

Mejoramiento de instalaciones eléctricas en el Laboratorio de Integración Energética del PTG-  
UIS

Andrés Camilo Cala Gómez y Juan Camilo Mulett Farfán

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

PhD. German Alfonso Pinto Osma

Codirector

PhD. María Alejandra Mantilla Villalobos

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2022

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander, por su excelente labor de formación, equipo de docentes e instalaciones que hicieron posible la culminación de esta etapa.

A mi director y codirector de proyecto, por su guía, consejo y recomendaciones, para llevar a cabo la realización de este proyecto.

A mi familia, por el apoyo incondicional y motivación, durante todo mi pregrado.

A todos los amigos y compañeros, por su acompañamiento, apoyo académico y emocional.

### **Dedicatoria**

A todos los familiares que me acompañaron durante este proceso, los cuales fueron de lo más importante, brindando su apoyo académico, emocional y económico. Agradecimiento especial a mi Madre, por su persistencia, consejo y amor. Hermana, por el cariño y la paciencia. A mi papa, por el afecto. Tíos, por su consejo y orientación. Y mis Abuelos, por la confianza depositada, apoyo incondicional y sabiduría; a quienes les debo gran parte de este logro y por los hoy puedo decir que he crecido como persona.

**Tabla de Contenido**

Introducción. ....14

1. Diagnóstico del sistema fotovoltaico conectado a la red (ON-GRID).....17

    1.1. Presentación del sistema fotovoltaico conectado a la red .....17

        1.1.1. Ubicación del SFV .....17

        1.1.2. Componentes del SFV .....18

        1.1.3. Ubicación de los componentes.....19

            1.1.3.1. Módulos Fotovoltaicos .....19

            1.1.3.2. Canalización y bandeja portacables. ....20

            1.1.3.3. Inversor central .....21

            1.1.3.4. Microinversores .....22

            1.1.3.5. Componentes complementarios.....23

    1.2. Metodología del diagnóstico del sistema .....24

        1.2.1. Identificación de los aspectos reglamentarios y normativos, establecidos en el Retie y la NTC 2050... .....26

        1.2.2. Identificación de buenas prácticas en instalaciones fotovoltaicas (ON-GRID).....27

        1.2.3. Reporte técnico.....28

        1.2.4. Inspección de la instalación fotovoltaica.....28

    1.3. Resultados del diagnóstico .....29

        1.3.1. Inspección visual .....29

        1.3.2. Inspección técnica .....30

1.3.2.1. Inspección termográfica de componentes .....	30
1.3.2.1.1. Paneles fotovoltaicos.....	30
1.3.2.1.2. Conectores y cajas de conexión.....	31
1.3.2.1.3. Microinversores .....	33
1.3.2.2. Curva I-V.....	33
1.3.2.3. Medición de THD.....	36
1.3.2.4. Curva de eficiencia.....	38
1.3.2.5. Funcionamiento del inversor central.....	40
1.3.3. Conclusiones .....	41
2. Identificación de las necesidades de docencia en investigación.....	42
2.1. Metodología para el establecimiento de las necesidades de docencia e investigación.....	43
2.1.1. Identificación de docentes .....	43
2.1.2. Formulación .....	43
2.1.3. Diseño de la encuesta .....	44
2.1.4. Resumen de las encuestas.....	45
2.1.5. Análisis de las encuestas.....	46
2.2. Requerimientos de docencia e investigación .....	47
2.2.1. Requerimientos generales.....	47
2.2.2. Elementos de protección y maniobra .....	48
2.2.3. Identificación de los componentes y representación de la instalación.....	48
2.2.4. Otros requerimientos .....	48
3. Rediseño de la instalación fotovoltaica conectada a la red (ON-GRID).....	49

3.1. Diseño actual de la instalación fotovoltaica.....	49
3.1.1. Diagrama Unifilar .....	50
3.2. Hallazgos del estado actual de la instalación .....	50
3.2.1. Aspectos negativos .....	50
3.2.2. Aspectos positivos.....	52
3.3. Propuesta técnica .....	54
3.3.1. Dimensionamiento paneles inversor central.....	54
3.3.2. Características del sistema .....	55
3.3.2.1. Sistema Inversor SunnyBoy .....	55
3.3.2.2. Sistema Microinversores Enphase. ....	62
3.3.3. Canalizaciones y bandejas portacables.....	68
3.3.4. Otras consideraciones.....	70
3.4. Cotización de los componentes .....	71
3.4.1. Resumen de los componentes .....	71
3.4.2. Nuevos componentes.....	72
4. Conclusiones .....	73
Referencias Bibliográficas.....	74
Apéndices.....	78

**Lista de Tablas**

Tabla 1. <i>Datos del proyecto fotovoltaico</i> .....	18
Tabla 2. <i>Aspectos reglamentarios y normativos</i> .....	26
Tabla 3. <i>Imágenes termográficas</i> .....	31
Tabla 4. <i>Identificación de necesidades docencia e investigación</i> .....	44
Tabla 5. <i>Aspectos negativos</i> .....	51
Tabla 6. <i>Aspectos positivos</i> .....	53
Tabla 7. <i>Características técnicas del inversor</i> .....	54
Tabla 8. <i>Selección de paneles</i> .....	55
Tabla 9. <i>Especificaciones del sistema inversor SunnyBoy</i> .....	56
Tabla 10. <i>Calibre del conductor DC</i> .....	57
Tabla 11. <i>Cálculo de regulación DC</i> .....	58
Tabla 12. <i>Código de colores DC</i> .....	58
Tabla 13. <i>Especificaciones SunnyBoy 4000 TL-US</i> .....	59
Tabla 14. <i>Cálculo del conductor AC</i> .....	59
Tabla 15. <i>Código de colores AC</i> .....	60
Tabla 16. <i>Protección DC</i> .....	61
Tabla 17. <i>Protección AC</i> .....	61
Tabla 18. <i>Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo Trinasolar)</i> .....	62
Tabla 19. <i>Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo upsolar)</i> .....	62
Tabla 20. <i>Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo kyocera)</i> .....	63
Tabla 21. <i>Calibre del conductor DC</i> .....	64
Tabla 22. <i>Código de colores DC</i> .....	64

Tabla 23. <i>Características del microinversor Enphase S280</i> .....	65
Tabla 24. <i>Calibre del conductor AC</i> .....	66
Tabla 25. <i>Cálculo de regulación del conductor AC</i> .....	66
Tabla 26. <i>Código de colores AC</i> .....	67
Tabla 27. <i>Protección AC</i> .....	68
Tabla 28. <i>Número máximo conductores canalización Exterior</i> .....	69
Tabla 29. <i>Número máximo conductores canalización Interior</i> .....	70
Tabla 30. <i>Identificación componentes presentes y nuevos</i> .....	71
Tabla 31. <i>Cotización de los componentes</i> .....	72
Tabla 32. <i>Definiciones</i> .....	79
Tabla 33. <i>Componentes principales de una instalación conectada a la red (On-Grid)</i> .....	82
Tabla 34. <i>Componentes de protección de una instalación On-grid</i> .....	84
Tabla 35. <i>Cableado y equipo de conexión en una instalación conectada a la red (On-Grid)</i> .....	86
Tabla 36. <i>Componentes complementarios de una instalación On-grid)</i> .....	87
Tabla 37. <i>Requisitos reglamentarios y normativos para las canalizaciones, en instalaciones fotovoltaicas conectada a la red</i> .....	94
Tabla 38. <i>Soporte del panel fotovoltaico</i> .....	95
Tabla 39 <i>Medidas recomendadas</i> .....	96
Tabla 40. <i>Encuesta María Alejandra Mantilla</i> .....	97
Tabla 41. <i>Encuesta Juan Manuel Rey</i> .....	100
Tabla 42. <i>Encuesta German Osma</i> .....	102
Tabla 43. <i>Contenido anexo Lab 308 PTG-UIS Actual</i> .....	106
Tabla 44. <i>Contenido anexo Lab 308 PTG-UIS Propuesta</i> .....	107

Tabla 45. <i>Nomenclatura</i> .....	109
Tabla 46. <i>RETIE Y NTC 2050</i> .....	109
Tabla 47. <i>Buenas prácticas</i> .....	113
Tabla 48. <i>Fichas técnicas y manuales anexos</i> .....	116

### Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación del SFV .....	18
Figura 2. Módulos fotovoltaicos y su ubicación.....	20
Figura 3. Canalización.....	21
Figura 4. Inversor central .....	22
Figura 5. Microinversores .....	23
Figura 6. Componentes complementarios .....	23
Figura 7. Metodología del diagnóstico del sistema .....	25
Figura 8. Buenas prácticas en instalaciones fotovoltaicas .....	28
Figura 9. Conectores y cajas de conexión .....	32
Figura 10. Temperatura de los elementos de los microinversores y el sistema DC .....	32
Figura 11. Inspección termográfica de los microinversores.....	33
Figura 12. Montaje para la Prueba I-V.....	34
Figura 13. Curva de cada panel FV.....	34
Figura 14. Curva I-V .....	35
Figura 15. Medición de THD .....	37
Figura 16. Curva de eficiencia Pwrcheck(in)-Envoy(out) .....	38
Figura 17. Curva de eficiencia Envoy(in/out) .....	39
Figura 18. Curva de eficiencia Pwecheck(in)-Fluke 1730(out).....	40
Figura 19. Funcionamiento del inversor central .....	41
Figura 20. Microrredes.....	46
Figura 21. Diagrama Unifilar .....	50

Figura 22. Instalación on-grid.....	78
Figura 23. Instalaciones fotovoltaicas.....	81
Figura 24. Panel FV .....	89
Figura 25. Protecciones eléctricas.....	91
Figura 26. Puesta a tierra.....	92
Figura 27. Diseño del sistema a tierra.....	93
Figura 28. Inversor .....	96
Figura 29. Resumen de encuestas .....	106

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Fundamentos de las instalaciones fotovoltaicas .....	78
Apéndice B. Encuestas .....	97
Apéndice C. Planos eléctricos .....	106
Apéndice D. Rubricas .....	109
Apéndice E. Fichas Técnicas, Manuales y base de dato fotográfica .....	116

## Resumen

**Título:** Mejoramiento de instalaciones eléctricas en el Laboratorio de Integración Energética del PTG-UIS\*.

**Autores:** Andrés Camilo Cala Gómez, Juan Camilo Mulett Farfan\*\*

**Palabras Clave:** Mejoramiento, Diseño, Diagnostico, Fotovoltaica, Instalación Eléctrica.

### Descripción:

Este trabajo de grado de investigación tiene como finalidad presentar una propuesta técnica para repotenciar la instalación eléctrica complementaria al sistema fotovoltaico ubicado en el Laboratorio de Integración Energética del PTG-UIS.

Inicialmente, se presenta la introducción, donde se expone el contexto actual de las instalaciones fotovoltaicas, sus aplicaciones, relación con la reglamentación y normativa actual en Colombia, resaltando la importancia de cumplimiento ya que en varias ocasiones se pasan por alto estas recomendaciones. A su vez se expone parte de la situación a la que se ve enfrentada el presente proyecto.

En este proyecto se realizó la presentación de la instalación actual, exponiendo la infraestructura y los componentes existentes, posteriormente se establecen los aspectos reglamentarios y normativos que debe cumplir la instalación eléctrica, los cuales permiten realizar el diagnóstico de la instalación eléctrica del PTG-UIS; además, se construyó una metodología para identificar las necesidades de docencia e investigación requeridas del sistema fotovoltaico.

Por último, se exponen aspectos técnicos y hallazgos del estado actual de la instalación, para posteriormente mostrar la propuesta técnica de acuerdo con los requerimientos reglamentarios, normativos y necesidades de docencia e investigación que se analizaron con anterioridad.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela E3T. Director German Alfonso Pinto Osma. Codirectora María Alejandra Mantilla Villalobos

### Abstract

**Title:** Improvement of the electrical installations in the PTG-UIS Energy Integration Laboratory\*.

**Authors:** Andrés Camilo Cala Gómez, Juan Camilo Mulett Farfan\*\*

**Keywords:** Improvement, Design, Diagnosis, Photovoltaic, Electrical Installation.

**Description:**

This research degree aims to present a technical proposal to repower the electrical installation complementary to the photovoltaic system located in the Energy Integration Laboratory of the PTG-UIS.

Initially, the introduction is presented, where the current context of photovoltaic installations, their applications, relationship with the regulations, and current regulations in Colombia, highlighting the importance of compliance since on several occasions these recommendations are overlooked.

In this project the presentation of the current installation was made, exposing the infrastructure and the existing components, later the regulatory and normative aspects that the electrical installation must comply with, which allow the diagnosis of the electrical installation of the PTG-UIS; in addition, a methodology is built to identify the teaching and research needs required of the photovoltaic system.

Finally, technical aspects and findings of the facility's current state are exposed, to show the technical proposal in accordance with the regulatory, normative requirements, teaching, and research needs that were previously analyzed.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of physical and mechanical engineering, E3T school. Director German Alfonso Pinto Osma. Co-director María Alejandra Mantilla Villalobos

## **Introducción**

Desde hace un tiempo, la industria energética está en la búsqueda de la reducción de la contaminación proveniente de las fuentes convencionales, las cuales utilizan gran cantidad de combustibles fósiles. Actualmente, el uso de las energías alternativas se ha intensificado fruto de la evolución de las tecnologías. Esto ha permitido un aumento en la eficiencia de los sistemas y una reducción en el costo de implementación. Un claro ejemplo son los sistemas fotovoltaicos porque su versatilidad permite su uso en grandes y pequeñas aplicaciones, incrementando su presencia a nivel mundial.

La aplicación en sistemas de conexión a la red (ON-GRID) facilita que los usuarios particulares opten por la instalación de estos sistemas, ya que la inversión a largo plazo trae beneficios económicos y medioambientales. Esto promueve que las personas puedan integrar la instalación de un sistema fotovoltaico en su casa o empresa, según disposiciones regulatorias para su uso y conexión a la red.

El cumplimiento de normativas y reglamentos es un aspecto de gran importancia para las instalaciones eléctricas, ya que éstos buscan garantizar el correcto funcionamiento y la disminución de riesgos que puedan afectar a personas, animales y componentes existentes en las instalaciones.

En Colombia, se estableció el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) en el año 2005, con el fin de establecer los requisitos mínimos para garantizar que una instalación se considere segura. Su incumplimiento puede ocasionar multas o acciones penales en caso de un accidente por su omisión. Por otra parte, también se cuenta con la NTC 2050 que brinda

lineamientos para el diseño de instalaciones eléctricas buscando el adecuado funcionamiento de éstas.

A pesar de que se cuentan con herramientas reglamentarias y normativas para establecer diseños de instalaciones eléctricas idóneas, es común encontrar instalaciones que no cumplen con algunas disposiciones, tal como el sistema fotovoltaico del Laboratorio 308 del Edificio de Investigaciones del Parque Tecnológico de Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander (PTG-UIS), en el cual se desarrollan actividades de docencia e investigación, especialmente en las áreas de electrónica de potencia y microrredes.

A partir de una reunión con usuarios del laboratorio y el desarrollo de estudios previos, se identificaron algunas falencias en la instalación (temporalmente en desuso) y la necesidad de repotenciar el sistema fotovoltaico conectado a la red con el fin de robustecer la operación de una microrred de laboratorio.

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo de grado tiene como objetivo realizar el diseño de la instalación fotovoltaica (PTG-UIS), a partir de la revisión del estado actual de la infraestructura existente y necesidades de docencia e investigación identificadas, considerando las disposiciones reglamentarias aplicables al caso. Los objetivos específicos que soportan este trabajo de grado son los siguientes:

Realizar un diagnóstico de los componentes del sistema fotovoltaico y la instalación eléctrica existente según pruebas de campo y disposiciones RETIE, respectivamente.

Establecer los requerimientos de docencia e investigación esperados del sistema fotovoltaico y su instalación eléctrica.

Realizar el rediseño de la instalación eléctrica complementaria.

## **1. Diagnóstico del sistema fotovoltaico conectado a la red (ON-GRID)**

Para realizar el mejoramiento de una instalación eléctrica se debe diagnosticar su estado, con el fin de identificar la existencia de falencias en sus componentes, además de las desviaciones o el incumplimiento del RETIE y la NTC 2050. Este capítulo expone el diagnóstico realizado a la instalación fotovoltaica PTG-UIS; primero, se realiza la presentación del sistema donde se exponen los datos generales y la ubicación de los componentes de la instalación; posteriormente, se desarrolla la metodología del diagnóstico y, finalmente, se sintetizan los resultados.

### **1.1. Presentación del sistema fotovoltaico conectado a la red**

La instalación fotovoltaica denominada PTG-UIS es del tipo conectada a la red (ON-GRID), por lo cual permite el intercambio bidireccional de energía eléctrica; es decir, además de alimentar las cargas presentes en el laboratorio, se puede entregar energía a la red eléctrica. El Apéndice A amplía la información sobre este tipo de instalaciones. Esta instalación eléctrica tiene como objetivo principal el apoyo a las actividades de docencia e investigación en el campo de la ingeniería, que se realizan en laboratorio.

