso de inspección de la zona donde se ubicará dicho sistema, por ende, es importante considerar los siguientes criterios:



Es necesario considerar una serie de recomendaciones para poder ubicar e instalar adecuadamente los distintos módulos fotovoltaicos.



2.2.2 Inversores

A continuación, se muestra de forma explicativa las buenas prácticas necesarias en la instalación de inversor(es) eléctrico(s), para un excelente funcionamiento dentro del SFV.

Se deben proteger de la radiación directa. La exposición directa al sol provoca un aumento innecesario de temperatura en los inversores; por esta razón, es importante que se ubiquen en una sala eléctrica, caseta techada o afuera con alguna protección al sol (Figura 37)

Figura 37.

Protección inversores

Los soportes deben ser contruidos con materiales resistentes y no inflamables. Se deben ubicar en lugares seguros, bien ventilados, lejos de material combustible e inflamable; esto para prevenir incendios causados por cortocircuitos situados en el elemento (Figura 38)

Figura 38.*Soporte inversor*

Distancias y cableado. El manual del fabricante indica distancias en las cuales cada tipo de inversor debe ser instalado; todos los cables deben estar conectados de forma ordenada y sin cruces (Figura 39)

Figura 39.

Cableado inversor

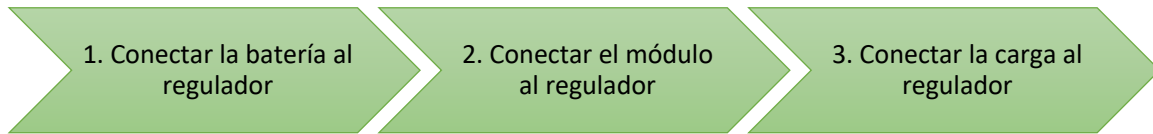


2.2.3 Reguladores

- Para asegurar el adecuado funcionamiento del dispositivo electrónico, se debe instalar en un lugar seguro, fresco y libre de humedad, alejado de los rayos del sol; además de ser un lugar accesible y visible para el operario calificado.

- Debe proteger tanto la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá incluir sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas.

- Para la conexión del regulador se deben llevar a cabo los siguientes pasos de forma consecutiva:



2.2.4 Baterías

Para la instalación de las baterías (*Figura 40*) se requiere un sitio fresco para mantener una temperatura que oscile entre 20 °C y 25 °C. Si se encuentra en una temperatura menor (debajo del punto de congelación) no perjudica la batería, solamente reduce su capacidad. Una temperatura mayor daña la batería y reduce su vida útil hasta la mitad.

Se debe buscar un lugar ventilado para instalar las baterías, dado a que todas las baterías a base de plomo producen hidrógeno que es un gas explosivo, la causa es el proceso químico que ocurre mientras se carga y descarga.

Figura 40.

Instalación de baterías [32].



Para realizar la conexión de las baterías se debe tener en cuenta lo siguiente:

Contar con un inversor híbrido, que gestione la carga y descarga de las baterías.

Las conexiones de las baterías deben llevar una grasa especial o vaselina para evitar una sulfatación y corrosión de los polos.

La capacidad de almacenamiento de las baterías se da en función a la demanda y campo fotovoltaico instalado.

La conexión de las baterías puede ser en paralelo, serie o en serie-paralelo, siempre con baterías iguales.

En la conexión paralela duplica la capacidad de las baterías, pero la tensión se mantiene.

En la conexión serie la capacidad de las baterías se mantiene y la tensión es el doble.

Y la conexión serie-paralelo la capacidad de las baterías y tensión es el doble.

Es muy importante evitar cualquier corto circuito, se debe tener especial cuidado con las baterías cargadas porque tienen suficiente energía para producir fuego. Una llave puesta sobre los polos o un niño jugando, puede causar accidentes.

2.2.5 Acometidas (DC y AC)

Se deben utilizar manguitos y/o prensa estopas de cable en las entradas de los conductores a las cajas de conexión o bandejas metálicas (Figura 41).

Figura 41.

Conexiones selladas y terminadas [33].



Cada cable debe estar marcado (Figura 42).

Figura 42.

Marcado de cables [33].



3. Guía metodológica para la verificación de las instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos (conectado y desconectado de la red)

Esta guía busca proporcionar información a los estudiantes de la E3T, sobre la verificación del cumplimiento de reglamentos y normas técnicas en instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos, para en un futuro como egresados cuenten con conocimientos y habilidades necesarias para estas.

Se tiene en cuenta las siguientes etapas para realizar una correcta verificación de una instalación eléctrica de sistema fotovoltaico:

- Revisión detallada de la memoria técnica del proyecto a verificar
- Definición de ítems aplicables para el caso (conectado o desconectado de la red eléctrica)
- Inspección de la instalación del sistema fotovoltaico
- Reporte técnico de la instalación del SFV

3.1 Etapa 1 – Revisión de la memoria técnica del proyecto

A continuación se presenta de forma explicativa la primera etapa de la guía metodológica; etapa que busca reconocer los datos técnicos importantes del proyecto fotovoltaico (conectado o aislado de la red) que se quiere verificar.

Tabla 10.

Etapa 1.

ETAPA 1	REVISIÓN DE LA MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO
Información relevante para conocer el proyecto fotovoltaico (conectado y aislado de la red)	
<i>Personal a cargo y funciones</i>	Profesional o técnico
El personal encargado debe contar con la autorización de la SEC (Superintendencia de electricidad y combustibles). Además, debe acreditar que su licencia corresponda al tipo de trabajo para el que fueron requeridos sus servicios [38].	
<i>Fases para revisión de la memoria técnica</i>	
Datos generales del proyecto	
Tipo de proyecto: aislado o conectado de la red eléctrica	Nombre y ubicación del proyecto
Beneficiario(s) del proyecto	Irradiancia solar del lugar
Visita al área donde se realiza la instalación del arreglo fotovoltaico	
Diseño del proyecto	
<u>Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica</u>	
1. Matriz de consumo entregada por el operador de red (OR)	2. Módulos fotovoltaicos en la instalación (referencia y cantidad)
3. Inversor fotovoltaico (referencia y cantidad)	4. Potencia total del proyecto (DC y AC)
5. Rutas de cableado del proyecto (tipo de cable, distancias y canalizaciones)	6. Diseño de soportes necesarios (módulos e inversor)
<u>Sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica</u>	
1. Matriz de consumo entregada por el operador de red (OR)	2. Módulos fotovoltaicos en la instalación (referencia y cantidad)
3. Regulador de carga (referencia tomada)	4. Baterías (tipo, referencia, cantidad y tipo de conexión)

ETAPA 1	REVISIÓN DE LA MEMORIA TÉCNICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO
5. Inversor híbrido (referencia y cantidad)	6. Potencia total del proyecto (DC y AC)
7. Rutas de cableado del proyecto (tipo de cable, distancias y canalizaciones)	8. Diseño de soportes necesarios (módulos e inversor)

3.2 Etapa 2 – Definición de ítems aplicables para el caso

En esta segunda etapa se revisa en detalle la documentación necesaria para el proyecto fotovoltaico que se requiere inspeccionar según la normativa, la reglamentación técnica y las buenas prácticas de los elementos utilizados para los sistemas conectados y aislados de la red.

Tabla 11.

Etapa 2.

ETAPA 2	DEFINICIÓN DE ÍTEMS APLICABLES PARA EL CASO
Documentación necesaria para la revisión final de la instalación eléctrica del SFV (conectado y aislado de la red) según Norma Técnica Colombiana (NTC 2050)	
<i>Personal a cargo y funciones</i>	<i>Profesional o técnico</i>
El personal encargado debe contar con la autorización de la SEC (Superintendencia de electricidad y combustibles). Además, debe acreditar que su licencia corresponda al tipo de trabajo para el que fueron requeridos sus servicios [38].	
<i>Revisión de información para cada caso</i>	
<i>SFV conectado a la red</i>	<i>SFV aislado de la red</i>
Reporte general del Revisión de diseño FV	Reporte general del Revisión de diseño FV
documentación utilizada	documentación utilizada

ETAPA 2		DEFINICIÓN DE ÍTEMS APLICABLES PARA EL CASO	
	en la instalación del SFV (ubicación de componentes fotovoltaicos)		en la instalación del SFV (ubicación de componentes fotovoltaicos)
Manual de elementos utilizados en el SFV	Reconocer requisitos reglamentarios de los elementos fotovoltaicos utilizados en la instalación conectada a la red eléctrica, basándose de la información recopilada en el Capítulo 2 del presente anexo.	Manual de elementos utilizados en el SFV	Reconocer requisitos reglamentarios de los elementos fotovoltaicos utilizados en la instalación desconectada de la red, basándose de la información recopilada en el Capítulo 2 del presente anexo.
Planos entregados y aprobados	Se revisan los siguientes tipos de planos de la instalación: - Soportes para los elementos fotovoltaicos (módulos e inversor) - Diagrama unifilar del SFV - Rutas de cableado - Puesta a tierra de elementos y sistema - Protecciones del SFV (desconexión de planta de respaldo) - Áreas de trabajo seguro	Planos entregados y aprobados	Se revisan los siguientes tipos de planos de la instalación: - Soportes para los elementos fotovoltaicos (módulos, regulador de carga, baterías e inversor aislado) - Diagrama unifilar del SFV - Rutas de cableado - Puesta a tierra de elementos y sistema - Protecciones del SFV aislado - Áreas de

ETAPA 2	DEFINICIÓN DE ÍTEMS APLICABLES PARA EL CASO
en alturas (instalación y mantenimiento)	trabajo seguro en alturas (instalación y mantenimiento)

3.3 Etapa 3 – Inspección de la instalación del sistema fotovoltaico

Posterior al reconocimiento del tipo de sistema, los elementos y los planos del proyecto, se requiere la revisión e inspección de la instalación del sistema fotovoltaico desarrollado. Por esto, es necesarios obtener evidencias que aclaren físicamente como se realizó la instalación del proyecto fotovoltaico (conectado o aislado de la red).

Tabla 12.

Etapa 3

ETAPA 3	INSPECCIÓN DE LA INSTALACIÓN
Se puede realizar con la instalación conectado o desconectada antes de la ejecución. Se debe verificar el uso de protecciones adecuadas, montaje correcto y conexiones del SFV	
<i>Personal a cargo y funciones</i>	
Profesional o técnico	El personal encargado debe contar con la autorización de la SEC (Superintendencia de electricidad y combustibles). Además, debe acreditar que su licencia corresponda al tipo de trabajo para el que fueron requeridos sus servicios [38].
<i>Comprobación de la correcta instalación del SFV</i>	
SFV conectado a la red	SFV aislado de la red

ETAPA 3	INSPECCIÓN DE LA INSTALACIÓN
Distancias de trabajo seguro en alturas (tomadas de Resolución 4272 de 2021)	
Correcta instalación de soportes para los módulos fotovoltaicos	Correcta instalación de soportes para los módulos fotovoltaicos
Conexión del arreglo fotovoltaico sin obstáculos cerca	Conexión del arreglo fotovoltaico sin obstáculos cerca
Correcta instalación de módulos fotovoltaicos con fijaciones necesarias y libres de obstáculos	Correcta instalación de módulos fotovoltaicos con fijaciones necesarias y libres de obstáculos
Lugar de instalación de inversor(es), con tablero agrupador y medida del SFV	Lugar de instalación de regulador de carga y baterías
Correcta instalación de las canalizaciones escogidas para los conductores DC y AC del SFV conectado a la red eléctrica	Lugar de instalación de inversor aislado para el SFV
Marcado o etiquetado para conductores y canalizaciones del SFV	
Medidor bidireccional con funciones necesarias para medida de consumos y excedentes	Correcta instalación de las canalizaciones escogidas para los conductores DC y AC del SFV
Instalación de sistema de puesta a tierra de las partes no energizadas del SFV	
Revisión total de instalación de elementos del SFV (conectado o aislado) según manuales de fabricante	

3.4 Etapa 4 – Reporte técnico

Se crea la rúbrica de evaluación personalizada a partir de la información obtenida en las tres etapas anteriores.