#### ***1.1.1. Ubicación del SFV***

La instalación fotovoltaica se encuentra en el Laboratorio 308 del Parque Tecnológico de Guatiguará (PTG), el cual pertenece a la Universidad Industrial de Santander (UIS), ubicado en el municipio de Piedecuesta como ilustra la Figura 1, además, en la Tabla 1 se muestran los datos del proyecto fotovoltaico.

**Figura 1.**

*Ubicación del SFV*



*Nota.* Imagen tomada de Google Earth

**Tabla 1.**

*Datos del proyecto fotovoltaico*

Datos proyecto fotovoltaico	
Latitud	6.99°
Longitud	-73.006°
Altura sobre el nivel del mar	959 [m]

**1.1.2. Componentes del SFV**

Los sistemas fotovoltaicos ON-GRID están compuestos por varios elementos, estos pueden tener funciones tales como: protección del sistema, conducción de energía eléctrica y transformación de la energía solar en eléctrica. A continuación, se presentan los componentes de la instalación fotovoltaica PTG-UIS:

- |                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Módulos fotovoltaicos          | 8. Analizador de redes (enphase)     |
| 2. Inversor Central (Sunny Boy)   | 9. Conectores MC4                    |
| 3. Microinversores (Enphase S280) | 10. Tablero general                  |
| 4. Conductores AC                 | 11. Seccionador DC (DC-Discon 2TLUS) |
| 5. Conductores DC                 | 12. Estructura de soporte            |
| 6. Fusibles DC                    | 13. Totalizador (Schneider-dom A61)  |
| 7. Interruptor termomagnético     | 14. Canalización                     |

### ***1.1.3. Ubicación de los componentes***

**1.1.3.1. Módulos Fotovoltaicos.** Los módulos están ubicados en la terraza de un edificio, en el que se encuentra el Laboratorio 308 de Integración Energética con un área total de 37m<sup>2</sup>, el acceso a los módulos se hace a través de una escalera tal como se observa en la Figura 2. El sistema cuenta con 10 módulos fotovoltaicos de los siguientes modelos que ocupan un total de 16.2m<sup>2</sup>:

1. 6 módulos UP-M250P, de potencia nominal igual a 250 [W].
2. 3 módulos fotovoltaicos TSM-255PC05A, de potencia nominal igual 255 [W]
3. 1 modulo fotovoltaico KD240GX-LFB, de potencia nominal igual a 240 [W]

**Figura 2.***Módulos fotovoltaicos y su ubicación*

**1.1.3.2. Canalización y bandeja portacables.** La canalización protege los conductores eléctricos que constituyen la acometida, su extensión va desde la terraza del edificio, hasta el Laboratorio 308 de Integración Energética; además, la canalización es del tipo IMC  $\frac{3}{4}$  “que se caracteriza por su resistencia a la corrosión y a los daños mecánicos, las cuales contienen un grupo de 24 conductores AWG #12 divididos en 4 tuberías, la Figura 3 muestra la canalización. Por otra parte, al interior del laboratorio 308 tenemos bandejas portacables de 40x5cm, las cuales sostienen los conductores actuales de la instalación.

**Figura 3.***Canalización*

**1.1.3.3. Inversor central.** El inversor central de la marca Sunny Boy ocupa un espacio del Laboratorio 308 de Integración Energética, tal como se muestra en la Figura 4, este componente se caracteriza por ser bifásico; además, presenta los siguientes valores nominales:

1. Tensión nominal (AC) de 208/240 [V]
2. Frecuencia nominal de 60 [Hz]
3. Potencia nominal (AC) de 4000 [W]
4. Corriente nominal (AC) de 20 [A]

La siguiente figura muestra el inversor central, junto con un seccionador y el dispositivo ENVOY.

**Figura 4.***Inversor central*

**1.1.3.4. Microinversores.** En el laboratorio, existen nueve microinversores de la marca Enphase S280, los cuales se muestran en la Figura 5, estos elementos actualmente están conectados a los módulos fotovoltaicos, ubicados en la terraza del edificio. Los valores nominales de cada microinversor son los siguientes:

1. Tensión nominal (AC) de 240 [V]
2. Corriente nominal (AC) de 1.13 [A]
3. Frecuencia nominal de 60 [Hz]
4. Potencia nominal (AC) de 270 [W]

**Figura 5.***Microinversores*

**1.1.3.5. Componentes complementarios.** En el Laboratorio 308 se encuentra el tablero general de instalación fotovoltaica, el cual se muestra en la Figura 6; igualmente, en este recinto se llevan a cabo actividades relacionadas con electrónica de potencia, por lo cual es común encontrar otros elementos eléctricos que no forman parte de la instalación.

**Figura 6.***Componentes complementarios*

## **1.2. Metodología del diagnóstico del sistema**

La metodología del diagnóstico del sistema fotovoltaico conectado a la red busca establecer los procedimientos que se deben realizar para identificar el cumplimiento de reglamentos, normas y buenas prácticas en la instalación fotovoltaica del PTG-UIS. Esta metodología se soporta en 4 pilares los cuales son:

1. Identificación de los aspectos reglamentarios y normativos, establecidos en el Retie y la NTC 2050, que aplican a las instalaciones fotovoltaicas ON-GRID.
2. Identificación de buenas prácticas en instalaciones fotovoltaicas ON-GRID.
3. Inspección de la instalación fotovoltaica, la cual está conformada por inspección visual y pruebas técnicas a inversores y panel fotovoltaico.
4. Reporte técnico.

La Figura 7 ilustra la estructura de la metodología del diagnóstico del sistema.

**Figura 7.**

*Metodología del diagnóstico del sistema*



**1.2.1. Identificación de los aspectos reglamentarios y normativos, establecidos en el Retie y la NTC 2050**

En esta etapa se identificaron los requerimientos exigidos por el RETIE y la NTC 2050 en instalaciones fotovoltaicas ON-GRID, para lograr este objetivo se revisó a detalle el RETIE por ser de obligatorio cumplimiento. En éste se encontraron lineamientos para algunos de los componentes de la instalación, además de establecer el cumplimiento de secciones de la NTC 2050 relacionadas con sistemas fotovoltaicos, tales como la Sección 690.

El Apéndice A muestra a detalle los requerimientos identificados de cada uno de los componentes; de acuerdo con el RETIE y la NTC 2050. Los requerimientos mencionados, se sintetizan en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

*Aspectos reglamentarios y normativos*

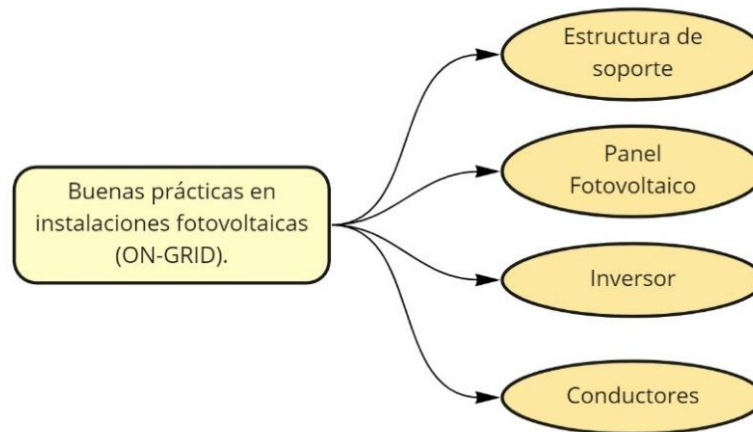
<b>Componente</b>	<b>Requisito</b>	<b>Descripción</b>
Módulo fotovoltaico	NTC 250-Sección 690.51	Rotulado
Protecciones	NTC 2050-Sección 690-18	Desactivación de conjunto
	NTC 2050-Sección 690-52	Rotulado Medio de desconexión de la fuente fotovoltaica
	NTC 2050-Sección 690-13	Verificar presencia de medios de desconexión para cada uno de los conductores portadores de corriente
	NTC 2050-Sección 690-14	A los medios de desconexión fotovoltaica se les aplica la Sección 230 Parte F(Equipo de acometida-Medios de desconexión).
	NTC 2050-Sección 690-15	Desconexión de equipos fotovoltaicos
	NTC 2050-Sección 690-9	Protección contra sobrecorriente.
	NTC 2050-Sección 690-17	Interruptores o interruptores automáticos
	NTC 2050-Sección 690-5	Detección e interrupción de fallas a tierra
	NTC 2050-Sección 690-16	Fusibles
	NTC 2050-Sección 685-10	Ubicación de dispositivos de protección contra sobrecorriente críticos ubicados en lugares accesibles

Componente	Requisito	Descripción
Puesta a tierra	NTC 2050-Sección 685-2	Aplicación de otras secciones
	RETIE -Artículo 15	Sistemas de puesta a tierra
	NTC 2050-Sección 690-43	Identificar puestas a tierra de partes metálicas expuestas no energizadas.
	NTC 2050-Sección 690-42	Verificar la ubicación del punto de conexión a tierra, la cual debe ir ubicada en cualquier punto de salida fotovoltaico.
	NTC 2050-Sección 690-41	Verificar que el conductor de fase y neutro estén sólidamente puestos a tierra
Canalización	NTC 2050-Sección 400-14	Protección contra daños: uso de accesorios o pasacables
	NTC 2050-Sección 300-6	Protección contra la corrosión.
	Retie-Artículo 20.6.1.2 a)	No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a luz solar directa, si no están certificados para ser utilizadas en tales condiciones.
	RETIE-Artículo 20.3	Bandeja portacables
	RETIE-Artículo 20.6 a)	Las partes de canalizaciones que estén expuestas o a la vista, deben marcarse en franjas de color naranja de al menos 10 cm de anchas para distinguirlas de otros usos

### ***1.2.2. Identificación de buenas prácticas en instalaciones fotovoltaicas (ON-GRID)***

Esta fase tiene como finalidad reconocer los aspectos adicionales para tener en cuenta en una instalación fotovoltaica ON-GRID segura y confiable. Para su desarrollo se consultaron fuentes externas al RETIE, tales como la norma IEC, publicaciones relacionadas con el mantenimiento en este tipo de sistemas, webinars, entre otros. En estos documentos se encontraron recomendaciones de instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, los cuales colaboraron en la construcción de una base más sólida de diagnóstico.

Con el propósito de abarcar los temas que no están descritos en el RETIE y la NTC2050, se desarrollan dichos temas en el Apéndice A y se sintetizan de la siguiente manera:

**Figura 8.***Buenas prácticas en instalaciones fotovoltaicas***1.2.3. Reporte técnico**

A partir de los aspectos normativos, reglamentarios y de buenas prácticas, identificados en las secciones 1.2.1 y 1.2.2, se construyeron dos rubricas que permitieron evaluar el cumplimiento de los aspectos mencionados en la instalación fotovoltaica del PTG-UIS, las cuales se muestran en el Apéndice D.

**1.2.4. Inspección de la instalación fotovoltaica**

En esta etapa se contemplan las metodologías de inspección utilizadas y el proceso para recopilar los datos necesarios presentes en la instalación física del laboratorio, con el fin de desarrollar el diagnóstico del sistema.

Una vez realizada la lista de aspectos reglamentarios, normativos y buenas prácticas, se clasificaron los ítems según la metodología de inspección, tales como inspección visual e inspección técnica. Como se contemplan en las rubricas del Apéndice D.

Metodologías de diagnóstico:

Inspección visual: Método por el cual se identifican las características superficiales o cualitativas del conjunto y/o elementos pertenecientes a la instalación fotovoltaica, guardando registro fotográfico, para así cotejar los resultados con los parámetros establecidos en los ítems 1.2.1 y 1.2.2.

Inspección técnica: Método para identificar parámetros cuantitativos mediante el uso de equipos especializados de medición, tales como multímetro, analizador, registradores de calidad de energía y cámara termográfica, para así cotejar los resultados con los parámetros establecidos en los ítems 1.2.1 y 1.2.2, así como en las fichas técnicas de los equipos del sistema.

### **Proceso de inspección:**

Para desarrollar de forma más eficiente la inspección, se dividió el proceso en dos partes, tomando en cuenta las metodologías a utilizar antes expuestas.

## **1.3. Resultados del diagnóstico**

### ***1.3.1. Inspección visual***

A través del mecanismo de inspección visual se encontraron varias desviaciones de la instalación eléctrica, con respecto a RETIE y la NTC 2050; además, de incumplir con algunas de las buenas prácticas recomendadas, tal como se muestra en Apéndice D, el cual expone a detalle los aspectos evaluados y el grado de cumplimiento de la instalación eléctrica.

1. Incumplimiento del código de colores establecido en RETIE
2. Ausencia de rotulado en varios componentes
3. Ausencia del sistema de puesta a tierra
4. Cableado desorganizado, en el sistema de DC y AC
5. Manchas y suciedad en los módulos fotovoltaicos
6. Ubicación incorrecta de los micro inversores

7. Conectores en mal estado.

8. Ausencia de barreras que impidan el acceso a las protecciones eléctricas, a personas no autorizadas.

9. Ausencia de algunos de los medios de desconexión

### **1.3.2. Inspección técnica**

La inspección técnica se dividió en tres partes, las cuales son: Curvas I-V, inspección de elementos con cámara termográfica, medición de THD y curva de eficiencia de un microinversor, y funcionamiento de inversor central.

#### **1.3.2.1. Inspección termográfica de componentes**

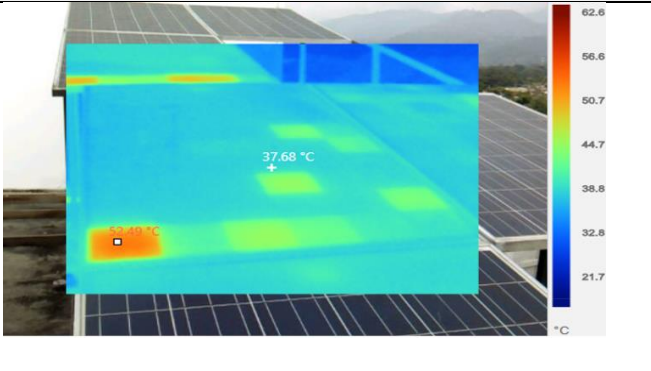
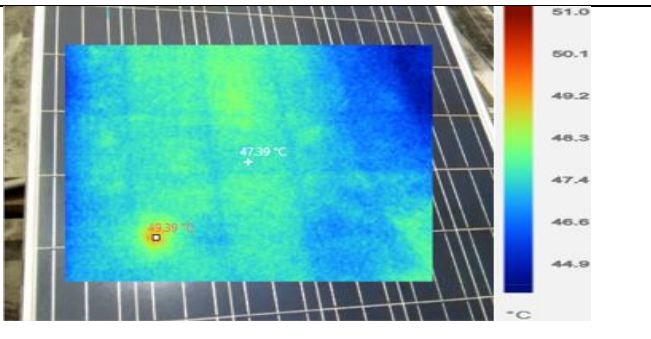
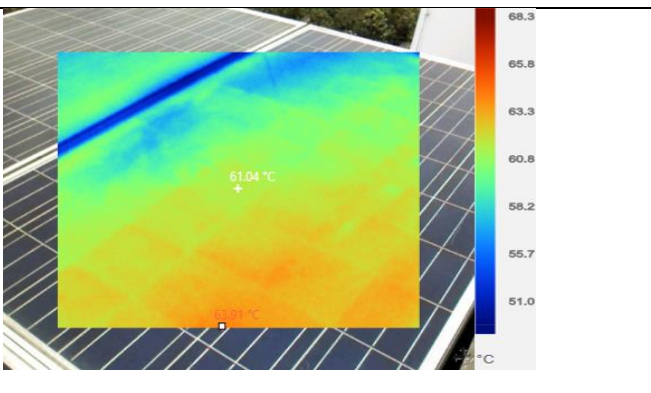
Los micro inversores, paneles fotovoltaicos y conectores, fueron los elementos inspeccionados con cámara termográfica, los resultados se muestran a continuación.

**1.3.2.1.1. Paneles fotovoltaicos.** La prueba con cámara termográfica se realizó para tres diferentes condiciones de operación, operación normal, circuito abierto y cortocircuito, en las dos primeras condiciones se observaron puntos que estaban entre 1 y 3 °C por encima del promedio, estos valores no sugieren anomalías de consideración.

Por el contrario, al realizar la prueba de cortocircuito algunas de las celdas fotovoltaicas de todos los módulos presentaron temperatura de aproximadamente 10 °C por encima del promedio, lo cual indica la presencia de puntos calientes. A continuación, se muestran imágenes termográficas, para diferentes condiciones de operación de los módulos fotovoltaicos.