Tabla 13.

Etapas 4.

ETAPA 4		REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV						
Basados en las etapas anteriores se desarrolla un reporte para emitir un juicio de valoración por parte del personal a cargo								
<i>Personal a cargo</i>								
Profesional o técnico	El personal encargado debe contar con la autorización de la SEC (Superintendencia de electricidad y combustibles). Además, debe acreditar que su licencia corresponda al tipo de trabajo para el que fueron requeridos sus servicios [38].							
<i>Rúbrica de evaluación para diligenciamiento (valoración y recomendaciones)</i>								
CRITERIO	CT Cumplimiento total	CP Cumplimiento parcial	NC No cumplimiento	NE No especifica	NA No aplica	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS		
Requisitos reglamentarios y normativos de producto de las instalaciones solares fotovoltaicas								
Requerimientos según manual de fabricación del módulo a emplear								
Módulos solares con garantía de 25 años de funcionamiento								
Certificación y								

ETAPA 4	REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV
ensayos para módulos solares	
Protecciones para módulos solares	
Rotulado o etiquetado de módulos solares	
Según manual de fabricante de inversor, requerimientos normativos y reglamentarios	
Factor de eficiencia del inversor >90%	
Según manual de fabricante del medidor, requerimientos normativos y reglamentarios	
Requerimientos normativos y reglamentarios	

ETAPA 4	REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV
<p>para el regulador de carga</p>	
<p>Protección dimensionada para el regulador de carga del sistema</p>	
<p>Condiciones mínimas para los conductores y las terminales del regulador de carga (cobre y calibre <14AWG)</p>	
<p>Rotulado o etiquetado de regulador con información básica</p>	
<p>Requerimientos normativos y reglamentarios según el tipo de batería utilizada en el sistema</p>	

ETAPA 4	REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV
<p>Eficiencia de baterías en rango de 75% al 90%</p>	
<p>Requisitos reglamentarios y normativos para cables fotovoltaicos DC</p>	
<p>Requerimientos reglamentarios y normativos para conductores AC del sistema FV</p>	
<p>Reglamentación para el tipo de canalización escogida</p>	
<p>Requerimientos normativos y reglamentarios para la puesta a tierra de quipos y sistema</p>	
<p>Buenas prácticas de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos</p>	
<p>Distancias de</p>	

ETAPA 4	REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV
<p>trabajo seguro en alturas para la instalación y el mantenimiento del sistema</p>	
<p>Soporte y fijaciones para los módulos solares del sistema</p>	
<p>Distancias de instalación mostradas en los planos del diseñador</p>	
<p>Conexión de los arreglos fotovoltaicos sin obstáculos ceranos</p>	
<p>Instalación adecuada del inversor según manual del fabricante</p>	
<p>Lugar adecuado para la ubicación</p>	

ETAPA 4	REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV
de inversores (sin obstáculos)	
Instalación adecuada del regulador de carga del sistema	
Lugar para la instalación de batería(s)	
Marcado de acometidas DC y AC del sistema	
Instalación de canalizaciones en lugares fácilmente accesibles para su mantenimiento	
Conexión a tierra de todas las partes no energizadas del sistema FV	

ETAPA 4**REPORTE TÉCNICO DE LA INSTALACIÓN DEL SFV**

Instalación de
los elementos
del sistema FV
de acuerdo con
el manual
entregado por el
fabricante

4. Casos de Estudio de Sistemas Solares Fotovoltaicos (Conectado y Desconectado de la Red Eléctrica)

Con ayuda CELSIA SA ESP y fuentes bibliográficas, se encontraron dos proyectos solares fotovoltaicos (conectado y desconectado de la red eléctrica) diseñados y ejecutados en el territorio colombiano. En este capítulo, se muestran datos importantes utilizados en la elaboración e instalación de estos proyectos.

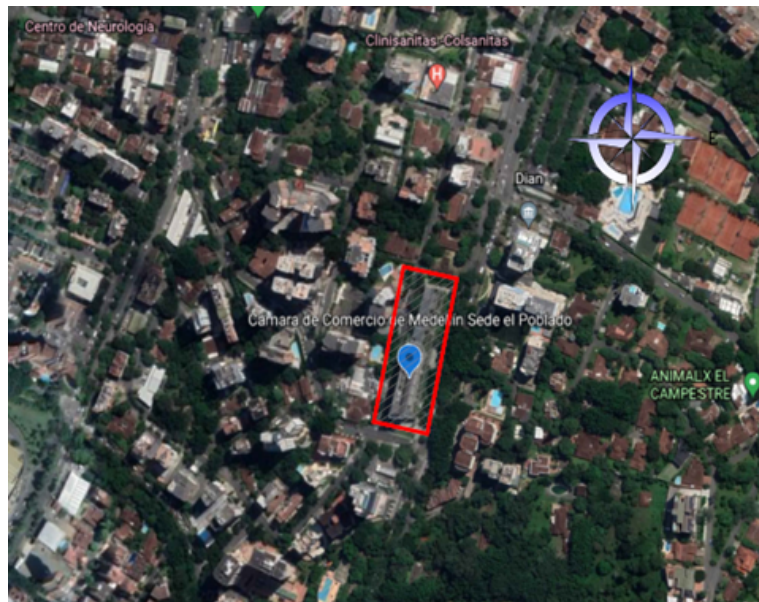
4.1 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica

El proyecto que se muestra a continuación es tomado de **CELSIA SA ESP**, diseñado y ejecutado en un tiempo establecido. El sistema solar fotovoltaico **Cámara de Comercio El Poblado** está ubicado en la capital Antioqueña; se trata de una nueva planta fotovoltaica de inyección sobre cubiertas que cuenta con 110 módulos fotovoltaicos de referencia JAM72S30-540/MR (540 Wp), con potencia generada total de 59,4 kWp en un área de 284,3 m². A continuación, se muestran las especificaciones del sistema solar fotovoltaico conectado a la red.

4.1.1 Ubicación del proyecto SFV

Figura 43.

Ubicación del lugar



Nota: (Tomado de Layout General del proyecto).

4.1.2 Datos geográficos del proyecto SFV

Tabla 14.

Datos geográficos [39].

DATOS PROYECTO SFV	
Latitud	6,188065 °
Longitud	-75,577923 °
Temperatura ambiente máxima para cálculo de conductores	27 °C
Temperatura ambiente mínima para cálculos de voltaje máxima y aislamiento	11 °C
Altura sobre el nivel del mar	1546 m

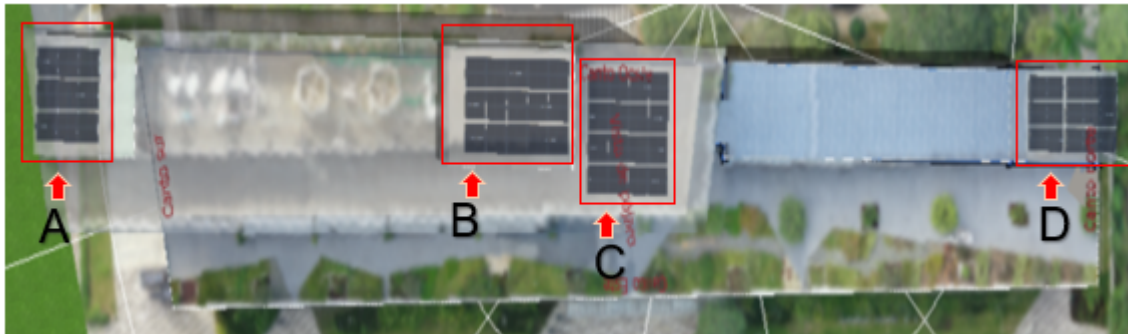
4.1.3 Simulación y disposición de módulos fotovoltaicos del proyecto

Es indispensable ejecutar una visita en sitio para llevar a cabo un vuelo de dron y poder revisar que áreas están disponibles en cubierta para ocupar con el arreglo fotovoltaico. Posteriormente a la visita se lleva a cabo la simulación en la herramienta PvSOL, situando de mejor manera los módulos en las diferentes cubiertas de Cámara de Comercio El Poblado.

La *Figura 44* muestra el arreglo fotovoltaico escogido por el diseñador, teniendo en cuenta áreas no ocupables de las cubiertas (A, B, C y D) y distancias necesarias para el trabajo seguro en alturas (TSA) en instalación y mantenimiento del proyecto SFV.

Figura 44.

Disposición de módulos fotovoltaicos en cubierta



Nota: (Tomado de simulación en PvSOL).

4.1.4 Resumen del proyecto SFV

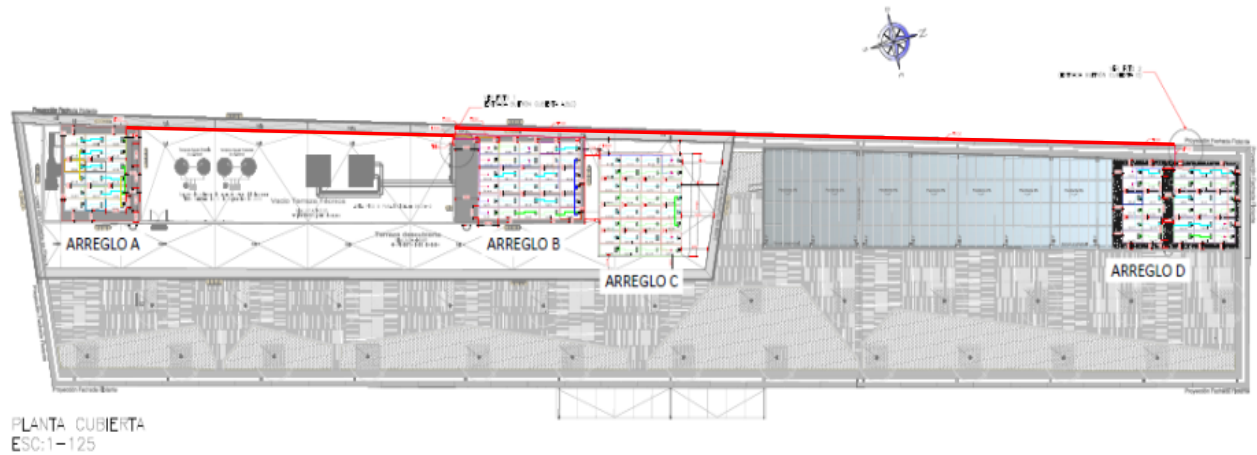
En la *Tabla 15* se muestran datos importantes de elementos que conforman el proyecto SFV conectado a la red eléctrica “Cámara de Comercio El Poblado”.