**Tabla 3.**

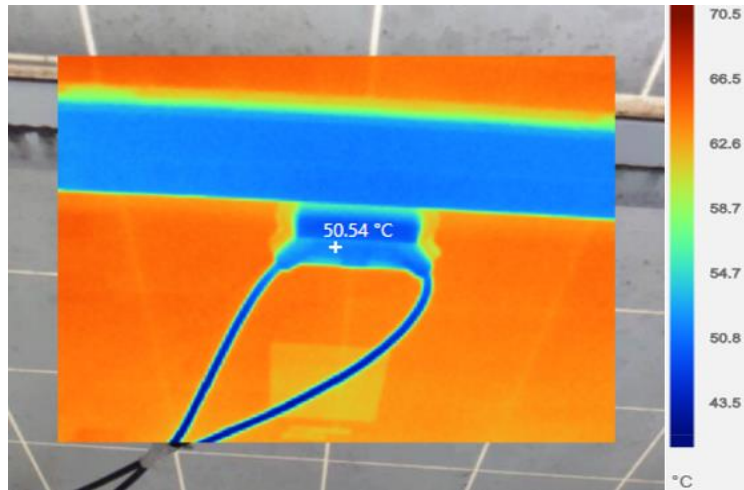
*Imágenes termográficas*

Descripción	Imagen
Imagen termográfica en condición de cortocircuito	
Imagen termográfica en condición de operación normal	
Imagen termográfica en condición de circuito abierto	

**1.3.2.1.2. Conectores y cajas de conexión.** Los conectores y cajas de conexión de los paneles fotovoltaicos no presentan anomalías ni puntos calientes, como se puede evidenciar en la Figura 9.

**Figura 9.**

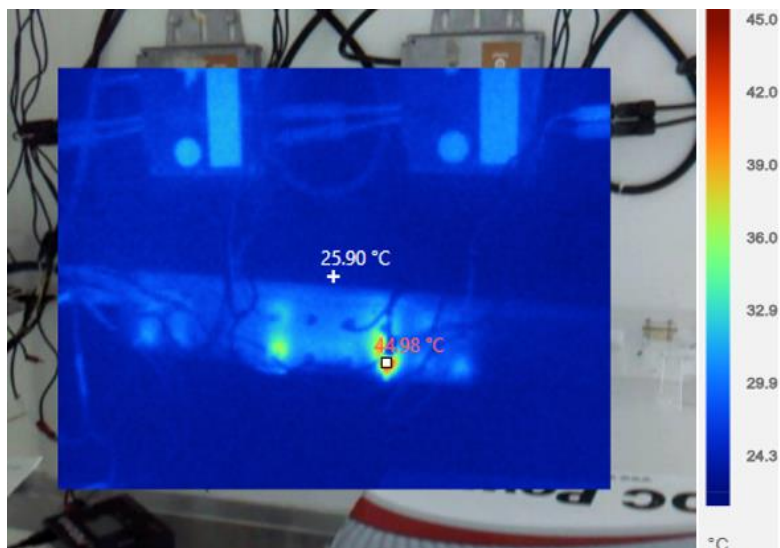
*Conectores y cajas de conexión*



Algunos de los elementos que conectan a los microinversores con el sistema DC, presentan temperatura de hasta 15 °C por encima de conectores que cumplen la misma función, como se evidencia en la Figura 10.

**Figura 10.**

*Temperatura de los elementos de los microinversores y el sistema DC*

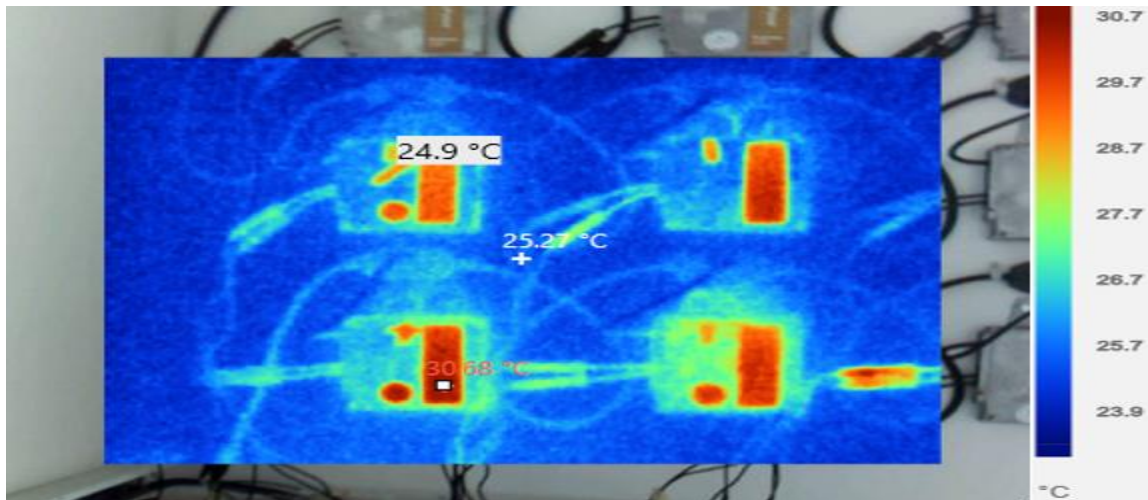


### 1.3.2.1.3. Microinversores

A través de las imágenes termográficas realizadas a los microinversores, se logró establecer que estos elementos no presentan puntos calientes u otras anomalías térmicas.

#### Figura 11.

*Inspección termográfica de los microinversores*



**1.3.2.2. Curva I-V.** Los valores de tensión y corriente con los cuales se construyeron las gráficas I-V, se obtuvieron haciendo uso del medidor PWRcheck y los elementos que se muestran en la Figura 12. La Figura 13 muestra la curva de cada panel FV y el valor de irradiancia; además, se puede observar que la curva está incompleta para la mayoría de los paneles FV, esto se debe a las limitaciones de los reóstatos disponibles, los cuales no permitían que la tensión se aproximara a 0.

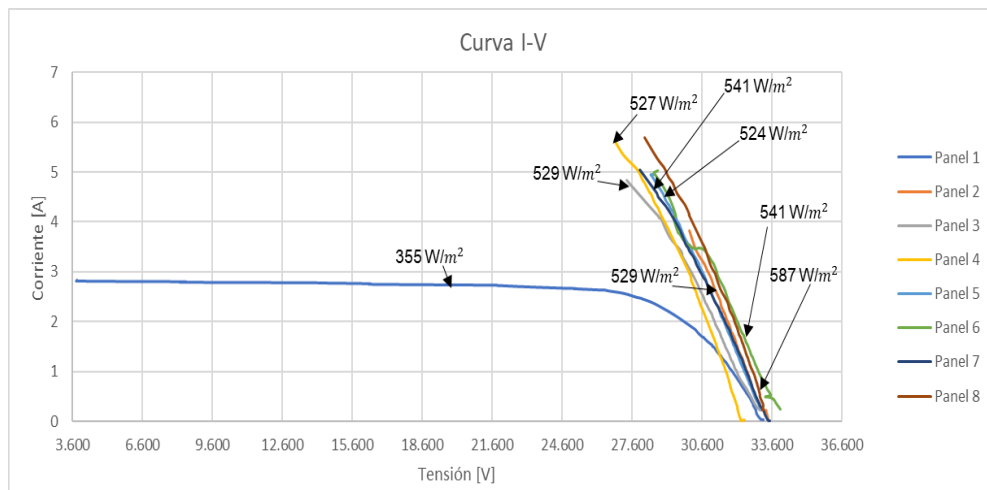
**Figura 12.**

*Montaje para la Prueba I-V*



**Figura 13.**

*Curva de cada panel FV*

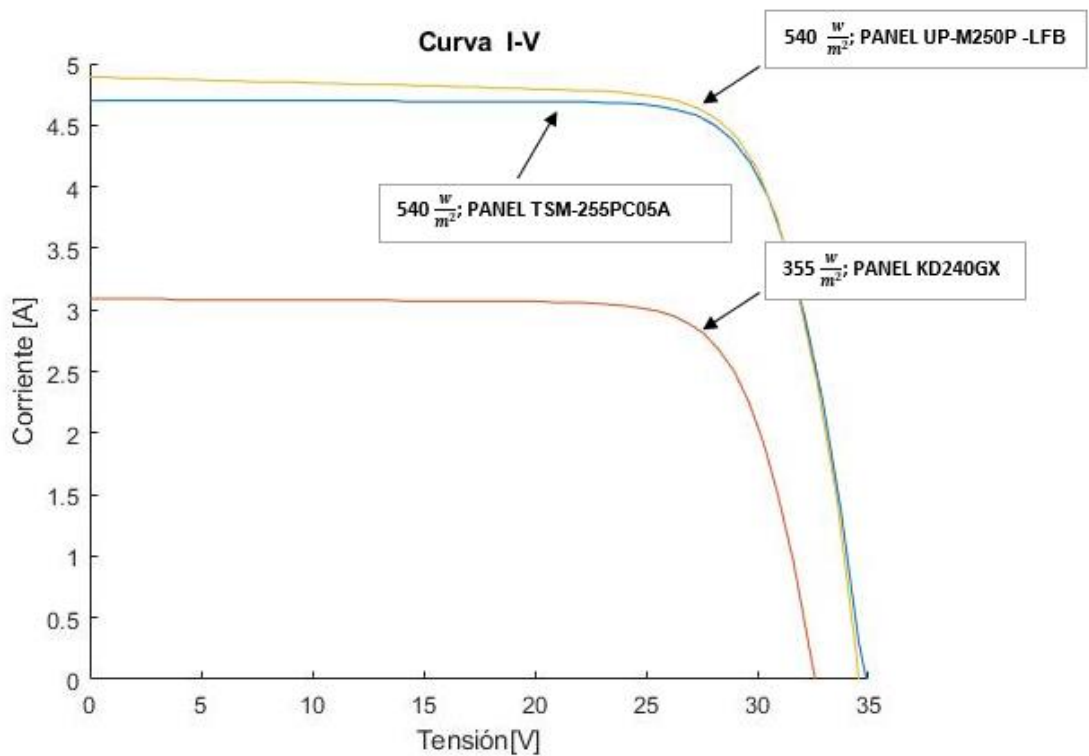


A través del software Simulink, se realizó la simulación de la prueba con la cual se obtiene la curva I-V, con el fin de contrastar las curvas teóricas con las construidas a partir de las pruebas