Tabla 15.*Resumen del proyecto SFV [39].*

Proyecto	SFV Cámara de Comercio El Poblado
Cantidad de módulos fotovoltaicos	110
Fabricante de módulos fotovoltaicos	JA SOLAR
Referencia de módulos fotovoltaicos	JAM72S30-540MR
Cantidad de inversores	3
Fabricantes de inversores	GROWATT
Referencia de inversores	MAC15-20 KTL3 XL (2x15 - 1x20)
Potencia total AC	50 kW
Nivel de tensión del sistema	208 Vac
Nivel de tensión max DC	829,1 V
Inyección estimada	76881 kWh/año
Rendimiento anual específico	1243,2 kWh/kWp
Coefficiente de rendimiento (PR)	0,779%
Emisiones de CO2 evitadas	45398 kg/año
Operador de red (OR)	EPM

4.1.5 Rutas de cableado para el proyecto SFV

Las rutas de cableado DC del proyecto SFV se muestran en la *Figura 45* (líneas en rojo), son salidas de los arreglos fotovoltaicos (A, B, C y D) y entradas de los inversores; siendo la propuesta más adecuada escogida por el diseñador (anexo H), buscando que cumpliera con buenas prácticas en el manejo de cableado y canalización en el sitio, así mismo, fueron aprobadas por el Cliente responsable de Cámara de Comercio El Poblado.

Figura 45.*Rutas de cableado*

Nota: (Tomado de plano rutas de cableado)

El cableado que llega a los inversores, baja por un buitrón eléctrico existente desde la cubierta hasta nivel de sótanos (subestación del cliente). La *Figura 46* muestra la entrada al buitrón, por donde estarán las salidas de los arreglos fotovoltaicos ubicados en las cubiertas A, B y C (anexo H).

Figura 46.

Detalle entrada buitrón cubiertas A, B y C



Nota (Tomada de visita técnica).

La ruta de cableado de la cubierta D también llega al buitrón existente, aunque pisos más abajo de las demás cubiertas, la *Figura 47* muestra a detalle la ruta propuesta y aceptada para la conexión del arreglo fotovoltaico ubicado en la cubierta D.

Figura 47.

Detalle entrada buitrón cubierta D



Nota: (Tomada de plano rutas de cableado).

4.1.6 Memoria de cálculo para tuberías y conductores.

Después de que se tienen distancias aproximadas de la ruta de cableado se procede a realizar la memoria de cálculo para las tuberías y conductores necesarios en el proyecto fotovoltaico conectado a la red “Cámara de Comercio El Poblado”. Las *Tablas 16 y 17* muestran canalizaciones escogidas para acometidas DC y AC respectivamente.

Tabla 16.

Tuberías en DC

TABLA DE TUBERÍAS EN DC										
ID	Origen	Destino	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO COMERCIAL	CONDUCTORES	AREA DE CONDUCTORES [mm2]	PORCENTAJE DE OCUPACIÓN [%]	LUZ ENTRE FIJACIONES [m]	Longitud [m]	COMENTARIOS
T1DC	S.1.1.1	T7DC	IMC	1 1/4	4x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	215.4	20.24%	2	130	Tubería que conduce la salida de los arreglos S.1.1.1 y S.1.2.1 hacia la tubería T7DC
T2DC	S.2.1.1	T7DC	IMC	1 1/4	4x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	215.4	20.24%	2	35	Tubería que conduce la salida de los arreglos S.2.1.1 y S.2.2.1 hacia la tubería T7DC
T3DC	CB	CA	IMC	1 1/4	4x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	215.4	20.24%	2	45	Tubería que conecta las cadenas S.3.1.1 y S.3.2.2 hacia la tubería T7DC
T4DC	S.3	T7DC	IMC	1 1/2	8x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	403.6	28.18%	2	40	Tubería que conecta las cadenas S.3 hacia la tubería T7DC
T5DC	T7DC	INV's	LFMC	1 1/4	4x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	215.4	21.89%	2	1	Tubería que conduce los arreglos de la tubería T7DC a la entrada de los inversores 1 y 2.
T6DC	T7DC	INV's	LFMC	1 1/2	8x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	403.6	31.63%	2	1	Tubería que conduce los arreglos de la tubería T7DC a la entrada del inversor 3.
T7DC	Cubierta	INV's	EMT	2	16x (C 6,0 mm2 Tipo FV 90°C XLPE 1,8kV) + 1x (C Al 1350-H19 desnudo 4 AWG 7H)	780.0	36.03%	2	50	tubería que recoge las cadenas en DC sobre cubierta hasta los inversores.

Nota: (Tomado de memoria de cálculo).

Tabla 17.

Tuberías en AC

TABLA DE TUBERÍAS EN AC										
ID	Origen	Destino	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO COMERCIAL	CONDUCTORES	AREA DE CONDUCTORES [mm2]	PORCENTAJE DE OCUPACIÓN	LUZ ENTRE FIJACIONES [m]	Longitud [m]	COMENTARIOS
T1AC	INV-1	TFV	EMT	1 1/4	3x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 6 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 8 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 8 AWG Cu 600V)	193.3	19.97%	2	5	Tubería que conduce la salida AC del inversor 1 (INV-1) hacia el tablero agrupador fotovoltaico (TFV).
T2AC	INV-2	TFV	EMT	1 1/4	3x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 6 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 8 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 8 AWG Cu 600V)	193.3	19.97%	2	5	Tubería que conduce la salida AC del inversor 2 (INV-2) hacia el tablero agrupador fotovoltaico (TFV).
T3AC	INV-3	TFV	EMT	1 1/4	3x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 4 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 6 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 6 AWG Cu 600V)	277.0	28.61%	2	5	Tubería que conduce la salida AC del inversor 3 (INV-3) hacia el tablero agrupador fotovoltaico (TFV).
T4AC	TFV	PC	EMT	2	3x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 4/0 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 4 AWG Cu 600V) + 1x (C FREETOX LHFR-LS 75°C 4 AWG Cu 600V)	775.4	35.82%	2	15	Tubería que conduce la salida del tablero agrupador fotovoltaico (TFV) al punto de conexión (PC).

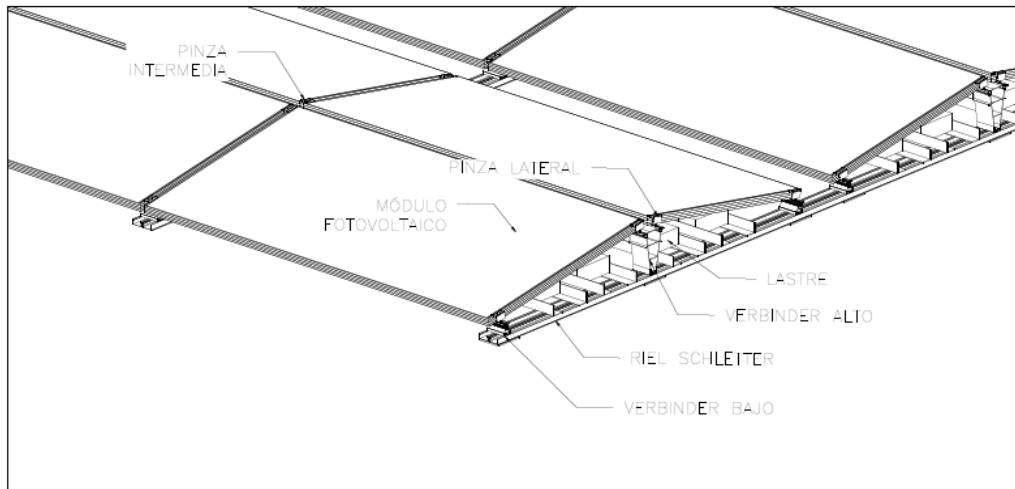
Nota: (Tomado de memoria de cálculo).

4.1.7 Instalación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están situados en las 4 cubiertas ya mencionadas, ubicados con estructura este-oeste mostrada a continuación.

Figura 48.

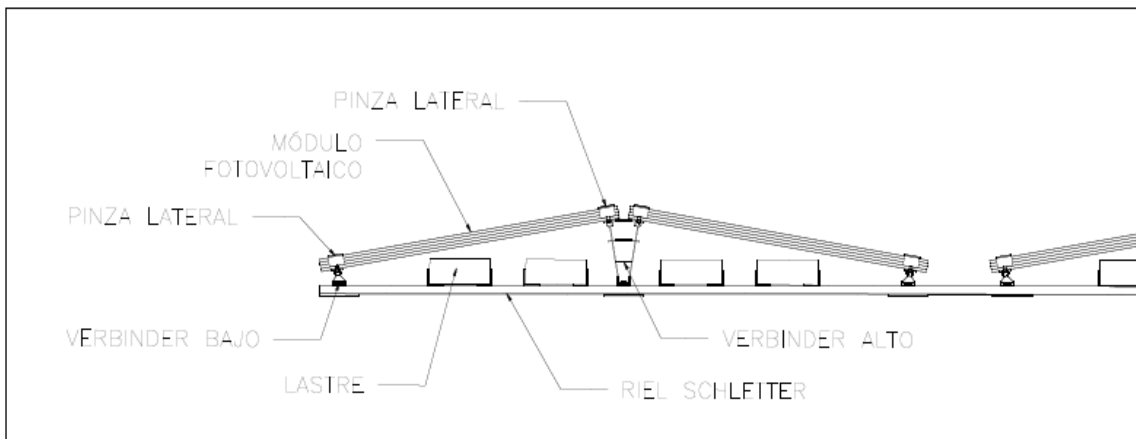
Detalle montaje sistema SFV – vista isométrica



¡Error! Marcador no definido.nota: (Tomado de rutas de cableado).

Figura 49.

Detalle montaje sistema SFV – vista isométrica



Nota: (Tomado de rutas de cableado).

Las evidencias de la instalación de los módulos fotovoltaicos se muestran a continuación

Figura 50.

Instalación de módulos lateral



Nota: (Tomada de visita técnica).

Figura 51.

Instalación de módulos



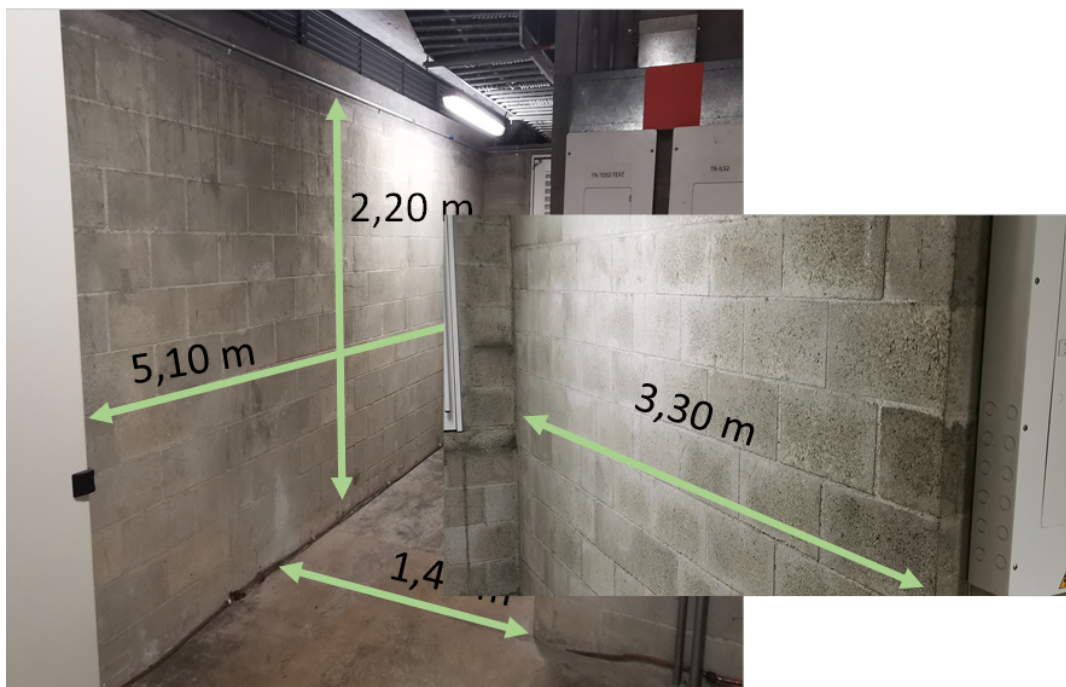
Nota: (Tomada de visita técnica).