en campo en la simulación se usaron dos valores de irradiancia, el primero corresponde a  $355 \frac{W}{m^2}$  y el segundo es de  $539.7 \frac{W}{m^2}$  que corresponde a un valor promedio. Es de resaltar que en la instalación fotovoltaica del PTG-UIS, se usaron módulos solares de 3 tipos de referencias, las cuales son: UP-M250P (6 módulos fotovoltaicos), TSM-255PC05A (3 módulos fotovoltaicos) y KD240GX-LFB (1 módulo fotovoltaico), además, no fue posible realizar la curva de dos de los paneles fotovoltaicos debido a que no se logró realizar la desconexión de los conectores.

**Figura 14.**

*Curva I-V*



Al comparar las curvas teóricas con las experimentales, se estableció lo siguiente:

La curva teórica y experimental del panel FV de referencia KD240GX-LFB, el cual corresponde al panel 1 de la Figura 13 presentan un comportamiento similar y no se observan deformaciones en la curva experimental que indiquen problemas en los componentes del panel.

La curva experimental del panel 6 de referencia UP-M250P presenta deformaciones o anomalías generando que su comportamiento se aleje de la curva teórica, entre las posibles causas se pueden encontrar: problemas en la caja de diodos, fracturas de los componentes del panel, entre otros.

Las curvas I-V de los paneles 2,3,4,5,7 y 8, que se observan en la Figura 13 no presentan anomalías o deformaciones de consideración con respecto a las curvas teóricas; además, se debe tener en cuenta que los valores de corriente y tensión de las curvas teóricas y experimental, presentan cierto grado de diferencia debido a que los parámetros utilizados para el modelo están dados para una irradiancia de  $1000 \frac{W}{m^2}$ .

**1.3.2.3. Medición de THD.** La medición de la distorsión armónica de corriente y de tensión del microinversor Enphase S280, se realizó a través del medidor Fluke 1730; el resultado se expone en la Figura 15.

**Figura 15.***Medición de THD*

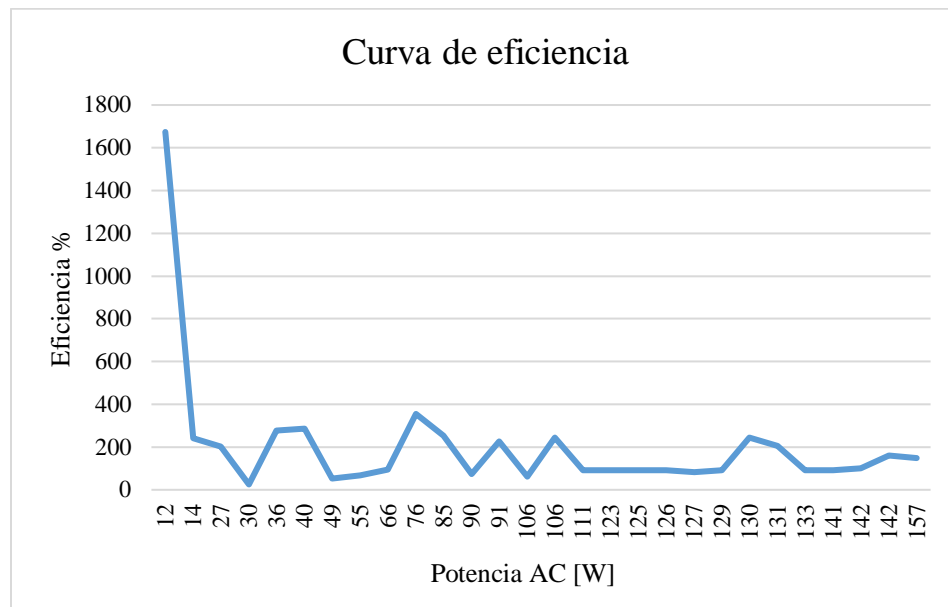
En la Figura 18 se observa que el valor de THDI de las fases se encuentra en el rango de 1.7-1.9 %, por otra parte, el valor de THDV se encuentra en un rango de 1.9-2 %, estos valores no variaron sustancialmente en el intervalo de tiempo medido (10 am a 2 pm), en el cual se presentaron valores irradiancia de hasta  $1031 \text{ W/m}^2$ .

Los valores de distorsión mencionadas se compararon con los resultados del artículo denominado “*Analysis of the performance of the Norton Equivalent Model of a Photovoltaic System Under Different Operating Scenarios*” (Martínez-Penalosa y Osma-Pinto, 2021); en donde se expone que el valor de THDI y THDV del microinversor Enphase M250, se encuentra en rango menor al 10% para condiciones de alta y media irradiancia, estableciendo estos valores como de baja distorsión armónica. Teniendo en cuenta los anterior, se concluyó que la THDI y THDV del micro inversor Enphase S280, se encuentra en un rango aceptable; es decir, no presenta problemas de distorsión armónica.

**1.3.2.4. Curva de eficiencia.** En esta sección se exponen la curva de eficiencia de uno de los microinversores ubicado en la instalación fotovoltaica del PTG-UIS. Para obtener los valores a través de los cuales se construye la curva primero se utilizó el medidor denominado Pwrcheck para medir la corriente y tensión en DC que entraban al inversor, luego se hizo uso de los datos AC que suministra el medidor ENVOY y finalmente se construyó la Figura 16, donde se evidencian valores de eficiencia por encima del 100%; es decir, resultados no confiables.

**Figura 16.**

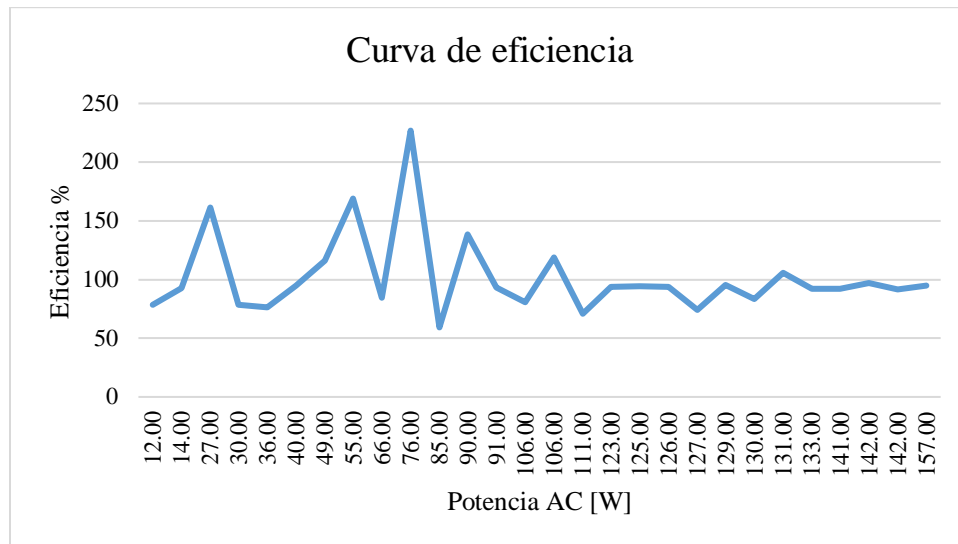
*Curva de eficiencia Pwrcheck(in)-Envoy(out)*



Con el fin de verificar la calidad de los datos suministrados por el medidor ENVOY, se construyó nuevamente la curva de eficiencia, pero solo utilizando los valores de potencia AC Y DC que el dispositivo suministra, el resultado se muestra en la Figura 17 donde al igual que en la Figura 16, se observan valores mayores al 100% lo que sugiere que los datos enviados por el medidor no son confiables, por lo cual se debe verificar su configuración.