4.1.8 Espacio para inversores, tablero agrupador y medida del sistema SFV

Cuando la salida de los arreglos fotovoltaicos llega a nivel de sótano (lugar donde se encuentra la subestación del cliente) la acometida sale por el buitrón eléctrico designado y se encuentra con el espacio donde se encuentran ubicados los inversores, tablero agrupador, medida y comunicación del SFV. La *Figura 52* muestra espacio en subestación para la ubicación de estos elementos y distancias tomadas en visita.

Figura 52.

Espacio para equipos



Nota: (Tomada de visita técnica).

4.2 Sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica

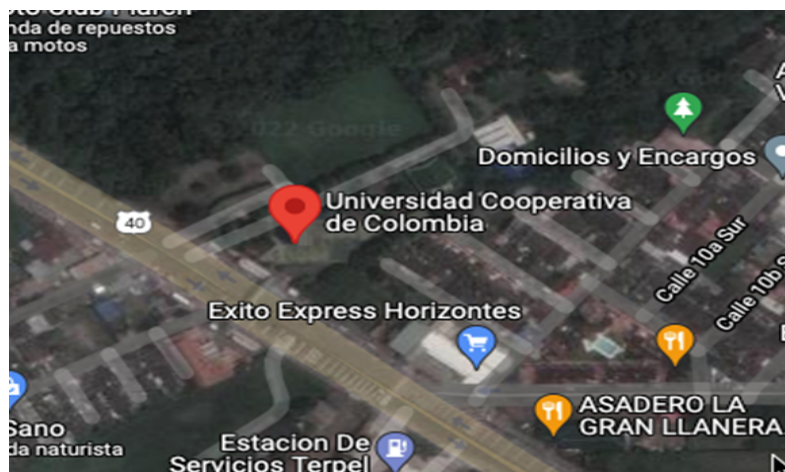
El proyecto se llevó a cabo en la Universidad Cooperativa de Colombia en el municipio de Villavicencio - Meta, con el fin de suministrar y sostener la energía eléctrica al laboratorio de ingeniería civil de esta universidad en la franja horaria de 6 pm a 10:30 pm; trabajo de grado que lleva como título “*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON POTENCIA ACTIVA DE 1 kW*”.

4.2.1 Ubicación del proyecto fotovoltaico

Por medio de Google Maps (*Figura 53*) se logra la ubicación exacta de la Universidad Cooperativa de Colombia para hacer el estudio del proyecto.

Figura 53.

Ubicación del laboratorio



Nota: (Tomado de Google Maps).

4.2.2 Datos geográficos del proyecto SFV

Mediante el GPS de la aplicación calculadora de energía solar, se tiene la información inmediata de radiación solar, que para el caso del laboratorio de civil de la Universidad Cooperativa de Colombia es de 4.39 kWh/día.

Tabla 18.

Datos geográficos [40].

DATOS PROYECTO SFV	
Latitud	4,1167
Longitud	-73,6088
Horas de sol diaria [kWh/día]	4,39
Altura sobre el nivel del mar [m]	391,2

4.2.3 Especificaciones técnicas de los módulos SFV

Del proyecto se toma las especificaciones de los módulos fotovoltaicos expuestas en la *Tabla 19.*

Tabla 19.

Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos [40].

Especificaciones módulos fotovoltaicos		
Ítem	Descripción	Unidad
1	Potencia Máxima	280 W

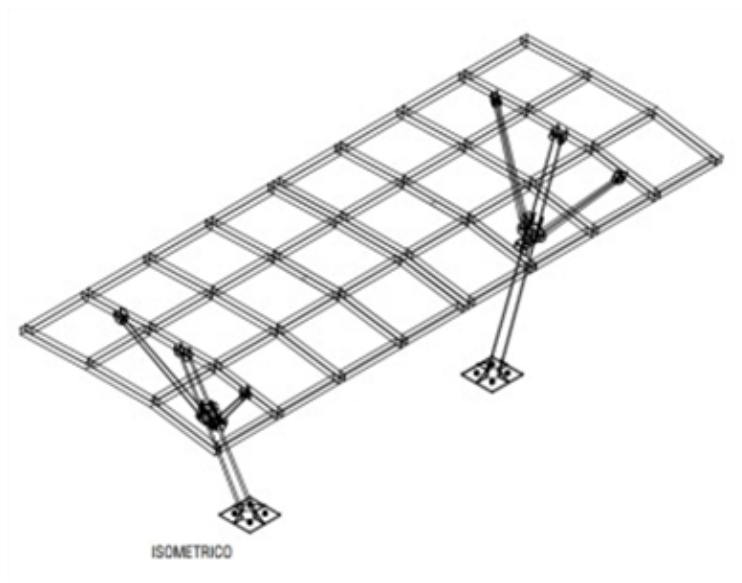
Especificaciones módulos fotovoltaicos		
2	Tensión de circuito abierto	22.50 V
3	Voltaje de Operación Óptima	18 V
4	Rango de tolerancia en tensión	0+5%
5	Dimensiones	195X99X4
6	Peso	20.5 kG
7	Vida útil	25 años
8	Tecnología	Policristalino

4.2.4 Instalación de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos están situados en estructura metálica sobre cubierta del laboratorio, con el fin de recibir la mayor irradiancia solar en el día. La estructura posee una inclinación de 15° con ubicación de los módulos hacia el sureste; a continuación, se muestra la estructura donde se instalan los módulos para el laboratorio de la universidad (ver *Figuras 54 y 55*).

Figura 54.

Estructura sistema SFV – vista isométrica [40].

**Figura 55.** *Estructura sistema SFV – vista lateral [40].*

Medidas de la estructura metálica instalada para soportar los módulos del proyecto SFV.

- Altura del piso a la estructura que soporta los paneles 1.50 m.
- Altura total de la estructura 1.75 m.
- Separación entre soportes 1.42 m.

- Brazos frontales 90 cm.
- Brazos laterales 1.38 m.
- Panel 1.95 m de largo y 99 cm de ancho.
- Soportes anclados a la pared de 5 cm con tornillos perforantes.

En las *Figuras 56 y 57* se evidencia la instalación de soportes para los módulos fotovoltaicos del SFV aislado de la red.

Figura 56.

Instalación de estructura metálica para módulos fotovoltaicos [40]



Figura 57.

Toma de medidas de los módulos fotovoltaicos antes de instalación [40].



Posteriormente de revisar si los módulos encajan en la estructura metálica instalada (*Figura 58*), se procede a instalar cuidadosamente uno por uno los módulos fotovoltaicos, para luego ser puestos en funcionamiento.

Figura 58.

Instalación de los módulos fotovoltaicos sobre estructura metálica [40].



Se toma las evidencias que hacen constar el perfecto estado del módulo fotovoltaico (*Figura 59*), y mediante una aplicación de celular se logra confirmar el ángulo de inclinación en el que quedaron los módulos fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica (*Figura 60*).

Figura 59.

Evidencia de estado del panel después de la instalación [40].



Figura 60.

Confirmación del ángulo de inclinación después de la instalación [40].



4.2.5 Componentes para la generación de energía eléctrica

Se ubica en un lugar estratégico los equipos (*Figura 61*) y la instalación de la red de cableado (*Figura 62*) para la generación de energía eléctrica. De tal forma que sean manipulados solo por el personal autorizado que disponga la Universidad Cooperativa de Colombia.

Figura 61.

Componentes para la generación de energía eléctrica [40].



Figura 62. *Sistema de cableado interno [40].*



4.2.6 Evidencias del funcionamiento del proyecto SFV

Se observa un lugar libre de obstáculos físicos para la instalación de los módulos fotovoltaicos (*Figura 63 y 64*).

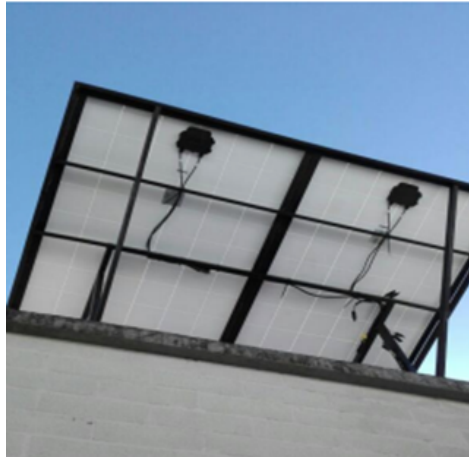
Figura 63.

Evidencia instalación módulos fotovoltaicos [40]



Figura 64.

Conexión de los módulos fotovoltaicos [40].



La energía generada por los módulos fotovoltaicos se logra evidenciar en la iluminación del laboratorio de civil de la Universidad Cooperativa de Colombia ubicada en la ciudad de Villavicencio (*Figura 65*), proyecto que cumple y satisface el objetivo de suministrar energía eléctrica en una franja horaria solicitada.

Figura 65.

Evidencias de funcionamiento del SFV [40].



5. Evaluación de Proyectos Solares Fotovoltaicos Implementados

Luego del desarrollo de la guía “verificación de las instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos (conectado y desconectado de la red)” y del descubrimiento de proyectos fotovoltaicos diseñados e implementados en el territorio colombiano (Capítulo 4), se implementa el modelo de evaluación observado en la Etapa 4 del Capítulo 3 del presente documento, con el objetivo de analizar criterios e indicadores que permitan un entendimiento objetivo y crítico sobre la instalación de sistemas solares fotovoltaicos.

Las tablas que se presentan a continuación (*Tabla 20 y 21*), están diseñadas de acuerdo con los requisitos reglamentarios, normativos y buenas prácticas anexadas a este documento (Capítulo 2).

Nomenclaturas para tener en cuenta en las *Tablas 20 y 21*:

CT	CP	NC	NE	NA
Cumplimiento total	Cumplimiento parcial	No cumplimiento	No específica	No aplica

5.1 Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Para la evaluación del proyecto SFV “Cámara de Comercio El Poblado – Medellín” se realiza la *Tabla 20* con comentarios y observaciones relacionadas a cada criterio encontrado a lo largo del documento.

Tabla 20.

Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
Requisitos reglamentarios y normativos de producto de las instalaciones solares fotovoltaicas						
Requerimientos según manual de fabricación del módulo a emplear		X				Teniendo en cuenta las normas de fabricación nombradas en la <i>Tabla 6</i> del presente documento, se identifica el cumplimiento de estándar IEC 61730 la cual establece los requisitos mínimos de diseño para garantizar la seguridad del producto durante su funcionamiento.
Módulos solares con garantía de 25 años de funcionamiento	X					Los módulos utilizados en este sistema SFV son de fabricante JA SOLAR, referencia JAM72S30-540MR (<i>anexo F</i>). Al momento de buscar el datasheet de dicha referencia, el fabricante especifica la garantía de 25 años de salida de potencia lineal.
Certificación y ensayos para módulos solares	X					El datasheet de la referencia a instalar en el sistema (<i>anexo F</i>), muestra el cumplimiento de diferentes certificados nombrados en la <i>Tabla 7</i> del presente documento; adicionalmente, posee certificados de sistemas de gestión de calidad, sistemas de gestión ambiental y sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.
Protecciones para módulos solares	X					En el presente documento se especifica la importancia que tienen las protecciones sobre los módulos solares (ítem 2.1.1(d)), la referencia de módulos que se utiliza en este sistema posee 3 diodos de protección y cajas de conexión mayor a IP65.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
Rotulado o etiquetado de módulos solares				X		Al momento de tener los módulos en el lugar, la persona encargada de la instalación debe revisar tanto el aspecto físico del módulo como el rotulado necesario con las especificaciones técnicas (nombradas en ítem 2.1.1(e) del presente documento).
Según manual de fabricante del inversor, requerimientos normativos y reglamentarios		X				El datasheet del inversor eléctrico marca Growatt (MAC 15-36KTL3-XL) utilizado en el sistema (<i>anexo G</i>), indica cumplimiento de algunas normas y estándares nombrados en el ítem 2.1.2(e) del presente documento.
Factor de eficiencia del inversor >90%	X					El inversor utilizado en el sistema SFV (<i>anexo G</i>), cumple con eficiencia máxima del 98.8% y eficiencia por MPPT del 99.9%
Según manual de fabricante de medidor, requerimientos normativos y reglamentarios				X		El cliente del proyecto SFV (Cámara de Comercio El Poblado) cuenta con medidor del operador de red (EPM). Para la instalación del sistema SFV, es necesario contar con la medida de energía en los cuatro cuadrantes y activar la función de bidireccionalidad del medidor.
Requerimientos normativos y reglamentarios para regulador de carga					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Protección dimensionada para el					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
regulador de carga del sistema						
Condiciones mínimas para los conductores y los terminales del regulador de carga (cobre y calibre <14AWG)					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Rotulado o etiquetado de regulador con información básica					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Requerimientos normativos y reglamentarios según el tipo de batería utilizada en el sistema					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Eficiencia de baterías en rango de 75% al 90%					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Requisitos reglamentarios y normativos para cables fotovoltaicos DC	X					La acometida DC del sistema FV está diseñada con cable 6 mm ² tipo FV 90°C XLPE, cuenta con las características principales de un cable fotovoltaico mostradas en la <i>Tabla 8</i> del presente documento (el tipo de cable utilizado se demuestra en anexo J).

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
Requerimientos reglamentarios y normativos para conductores AC del sistema FV	X					La acometida AC utilizada en el sistema SFV es conductor FREETOX LHFR-LS (libre de alógenos), cable que cumple para las instalaciones nombradas en la NTC 2050 y especifica el cumplimiento del estándar nombrado en el ítem 2.1.6 del presente documento.
Reglamentación para el tipo de canalización escogida	X					Como se muestra en las <i>Tabla 12</i> mostradas en el ítem 3.1.6, las canalizaciones en las cubiertas (intemperie) son tipo IMC como lo requiere los requisitos de producto para canalizaciones de sistemas SFV.
Requerimientos normativos y reglamentarios para la puesta a tierra de quipos y sistema				X		Dentro del documento (referencia 34) no se especifica como fue la conexión del sistema de puesta a tierra, sin embargo, en planos que se suministran al instalador hay notas que indican la conexión de este.
Buenas prácticas de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos						
Distancias de trabajo seguro en alturas para la instalación y mantenimiento del sistema	X					Para la simulación y ejecución del proyecto SFV (Cámara de Comercio El Poblado), se tiene presente lo descrito para el trabajo seguro en alturas (Resolución 4272 de 2021) (anexo I)
Soporte y fijaciones para los módulos solares del sistema	X					En las <i>Figuras 52 y 53</i> del presente documento se detalla el soporte que se utilizó para los módulos solares del proyecto (estructura este-oeste) y fijaciones necesarias para la misma.
Distancias de instalación mostradas	X					Dentro de los planos entregados a la persona encargada de la instalación del proyecto, se adicionan

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
en los planos del diseñador						distancias entre arreglos fotovoltaicos y distancias de seguridad para dicha instalación y mantenimiento.
Conexión de los arreglos fotovoltaicos sin obstáculos cercanos	X					En la simulación del proyecto se tiene en cuenta obstáculos en la cubierta para que no haya problema con la distancia requerida en la instalación de los arreglos fotovoltaicos.
Instalación adecuada del inversor según manual del fabricante				X		Dentro del documento (referencia 34) no se especifican las distancias para la instalación de los inversores; sin embargo, a la persona encargada se le entrega el manual del elemento que se utiliza en el sistema FV.
Lugar adecuado para la ubicación de inversores (sin obstáculos)	X					Según visita técnica, los inversores y tablero agrupador están dentro de la subestación eléctrica del cliente (<i>ver Figura 56</i>). Protegidos de radiación directa y demás factores que impidan su correcto funcionamiento.
Instalación adecuada del regulador de carga del sistema					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Lugar para la instalación de batería(s)					X	No aplica a sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
Marcado de acometidas DC y AC del sistema	X					Dentro del ítem 3.1.6 del presente documento en <i>las Tablas 12 y 13</i> , se especifican nombres de las acometidas DC y AC del sistema FV (etiquetado mostrado en anexo K)
Instalación de	X					Como se observa en las <i>Figuras 49, 50 y 51</i> del

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
canalizaciones en lugares fácilmente accesibles para su mantenimiento						presente documento, se tienen canalizaciones en cubierta de fácil acceso para el mantenimiento preventivo u obligatorio del sistema FV.
Conexión a tierra de todas las partes no energizadas del sistema SFV				X		Dentro del documento (referencia 34) no se especifican conexiones a tierra de elementos del sistema FV.
Instalación de los elementos del sistema SFV se instalan de acuerdo con el manual entregado por el fabricante	X					A la persona encargada de la instalación del sistema FV, se le entregan manuales de referencias escogidas para el proyecto.

Nota. Propia. Información tomada de [17] [33] y [39].

5.2 Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica

Se hace la evaluación del proyecto solar fotovoltaico "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON POTENCIA ACTIVA DE 1 KW" mediante modelo de evaluación, para conocer puntos fuertes y débiles de información que nos entrega el trabajo; de forma crítica y evaluativa se hace su respectivo comentario y/o observación en cada punto.

Tabla 21.

Modelo de evaluación del sistema solar fotovoltaico desconectado de la red eléctrica.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
Requisitos reglamentarios y normativos de producto de las instalaciones solares fotovoltaicas						
Requerimientos según manual de fabricación del módulo a emplear		X				El proyecto (referencia 35) nos da información respecto a la norma IEC-61730 de 2009 que los paneles fotovoltaicos deben cumplir. Pero no anexan información de requerimientos por parte del fabricante.
Módulos solares con garantía de 25 años de funcionamiento	X					Los paneles utilizados en el proyecto cumplen con su garantía de 25 años de funcionamiento.
Certificación y ensayos para módulos solares		X				Se le aplicaron pruebas de voltaje a los paneles solares para medir su capacidad de carga.
Protecciones para módulos solares				X		No se da información respecto a las protecciones de los módulos solares.
Rotulado o etiquetado de módulos solares				X		No se especifica de manera escrita el rotulado o etiquetado de módulos solares.
Según manual de fabricante del inversor, requerimientos normativos y reglamentarios			X			Al documento (referencia 35) se anexan las normas NTC 2183 de 2014 y NTC 5759 de 2010, no se da información de requerimientos por parte del fabricante.
Factor de eficiencia del inversor >90%				X		En el proyecto no especifica de manera directa la eficiencia del inversor.
Según manual de fabricante de medidor,					X	No necesita medidor el sistema SFV aislado dado que no inyecta energía a la red eléctrica.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
requerimientos normativos y reglamentarios						
Requerimientos normativos y reglamentarios para el regulador de carga		X				El proyecto nos da información respecto a la norma NTC 6016 de 2013 que los Reguladores de carga deben cumplir. Pero no anexan información de los requisitos que cumple el regulador instalado.
Protección dimensionada para el regulador de carga del sistema				X		No se da información respecto a la protección dimensionada para el regulador de carga.
Condiciones mínimas para los conductores y los terminales del regulador de carga (cobre y calibre <14AWG)				X		No se da información respecto a las condiciones mínimas para conductores y terminales del regulador de carga.
Rotulado o etiquetado de regulador con información básica				X		En el proyecto (referencia 35) no se da información respecto a las condiciones mínimas para conductores y terminales del regulador de carga.
Requerimientos normativos y reglamentarios según el tipo de batería utilizada		X				Se da información de la norma NTC 5287 de 2009, la cual nos da información necesaria para los requisitos de las baterías que se utilizan en los sistemas SFV.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
en el sistema						
Eficiencia de baterías en rango de 75% al 90%				X		No se da información detallada sobre las baterías.
Requisitos reglamentarios y normativos para cables fotovoltaicos DC				X		En el proyecto no se da información respecto a los requisitos reglamentarios para cable fotovoltaico DC.
Requerimientos reglamentarios y normativos para conductores AC del sistema SFV				X		En el proyecto no se da información respecto a los requisitos reglamentarios para cable fotovoltaico AC.
Reglamentación para el tipo de canalización escogida				X		No se logra identificar la reglamentación para la canalización escogida en el proyecto.
Requerimientos normativos y reglamentarios para la puesta a tierra de quipos y sistema				X		No se identifica los requerimientos normativos y reglamentarios para puesta a tierra de equipos.
Buenas prácticas de la instalación de sistemas solares fotovoltaicos						
Distancias de trabajo seguro en alturas para la instalación y el mantenimiento del sistema				X		Las distancias de trabajo seguro no se especifican en el proyecto.

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
Soporte y fijaciones para los módulos solares del sistema	X					En el proyecto (referencia 35) se encuentra estructura metálica que soporta los módulos solares fotovoltaicos (ver <i>Figuras 58 y 59</i>).
Distancias de instalación mostradas en los planos del diseñador				X		No se da información en el proyecto de las distancias de instalación.
Conexión de los arreglos fotovoltaicos sin obstáculos cercanos	X					De manera fotográfica se evidencia que la conexión del arreglo fotovoltaico no tiene obstáculos.
Instalación adecuada del inversor según manual del fabricante				X		No se da información detallada sobre la instalación del inversor.
Lugar adecuado para la ubicación de inversores (sin obstáculos)	X					Por medio de evidencia fotográfica se verifica que el inversor queda instalado en un lugar correcto, dado a las distancias de cableado y protección de radiación directa.
Instalación adecuada del regulador de carga del sistema				X		No se da información detallada sobre la instalación del regulador de carga.
Lugar para la instalación de batería(s)	X					Por evidencia fotográfica la batería queda instalada en un lugar seguro, sin estar a la intemperie.
Marcado de acometidas DC y AC del sistema				X		No se logra identificar el marcado de acometidas DC y AC del sistema.
Instalación de canalizaciones en	X					Por evidencia fotográfica la instalación de la canalización queda en un lugar accesible para su

CRITERIO	CT	CP	NC	NE	NA	OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS
lugares fácilmente accesibles para su mantenimiento						mantenimiento.
Conexión a tierra de todas las partes no energizadas del sistema SFV				X		No se logra identificar la conexión a tierra de las partes no energizadas del sistema SFV.
Instalación de los elementos del sistema SFV se instalan de acuerdo con el manual entregado por el fabricante				X		No se da información escrita sobre el manual de instalación entregado por el fabricante para el sistema SFV.

Nota: Propia. Información tomada de [17] [33] y [40].

6. Conclusiones

Este trabajo de grado tiene como finalidad el conocimiento parcial de las instalaciones eléctricas de sistemas solares fotovoltaicos; de modo que, se crea un mecanismo explicativo para los estudiantes que desean conocer desde principios teóricos y componentes, hasta requisitos reglamentarios y normativos que los rigen.

La guía metodológica desarrollada en el Capítulo 3 es de gran utilidad para el lector, ya que sus esquemas y tablas suelen ser de mayor interés en el aprendizaje relacionado con parte reglamentaria y normativa de instalaciones eléctricas de sistemas solares fotovoltaicos.

La información adjunta sobre reglamento y norma técnica es relevante a la hora de ejecutar y poner en marcha un proyecto de energía fotovoltaica; por ende, el modelo de evaluación realizado en el presente documento ayuda a verificar el cumplimiento de requisitos específicos de los elementos utilizados y la gestión adecuada de las instalaciones eléctricas de sistemas fotovoltaicos.

La revisión bibliográfica realizada durante la investigación y desarrollo de este documento ayudó a identificar requisitos para los componentes principales y secundarios de una instalación fotovoltaica. Se concluye que la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050), el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y estándares de gestión y calidad son de gran importancia para asegurar una buena instalación eléctrica de un sistema SFV conectado o desconectado de la red eléctrica.

7. Recomendaciones

Durante la evaluación de los proyectos no se identificó información sobre las buenas prácticas, es decir, instalación de los módulos fotovoltaicos, los inversores y las canalizaciones de los sistemas fotovoltaicos. Esto origina dudas sobre el montaje de los elementos fotovoltaicos y, por tanto, no se puede probar la correcta o incorrecta instalación de estos mismos. Ante esto es necesario adjuntar manual de instalación de componentes del sistema FV.

En el proyecto desconectado de la red, no hay información escrita sobre el fabricante de cada componente del sistema FV, es decir, no se anexa un informe sobre cada elemento y la reglamentación que cumple. Al diseñar y ejecutar un proyecto, es necesario identificar requisitos reglamentos y normativos que rigen los componentes fotovoltaicos a utilizar en la instalación.

Por último, al modelo de evaluación de los sistemas FV se puede adicionar a futuro parte reglamentaria y normativa para Autogeneración a Pequeña Escala (AGPE), Generación Distribuida (GD) y Autogeneración a Gran Escala (AGGE), según sea el proyecto para evaluar.

Referencias Bibliográficas

- [1] Congreso de Colombia, “Ley 1715 de 2014,” *D. Of.*, p. 104.2014.
- [2] CELSIA, *Todo Lo Que Debes Saber Sobre Energía Solar En Colombia - Celsia - Eficiencia Energética*, *eficienciaenergetica.celsia.com*, 2018.
- [3] La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas- J. Gómez, J. Murcia, I. Cabeza- Universidad Santo Tomás. Bogotá Colombia (LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS, 2015.
- [4] O. J. Ortiz Pérez and R. A. González castro, “Manual para la interpretación y aplicación RETIE en instalaciones eléctricas para condiciones especiales,” trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, facultad de ingenierías fisicomecánicas, Colombia, 2010.
- [5] H. A. Rodríguez Redondo and E. Jaimes Garcés, “Manual para interpretación y aplicación del RETIE basado en la NTC 2050 para instalaciones eléctricas,” trabajo de grado, Universidad Industrial de Santander, facultad de ingenierías fisicomecánicas, Colombia, 2009.
- [6] Tensión Eléctrica, Fundamentos y Consejos, 2018.
- [7] *Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica, Unidad 1, Introducción a la energía solar, Clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas*, 2020.
- [8] Curso Para Calificación Ocupacional-Nivel Operativo-INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Texto Base, 2013.
- [9] *Reglas Para La Autogeneración a Pequeña Escala, Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica, Comisión de Regulación de Energía y Gas*, 2018.

- [10] *CREG 135, apolo.creg.gov.co, República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Página 1, 02 SEP, 2021.*
- [11] *CREG173, grestornormativo.creg.gov.co, República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Página 1, 07 OCT, 2021.*
- [12] *CREG 148, apolo.creg.gov.co, República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, Página 14, 24 SEP, 2021.*
- [13] *Módulo Fotovoltaico EMS 330P | Intelbras, registrado según la ordenanza INMETRO n° 004/2011, 2015.*
- [14] M. A. Prada Guerrero and S. A. Prada Robles, “Estudio de Sistemas Fotovoltaicos Aislados de Pequeña Capacidad Instalada mediante el uso de Matlab/Simulink. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero electricista” Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Colombia, 2020.
- [15] Datasheet, MAC 10~20kTL3 – XL.
- [16] *Introducción a La Energía Fotovoltaica - Tecnología de Los Inversores Para Instalaciones Conectadas a La Red - Inversores Fotovoltaicos Para Instalaciones de Todos Los Tamaños| AROS Solar Technology, 2020.*
- [17] Norma Técnica Colombiana NTC 2050.
- [18] *Equipos Que Conforman Un Sistema Interconectado a La Red, cceea.co, Energía Solar Fotovoltaica, 2020.*
- [19] *Tablero Cofre Electrico Para Intemperie Rebra 60x40x25 | Envío Gratis, Inversiones FIE, 2021.*
- [20] *Conectores MC4 Paneles Solares - Electrosistemas - Energía Solar, electrosistemas.com, 2020.*

- [21] *Estructura Inclinada Soporte Placas Solares Regulable 20° - 35° Cubierta Chapa Metálica 13V* | TeknoSolar.Com, 2020.
- [22] *DPS DC Tipo 2 Para Aplicaciones Fotovoltaicas RETIE* | Suneo Innovative Energy For Life, Bogotá- Colombia, 2015.
- [23] *Cable Fotovoltaico 6 Mm2 Negro Para Paneles Solares- H1Z2Z2-K, KBE Solar DB EN 50618 H1Z2Z2-K 6,00mm2 CE, hecho en Alemania, 2019.*
- [24] *Qué Tener En Cuenta En La Instalación de Canalizaciones Eléctricas, Construcciones VALE, S.L., 2019.*
- [25] *Protocolo de Implementación de Puesta a Tierra En Pararrayos PDCE Sertec – SERTEC S.R.L.*
- [26] *2.4.- Puesta a Tierra de Las Instalaciones Solares Fotovoltaicas. | ISF06.- Diseño, Dimensionado y Selección de Componentes de Instalaciones Fotovoltaica.*
- [27] *Código Eléctrico Nacional NEC, Página 1150.*
- [28] *¿QUÉ ES UNA BATERÍA DE CICLO PROFUNDO?, crownbattery.com, Dec 6, 2019.*
- [29] *Procables a General Cable company, Cable Fotovoltaico, Bogotá D.C, 2018.*
- [30] *Código Eléctrico Colombiano- Segunda actualización, Página 779, Bogotá – Colombia, ICONTEC, 2020.*
- [31] *CONEXIÓN A TIERRA: ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA ?, jdelectricos.com, 2020*
- [32] *Instalación de Baterías Para Placas Solares Online* | Kitdeenergiasolar.Com, 2017.
- [33] *Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos, Chile, 2017.*
- [34] *Dudas Pequeña Instalación Fotovoltaica Aislada, solarweb.net, 01 ABRIL, 2014.*
- [35] *2.7.- Esquemas Generales de Una Instalación Fotovoltaica Puesta a Red. | ISF05.- Instalaciones Solares Fotovoltaicas Puestas a Red., ikastaroak.ulhi.net, 2018.*

- [36] *Qué Es Un Inversor Híbrido En Energía Solar - Blog de Energía Solar, Inversor híbrido, solarplak.es, Valencia, 2019.*
- [37] *Inversor Central FV (1500V), 3.125 MW - Chint Power Systems Latinoamérica, chintpowerlatinoamerica.com, Chint Solar México S. de R.L. de C.V. 2009-2021.*
- [38] *Revista ElectroIndustria - Responsabilidad de Los Instaladores Eléctricos Autorizados, emb.cl, La importancia de la formación, 2020.*
- [39] C. A. Jaramillo Lozano, “Cámara de Comercio el Poblado – Medellín. Informe de ingeniería de detalle sistema fotovoltaico” Proyecto fotovoltaico, CELSIA SA ESP, Colombia, noviembre 11, 2021.
- [40] A. M. Peña Gallo and D. A. Gutierrez Hernández and F. G. Caldas Lujan, “Diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica con potencia activa de 1kW. Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil” Trabajo de Grado, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería, Colombia, Villavicencio, 2017.
- [41] *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas, 2013.*
- [42] *Scopus Database: A Review, 2006*
- [43] L. Codina, “Scopus: el mayor navegador científico de la web,” *Investigación, Universidad Pompeu Fabra, Barcelona-España, 2005.*

Anexos

Anexo A. Antecedentes bibliográficos

Son documentos que ayudan a guiar la investigación que se lleva a cabo, proporcionados por diferentes fuentes bibliográficas. En este caso, se parte principalmente de la base de datos brindada por la universidad (Biblioteca virtual UIS) y de ahí se llega a conseguir diferentes fuentes bibliográficas tales como IEEE Xplore y Scopus. Estas dan a conocer el lugar, sitio web, o libro de donde se suministra información importante, aportando página exacta de donde ha sido recopilada.

Biblioteca virtual UIS

La primera fuente bibliográfica importante para el hallazgo de antecedentes al proyecto es la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander de forma virtual, cuenta con material bibliográfico actualizado en diferentes ramas del conocimiento. En este caso se buscan libros y trabajos de grado desarrollados anteriormente con relación a las instalaciones eléctricas en sistemas fotovoltaicos.

<i>Antecedentes biblioteca virtual UIS.</i>				
FUENTE	PALABRA CLAVE	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	REFERENCIA
<i>Biblioteca virtual UIS</i>	Sistemas fotovoltaicos	El abc de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos	Libro	G. Enrique Harper, México, 2011
	Sistemas	Instalaciones y sistemas	Libro	G. Enrique Harper,

<i>Antecedentes biblioteca virtual UIS.</i>				
FUENTE	PALABRA CLAVE	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	REFERENCIA
	fotovoltaicos	fotovoltaicos		México, 2014
	Sistemas fotovoltaicos	Instalaciones solares fotovoltaicas	Libro	M. C. Tobajas Vásquez, Colombia 2015
	Instalaciones eléctricas	Manual para la interpretación y aplicación RETIE en instalaciones eléctricas para condiciones especiales	Trabajo de grado	O. J. Ortiz Pérez and R. A. González Castro, Colombia, 2010
	Instalaciones eléctricas	Manual para interpretación y aplicación del RETIE basado en la NTC 2050 para instalaciones eléctricas	Trabajo de grado	H. A. Rodríguez Redondo and E. Jaimes Garcés, Colombia, 2009

Scopus

Es una base de datos bibliográfica sobre ciencias, tecnología, medicina y ciencias sociales, incluyendo artes y humanidades [42], La plataforma tecnológica es accesible por la web, desarrollada por *Elsevier* y con publicaciones desde 1966. Permite la consulta y el acceso a las referencias bibliográficas de 14.000 publicaciones científicas (peer-review) procedentes de 4.000 editoriales distintas y que, en total, proporciona acceso a unos 27 millones de referencias [43].