**Figura 17.**

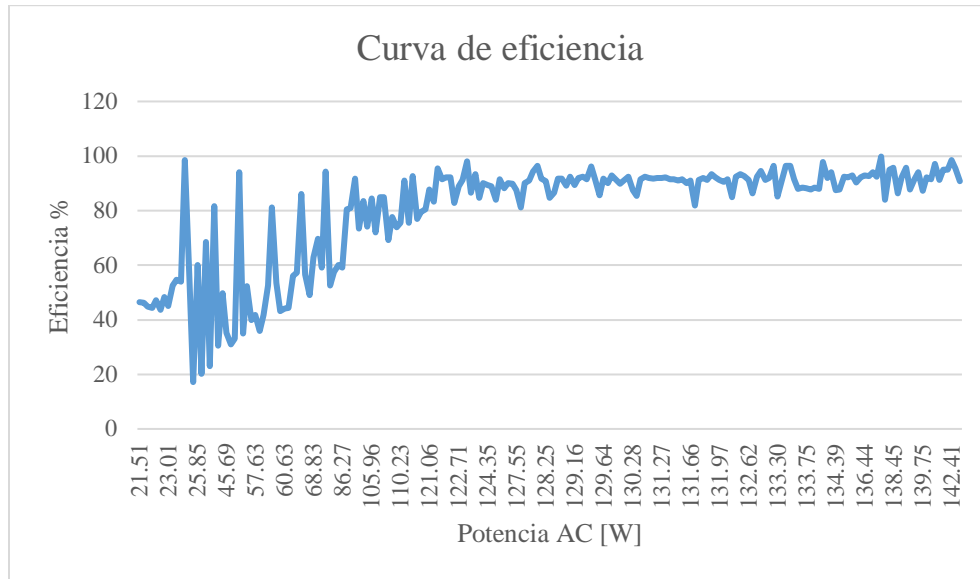
*Curva de eficiencia Envoy(in/out)*



Teniendo en cuenta los resultados usando el medidor ENVOY, se construyó la curva de eficiencia a través del medidor Pwrcheck y del medidor Fluke 1730, la Figura 18 ilustra los resultados.

**Figura 18.**

*Curva de eficiencia Pwrcheck (in)-Fluke 1730(out)*



En la Figura 18 se observa como la eficiencia varía con la potencia de salida, alcanzando valores de eficiencia de hasta del 99.8%; además, se evidencia que para valores de potencia mayores al 112 [W], la eficiencia no es menor al 80% y tiene un valor promedio del 90%, que no es un resultado alejado de la eficiencia ponderada y pico que son de 96.5% y 96.8 % respectivamente; teniendo en cuenta que la potencia nominal del micro inversor es del 280 [W].

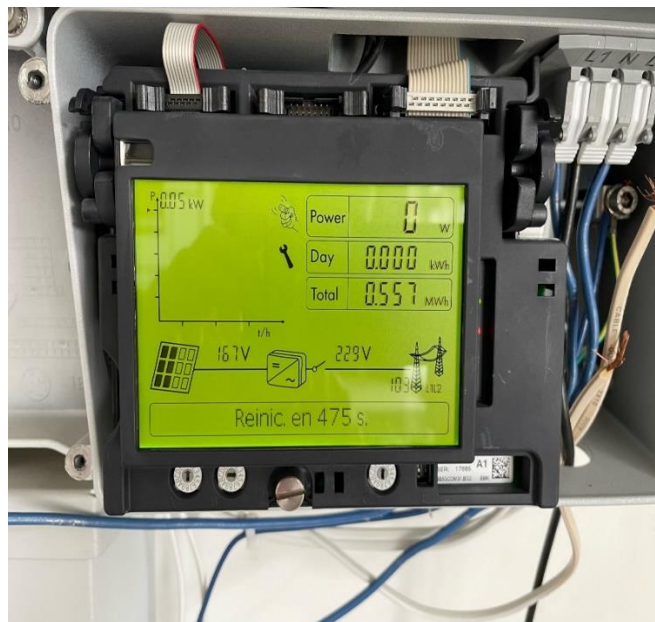
**1.3.2.5. Funcionamiento del inversor central.** El inversor central de referencia SUNNY BOY se encendió aplicando una tensión de entrada de 167 [V] y la salida se conectó a la tensión AC de la red de 229 [V], tal como se muestra en la Figura 22; se resalta que la tensión mínima de entrada del inversor es de 125 [V] y el rango de tensión de salida al que puede ser conectado es 183 V - 264 V.

El inversor no logró funcionar con normalidad debido a que no cerro el contacto que permite su conexión a la red, ya que la configuración actual tiene como límite de tensión de salida 228[V]; teniendo en cuenta lo anterior, se revisó el manual del dispositivo y se intentó cambiar la

configuración, pero al intentar realizar los ajustes de forma manual a través de una perillas no se observaron cambios en los límites de tensión; además, se buscó hacer uso de la interfaz inalámbrica utilizando bluetooth pero no dio resultado, otra opción para poder realizar ajustes de los límites de tensión es conectar el inversor a una red WIFI, pero esto requiere de un módulo especial que no se encontró en el laboratorio.

### Figura 19.

*Funcionamiento del inversor central*



### 1.3.3. Conclusiones

El diagnóstico permitió conocer varios aspectos del estado actual de la instalación eléctrica, ya que se identificaron elementos que se encuentran en mal estado o no cumplen el reglamento y la norma exigida, tal como: paneles fotovoltaicos con presencias de puntos calientes, conductores que no cumplen el código de colores o su aislamiento no es el adecuado, las cajas que contienen las protecciones no tienen las medidas de seguridad adecuadas, entre otros. También se hallaron componentes en buen estado y que tanto en la prueba de inspección visual como en las pruebas

de campo realizadas arrojaron buenos resultados, como el caso de los micro inversores en los que no se observaron daños físicos o ruidos extraños; además, los valores de distorsión y eficiencia se encuentran en rangos aceptables.

Algunos componentes como el Inversor Central o el dispositivo ENVOY, a pesar de no presentar daños físicos aparentes, no funcionaron correctamente por aspectos que se presumen son solo de su configuración, por lo cual se podría requerir de algún servicio técnico especializado para adecuarlos. Lo ya mencionado en esta Sección es de gran valor para el rediseño de la instalación, ya que se determinaron que nuevos elementos se requieren y cuáles de los componentes de la instalación actual deben ser desestimados.

## **2. Identificación de las necesidades de docencia en investigación**

El Laboratorio 308 de Integración Energética es utilizado para actividades de docencia e investigación, en áreas como la electrónica de potencia y las microrredes eléctricas. Teniendo en cuenta lo anterior, se espera que la instalación fotovoltaica ayude al desarrollo de las actividades mencionadas; por lo tanto, en este capítulo se establece una metodología para la identificación de las necesidades de docencia e investigación requeridas de la instalación, además de exponer los resultados obtenidos.

Se busca que los hallazgos de este capítulo ayuden a realizar el adecuado rediseño de la instalación fotovoltaica, ya que identificar las necesidades de docentes e investigadores, facilitará varias de las actividades a realizar en el nuevo diseño, tales como:

1. Dimensionar la cantidad y tipo de componentes requeridos.
2. Determinar la ubicación de los componentes.

3. Determinar las medidas de seguridad.

## **2.1. Metodología para el establecimiento de las necesidades de docencia e investigación**

La metodología que permitió identificar las necesidades de docencia e investigación consta de 5 partes, las cuales podrían resumirse en el diseño de la encuesta que se expone en la tabla 4, la cual fue diligenciada por docentes e investigadores que desean desarrollar actividades haciendo uso de la instalación fotovoltaica. A través de esta encuesta, se obtuvo la información que permitió establecer el objetivo planteado.

### **2.1.1. Identificación de docentes**

En esta etapa, los docentes identificados como usuarios del laboratorio 308 de eficiencia energética son: María Alejandra Mantilla Villalobos, Juan Manuel Rey López y German Alfonso Osma Pinto, además de un promedio de 7 estudiante de maestría, 2 estudiantes de doctorado y un estudiante postdoctorado, identificados como otros usuarios del laboratorio. Lo anterior se logró a partir de las visitas realizadas y de la información suministrada por la profesora María Alejandra Mantilla, encargada del laboratorio.

### **2.1.2. Formulación**

El establecimiento de las preguntas que permitieron definir las necesidades de docencia e investigación estuvo constituido por dos pasos: En el primero se realizó un cuestionario preliminar, el cual estaba constituido por ocho interrogantes.

El segundo paso consistió en reunirse con algunos de los docentes involucrados, exponiendo el cuestionario preliminar, con el fin recibir la opinión del profesor sobre la calidad de las preguntas presentes, así como sugerencias. Como resultado de las reuniones realizadas, se obtuvo el visto de bueno de los docentes sobre las preguntas del cuestionario preliminar, además, se añadieron nuevas preguntas.