Antecedentes Scopus.				
FUENTE	PALABRA CLAVE	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	REFERENCIA
<i>Scopus</i>	Sistemas fotovoltaicos	Creando el camino para la sostenibilidad: inserción de fotovoltaica solar en el proyecto de transposición de São Francisco	Artículo	JCS. Galindo, MAV. Freitas, NF. da Silva, MG. Pereira and JMD. Ferreira, Brasil, 2020
	Paneles solares	Modelado y simulación de un sistema híbrido de paneles solares y aerogeneradores para el suministro de energía eléctrica autónoma a arquitecturas orgánicas	Artículo	D. Icaza, D. Borge, SP. Galindo and C. Flores, Ecuador, 2020
	Sistemas fotovoltaicos	Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes distribuidas de energía en la ciudad de Arica, Chile	Artículo	GD. Valdés, ER. Rodríguez, C. Miranda and J. Lillo, Chile, 2020
	Generación fotovoltaica	Análisis de impacto de una unidad de generación fotovoltaica distribuida en la calidad eléctrica de una propiedad rural	Artículo	SEA. Dos, LRA. Ferreira, AB. Almeida, RB. Otto and MG. Vendrame, Brasil, 2019
	Sistemas fotovoltaicos	Revisión de redes inteligentes: realidad en Colombia y expectativas	Documento de conferencia	J. García, S. Rivera and HR. Rodríguez, Colombia, 2019

Sistemas fotovoltaicos	Esfuerzos de electrificación rural basados en sistemas fotovoltaicos aislados en la Región Andina: Evaluación comparativa de su sostenibilidad	Artículo	S. Feron, RR. Cordero and F. Labbe, Chile, 2017
Sistemas fotovoltaicos	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red: identificación de parámetros con un procedimiento heurístico	Artículo	L. Fialho, R. Elício, VMF. Mendes, A. Estanqueiro and M. Collares, Portugal, 2015

IEEE Xplore

Base de datos bibliográficos *del Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Publica revistas con artículos desde 1988, conferencias y normas técnicas de la investigación científica y tecnológica más citada en áreas de Ingeniería eléctrica, electrónica, telecomunicaciones y ciencias de la computación.

Antecedentes IEEE Xplore.				
FUENTE	PALABRA CLAVE	TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	REFERENCIA
<i>IEEE Xplore</i>	Instalación, energía fotovoltaica	Diseño e instalación de sistemas de energía fotovoltaica seguros, duraderos y rentables	Documento de conferencia	Jhon C. Wiles, Waikoloa, HI, EE. UU, 2006
	Instalaciones	Cambios en el National Electrical	Documento de	Jhon C. Wiles and

Antecedentes IEEE Xplore.			
fotovoltaicas	Code® (NEC) para instalaciones fotovoltaicas	conferencia	Ward Bower, Waikoloa, HI, EE. UU, 2007
Sistemas fotovoltaicos	Práctica recomendada de IEEE para la instalación y mantenimiento de baterías de plomo-ácido para sistemas fotovoltaicos (PV)	Práctica	Editorial IEEE, 2020
Energía fotovoltaica	Técnicas de diseño de sistemas de almacenamiento de energía / fotovoltaica distribuida	Documento de conferencia	Z. Yang; Z. Chen; L. Guo; Y. Chen; X. Huang and Y. Wang, Sydney, Australia, 2017
Fotovoltaica	Dimensionamiento y funcionamiento de un sistema de batería fotovoltaica residencial: basado en reglas y tiempo real frente a optimización y previsión perfecta	Documento de conferencia	E. Sedano; J. Huete; J. de la Vega; S. Martín, Palermo, Italia, 2020
Sistemas fotovoltaicos	Dimensionamiento de componentes de sistemas fotovoltaicos para operación autónoma	Documento de conferencia	J. Masi; C. Nadeau and J. Smith, Nashville, TN, EE. UU, 2008

Otros documentos

Aparte de obtener información relevante en diferentes fuentes bibliográficas, es necesario contar con documentos técnicos para la solución de dicho proyecto de grado. Entre estos, las normas juegan un papel importante en las instalaciones eléctricas, normas que buscan salvaguardar las personas y los bienes contra riesgos que puedan surgir por el uso de la electricidad.

Los documentos más relevantes en las instalaciones eléctricas colombianas son:

Documentos importantes en instalaciones eléctricas colombianas		
TÍTULO	TIPO DE DOCUMENTO	DIFERENCIA
Código Eléctrico Nacional	Norma	Cumplimiento Obligatorio
Norma técnica colombiana (NTC 2050)	Norma	Cumplimiento opcional
Reglamento técnico en instalaciones eléctricas (RETIE)	Reglamento	Ley-obligatorio cumplimiento

Mientras se tiene la importancia en los documentos propios del territorio colombiano, también se torna indispensable la búsqueda y conocimiento del *National Electrical Code NEC* (Código Eléctrico Nacional). Documento con una extensa colección de artículos que garantizan la segura instalación de los equipos y el cableado eléctrico en los Estados Unidos (oficialmente es escrito en estados unidos sin embargo otros países lo han adoptado).

El código fue publicado originalmente en 1897, y ha sido actualizado en numerosas ocasiones, por lo general cada tres años. La versión más reciente es la edición 2020, con alrededor de 1000 páginas.

Anexo B. Normas necesarias para los módulos fotovoltaicos

IEC 61215 Para módulos fotovoltaicos terrestres de silicio cristalino.

IEC 61646 Para los módulos fotovoltaicos terrestres de película delgada.

IEC 61701 Prueba de corrosión en presencia de niebla salina; requisitos de los módulos FV en aire cargado de sal, para instalaciones en medios con alto grado de contaminación salina.

IEC 61727 Características funcionales de los sistemas fotovoltaicos de la interfase.

IEC 61730 Preparación de seguridad del módulo FV, partes 1 y 2; Calificación de la seguridad requisitos para la construcción y ensayos, incluyendo la protección de clase II.

IEC 62108 Cualificación del diseño y homologación. Módulos fotovoltaicos para radiación concentrada.

UL1703 Inspecciones de seguridad aplicada a los elementos fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV) para módulos y paneles FV con placa plana.

UL 61646 Cualificación del diseño y homologación para módulos de película delgada fotovoltaica terrestre (PV).

Para instalaciones en medios con alto grado de contaminación salina se debe cumplir:

IEC 61701 Prueba de corrosión en presencia de niebla salina.

ASTM E1524 Método de prueba por inmersión en agua salada y ensayo de corrosión en módulos fotovoltaicos para ambientes marinos).

UL 4703 para conductores.

UL 6703 para conectores.

Anexo C. Pruebas para módulos fotovoltaicos

Ensayo	Descripción	Norma ASTM	Norma IEC
Ensayo	Este ensayo tiene como propósito verificar si el módulo	ASTM E1462	IEC 61215
Aislamiento eléctrico	fotovoltaico está lo suficientemente aislado eléctricamente, con este propósito se determina la rigidez dieléctrica y se mide la resistencia de aislamiento.		IEC 61646
Ensayo de torsión	Este ensayo establece el método para detectar los defectos que puede sufrir un módulo al ser montado en una estructura soporte.	ASTM E1830	IEC 61215 IEC 61646
Ensayo de carga mecánica	Este ensayo establece el método para determinar la capacidad del módulo para soportar las cargas de viento. No se requiere hacer pruebas para soporte de nieve y de hielo.	ASTM E1830	IEC 61215 IEC 61646
Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta (UV)	Este ensayo establece un procedimiento para determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar la exposición a la radiación ultravioleta. Usualmente en longitudes de onda entre 200 a 400 nm.	ASTM E1596	IEC 61345
Ensayo de resistencia al impacto de golpes	Este ensayo establece el procedimiento para verificar el comportamiento del módulo fotovoltaico frente al impacto de granizo de tamaños comunes en Colombia (esfera de hielo no mayor de 25 mm de diámetro).	ASTM E1038	IEC 61721
Ensayo de calentamiento húmedo	Este ensayo establece el procedimiento para verificar la capacidad del módulo fotovoltaico de soportar los efectos de la humedad durante tiempo prolongado, (condición trópico húmedo).	ASTM E1171	IEC 61215 IEC 61646

Anexo D. Normas necesarias para los inversores eléctricos

IEC 62109-1 Seguridad de los convertidores de potencia para uso en sistemas de energía fotovoltaica – Parte 1.

IEC 62109-2 Seguridad de los convertidores de potencia para uso en sistemas de energía fotovoltaica – Parte 2.

IEC 61727 Características de la interface con la red en el punto de conexión.

UL 1741 Estándares para inversores, convertidores, controladores y equipos de sistemas de interconexión para su uso con fuentes de energía distribuida.

IEC 62116 Inversores fotovoltaicos para interconexión a la red - Procedimiento de prueba para medidas de prevención en condición de isla para inversores fotovoltaicos conectados a la red.

Anexo E. Requisitos del numeral 20.10.1 (a, b, c, f, h, i, j y k) del reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE

Los contactos macho (clavija) y hembra (tomacorriente) deben ser diseñados y fabricados de tal forma que garanticen una correcta conexión eléctrica y en condiciones de servicio no deben tener partes energizadas expuestas.

Los tomacorrientes deben ser contruidos de tal manera que no acepten una clavija con valores de tensión diferente o capacidad de corriente mayor a aquellas para las cuales fueron diseñados, pero a la vez deben aceptar clavijas de capacidades de corriente menores.

Los tomacorrientes deben ser fabricados con materiales que garanticen la permanencia de las características mecánicas, dieléctricas, térmicas y de flamabilidad del producto, sus componentes y accesorios, de modo que no exista la posibilidad de que como resultado del envejecimiento natural o del uso normal se altere su desempeño y se afecte la seguridad.

Las clavijas y tomacorrientes deben probarse con el hilo incandescentes a 650°C a las partes no portadoras de corriente y que dan protección contra contacto eléctrico, también aplica a los aros y marcos decorativos, igualmente, debe aplicarse la prueba de hilo incandescente a 850°C a las partes portadoras de corriente.

Los tomacorrientes polarizados y con polo a tierra, deben tener claramente identificados mediante letras, colores o símbolos, los terminales de neutro y tierra y son trifásicos los

terminales donde se conectan las fases también se deben marcar con letras. En los tomacorrientes monofásicos el terminal plano más corto debe ser el de la fase.

Los tomacorrientes deben realizar un número adecuado de ciclos de acuerdo con lo establecido en la norma técnica que les aplique, de modo que resistan sin desgaste excesivo u otro efecto perjudicial. Las tensiones mecánicas dieléctricas, térmicas y de flamabilidad que se presenten en su utilización normal.

Los tomacorrientes para uso general se deben especificar para capacidades nominales de 10, 15, 20, 30, 50, 60, 63 y 125A, a tensiones de 125, 150, 220 o 250V, con 2, 3 o 4 polos y conexión de puesta a tierra. Las partes conductoras de corriente deben tener la capacidad de transportar continuamente la corriente nominal señalada sin que alcance la mayor temperatura definida en 45°C con criterios de prueba de norma IEC o de 30°C bajo los criterios de prueba de norma UL.

Las partes destinadas a la conducción de corriente deben ser fabricadas en cobre o sus aleaciones, pero no en materiales ferrosos. Se exceptúan de este requisito los tornillos, remaches o similares destinados solamente a la fijación mecánica de componentes o apriete de cables y las partes no sometidas a desgaste.

Anexo F. Datasheet módulo fotovoltaico implementado en el sistema SFV conectado a la red eléctrica

DEEP BLUE 3.0

Mono 550W MBB Half-cell Module
JAM72S30 525-550/MR Genes

Introduction

Assembled with 118B PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.

- Higher output power
- Lower LCOE
- Less shading and lower resistive loss
- Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

Year	New linear power warranty (%)	Standard module linear power warranty (%)
1	20.3%	19.7%
5	19.7%	19.7%
10	19.1%	19.7%
15	18.5%	19.7%
20	17.9%	19.7%
25	17.3%	19.7%

■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval

CE, TÜV, ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, IEC TS 62941

Anexo G. Datasheet inversor fotovoltaico implementado en el sistema SFV conectado a la red eléctrica

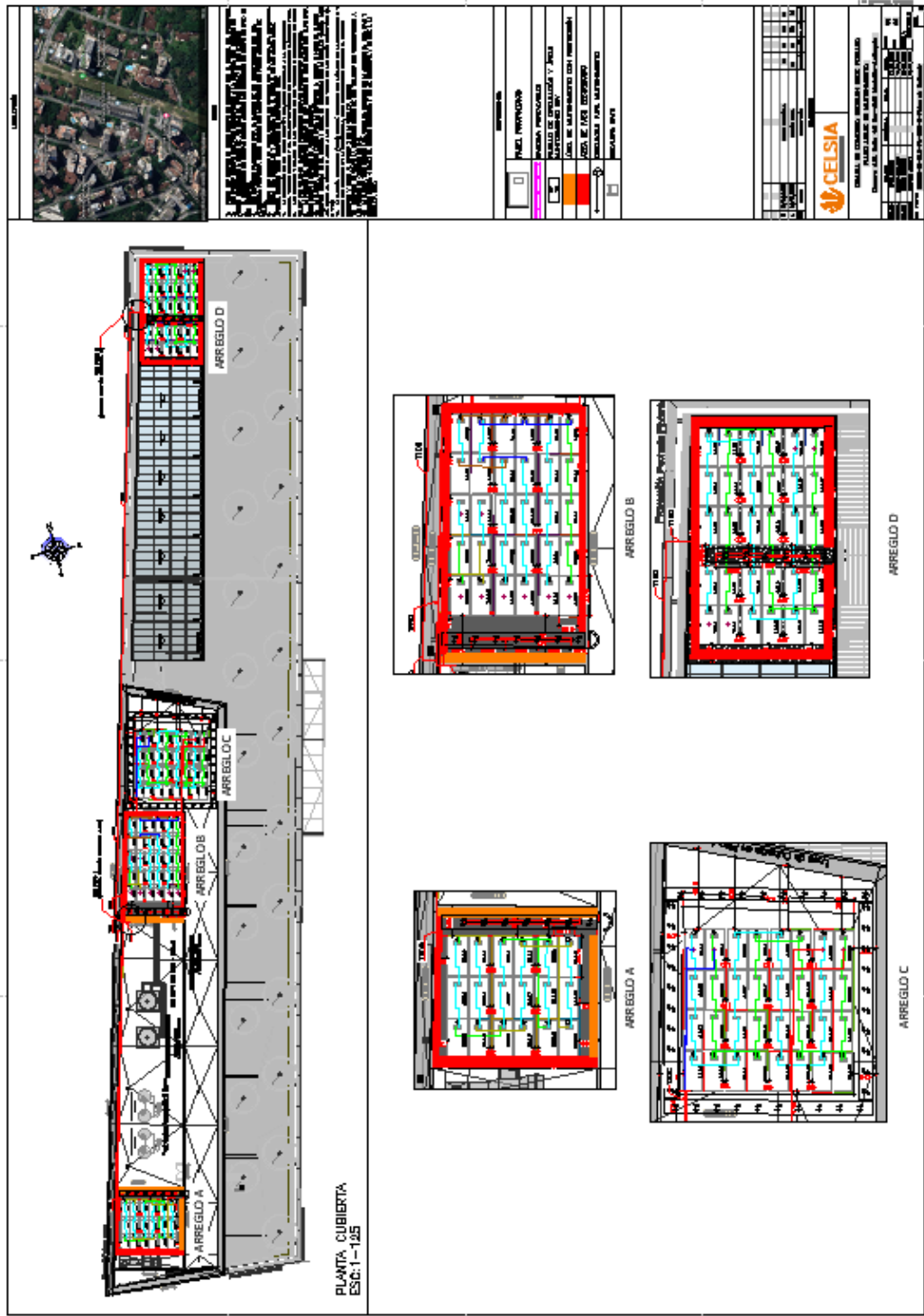
GROWATT · PRODUCTO

Hoja de datos	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	MAC 22KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	MAC 30KTL3-XL	MAC 36KTL3-XL
Datos de entrada (CD)						
Máxima potencia FV recomendada	19500W	26000W	28600W	32500W	39000W	46800W
Máximo voltaje CD	1100V					
Voltaje de arranque	250V					
Voltaje nominal	360V					
Rango de voltaje de MPPT	200V-1000V					
Número de MPPTs	3					
Número de cadenas fotovoltaicas por seguidores de MPP	4/4/4					
Max. corriente de entrada por rastreadores MPP	46A/46A/46A					
Max. corriente de cortocircuito por rastreadores MPP	50A/50A/50A					
Datos de salida (CA)						
Potencia nominal de CA	15000W	20000W	22000W	25000W	30000W	36000W
Max. potencia aparente de CA	16600VA@220VAC	22200VA@220VAC	24400VA@220VAC	27800VA@220VAC	33300VA@220VAC	36000VA@220VAC 39200VA@240VAC
Tensión nominal de CA (Rango)	127V/220V (101.6-139.7V)					
Frecuencia de la red de CA (Rango)	50/60Hz (46-54Hz/56-64Hz)					
Corriente nominal de salida de CA	39.4A	52.5A	57.7A	65.6A	78.8A	94.5A
Max. corriente de salida	43.6A	58.3A	64.0A	73.0A	87.4A	94.5A
Factor de potencia (potencia nominal)	>0.99					
Factor de potencia ajustable	0.8 adelantado ... 0.8 atrasado					
THDI	<3%					
Tipo de conexión a la red de CA	3L+N+PE					
Eficiencia						
Máxima eficiencia	98.8%					
Eficiencia europea	98.2%					
Eficiencia de MPPT	99.9%					

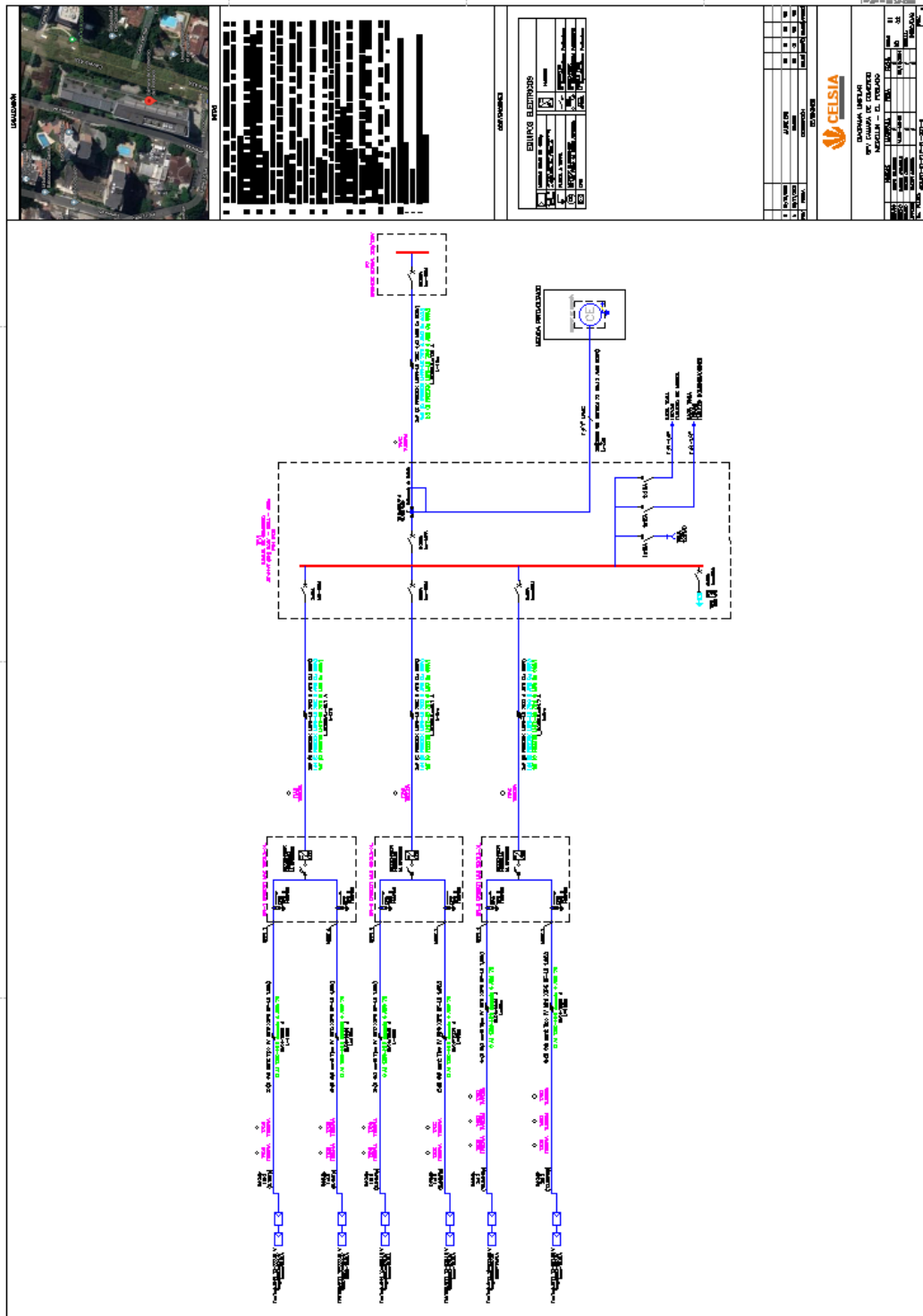
Información General	
Dimensiones	680/508/281mm
Peso	≤52kg
Rango de temperatura de funcionamiento	- 25°C ... +60°C (>45°C Derating)
Altitud	4000m
Consumo interno de noche	<1W
Topología	Sin transformador
Enfriamiento	Ventilador de refrigeración
Grado de protección electrónica	IP65
Humedad relativa	0-100%
Conexión DC	H4(OPT)
Conexión de corriente alterna	OF Terminal
Pantalla	OLED+LED/WIFI+APP
Interfaces:RS485/USB /WIFI/GPRS/4G	Si/Si/Opc/Opc/Opc
Garantía: 5 años/10 años	Si/Opc

EN 61000-3/6, EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 60068, IEC61683, IEC62116, IEC 61727,UL1741,IEEE1547

Anexo I. Áreas de mantenimiento para el proyecto fotovoltaico conectado a la red eléctrica



Anexo J. Diagrama unifilar para el proyecto fotovoltaico conectado a la red eléctrica



Anexo K. Etiquetado para el proyecto fotovoltaico conectado a la red