**2.1.3. Diseño de la encuesta**

El formato de la encuesta cuenta con un total de diez preguntas abiertas; igualmente, contiene una columna en la que el profesor respondió, teniendo en cuenta las necesidades de docencia y, otra columna, dedicada a las necesidades de investigación. El diseño se realizó a través de la herramienta *Google Sheets*, la cual permitió compartir la misma, a los docentes implicados; en la Tabla 4 se muestra el resultado de este diseño.

Es de resaltar que se añadió un Anexo a la encuesta, en el cual se le informaba al docente el uso que se le daría a la información consignada.

**Tabla 4.**

*Identificación de necesidades docencia e investigación*

<b>Identificación necesidades docencia e investigación</b>		
<b>Pregunta</b>	<b>Docencia</b>	<b>Investigación</b>
1. ¿Qué actividades se soportarán en el laboratorio?		
2. ¿Qué actividades desarrollará el estudiante en el laboratorio?		
3. ¿Cómo se espera que la instalación fotovoltaica ayude en las actividades a desarrollar en el laboratorio?		
4. ¿Qué competencias se espera que el estudiante desarrolle o fortalezca a partir de su experiencia en el laboratorio?		
5. ¿Cuáles considera que son los aspectos técnicos que debe cumplir la instalación fotovoltaica para el desarrollo de las actividades?		
6. ¿Cuáles de los aspectos mencionados en el ítem 5, considera que la instalación actualmente no cumple?		
7. ¿Qué medidas considera que se deberían tomar para la corrección de los aspectos que no se cumplen?		

<b>Identificación necesidades docencia e investigación</b>		
<b>Pregunta</b>	<b>Docencia</b>	<b>Investigación</b>
8. ¿Qué cargas eléctricas planea alimentar con la instalación eléctrica a la cual está conectado el SFV?		
9. ¿A cuáles situaciones de riesgo, el estudiante estará expuesto en las actividades a ejecutarse en el laboratorio?		
10. ¿Según las actividades a desarrollarse en el laboratorio, considera que es necesario ampliar o actualizar la tecnología del sistema fotovoltaico (más paneles fotovoltaicos, nuevos inversores, etc.)?		

#### **2.1.4. Resumen de las encuestas**

La encuesta fue diligenciada por cada uno de los docentes y las respuestas se encuentran en el Apéndice B; a continuación, se presenta el consolidado de cada uno de los ítems identificados:

1. Los docentes planean realizar actividades, relacionadas con microrredes, electrónica de potencia y caracterización de cargas eléctricas.

2. Expresan que el estudiante podría estar expuesto a peligros como fallas en el sistema de protecciones, exposición a cableado no organizado, si no se establecen las medidas de seguridad adecuadas.

3. Los docentes consideran que la instalación debe cumplir con varias medidas de seguridad, tales como: cumplimiento de la normativa vigente, protecciones eléctricas (incluso redundantes, considerando el carácter experimental de la instalación), señalización, botón de emergencia, medios de emergencia, diagrama unifilar, entre otros.

4. Los docentes opinan que la instalación actualmente no cumple con las medidas de seguridad adecuadas.

5. Los docentes planean alimentar cargas haciendo uso de la instalación fotovoltaica, a saber: motores, cargas resistivas, electrodomésticos, equipos de cómputo y electrónico del laboratorio; además, de otro tipo de cargas no lineales.

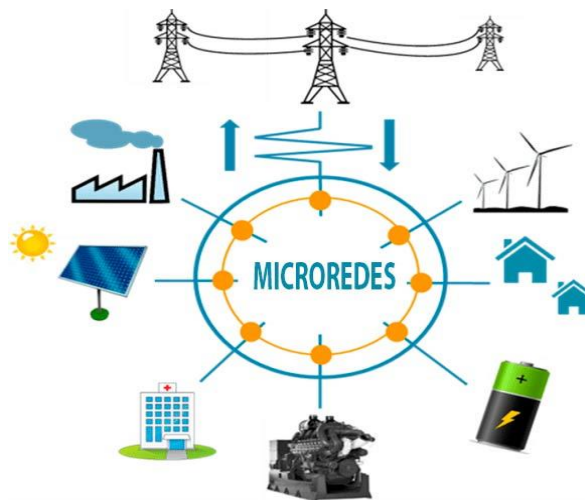
6. En general, los docentes utilizarán la instalación eléctrica para actividades relacionadas con la investigación.

### **2.1.5. Análisis de las encuestas**

Se identificó que los docentes planean realizar varias actividades en el laboratorio, en su mayoría de investigación, en temas como el estudio de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, análisis de componentes de electrónica de potencia y de microrredes, las cuales se pueden considerar como redes de suministro a pequeña escala, tal como se ilustra en la figura 20.

#### **Figura 20.**

##### *Microrredes*



*Nota.* Tomado de Poveda (2020)

Los estudiantes estarán involucrados en los temas de investigación mencionados anteriormente, desarrollarán actividades y competencias de análisis, diseño y monitorización; por lo tanto, podrían estar expuestos a riesgos si la instalación fotovoltaica no cuenta con las medidas de seguridad adecuadas.

## **2.2. Requerimientos de docencia e investigación**

A partir de la información que se obtuvo de la encuesta y del análisis realizado, se logró identificar las necesidades de docencia e investigación de los profesores que hacen uso del Laboratorio 308 de Integración Energética.

### **2.2.1. *Requerimientos generales***

Los docentes necesitan que la instalación eléctrica funcione perfectamente; es decir, que cumpla con todas las características y componentes de una instalación fotovoltaica conectada a red, alimentando las cargas presentes en el laboratorio y con la posibilidad de suministrar o recibir energía de la red eléctrica. Esto con el fin de permitir desarrollar actividades como el estudio del sistema fotovoltaico conectado a la red o la alimentación de motores, equipos de cómputo, entre otros. Teniendo en cuenta lo anterior, se establecen los siguientes requerimientos generales:

1. Los componentes de la instalación deben funcionar de forma óptima.
2. Se deben actualizar los elementos que se consideren necesarios, tales como los módulos fotovoltaicos e inversores.
3. Los componentes de la instalación fotovoltaica deben estar correctamente identificados.
4. Deben existir representaciones gráficas de la instalación eléctrica.
5. Es indispensable que exista un sistema de protecciones que garantice la seguridad en la instalación eléctrica.
6. Los conductores deben estar dimensionados, teniendo en cuenta las cargas a alimentar.

### ***2.2.2. Elementos de protección y maniobra***

Las protecciones y elementos de maniobra son aspectos importantes, para que los profesores pueden ejecutar sus actividades de docencia e investigación, por esta razón se identificaron los requerimientos que se deben tener en cuenta al realizar su diseño.

1. Los elementos de protección que se encuentran actualmente en la instalación deben funcionar adecuadamente.

2. El diseño del sistema de protecciones debe ser redundante; por ejemplo, mediante la instalación de fusibles e interruptores termomagnéticos.

3. Implementación de elementos de desconexión en varios puntos de la instalación fotovoltaica.

4. El sistema de protección se debe complementar con el funcionamiento óptimo del sistema de puesta tierra.

### ***2.2.3. Identificación de los componentes y representación de la instalación***

Para que los estudiantes e investigadores puedan identificar fácilmente los elementos de la instalación, se establecieron los siguientes requerimientos:

1. Los elementos de la instalación deben estar correctamente etiquetados según la normativa.

2. Debe existir un diagrama unifilar de la instalación, así como otros esquemas eléctricos, los cuales se deben ubicar en zonas visibles y de fácil de acceso para los implicados.

### ***2.2.4. Otros requerimientos***

Teniendo en cuenta el tipo de instalación fotovoltaica (conectada a la red); además, de su uso experimental, se establecieron los siguientes requerimientos:

1. Instalación de un tablero con espacio para la ubicación de medidores de energía bidireccionales, así como borneras para conexión de medidores temporales. Estos dispositivos deben estar ubicados en zonas de fácil acceso.
2. Existencia de punto de internet, para los dispositivos que puedan requerirlo, tales como: analizador de redes y medidores de energía.
3. La instalación eléctrica debe contar con la adecuada señalización

### **3. Rediseño de la instalación fotovoltaica conectada a la red ON-GRID**

El último capítulo de este documento presenta el nuevo diseño de la instalación fotovoltaica conectada a la red y los costos de los componentes que lo constituyen; teniendo en cuenta, las pruebas a equipos, inspección visual de la instalación, entrevistas, identificación de reglamentos y normas, entre otras actividades llevadas a cabo en los capítulos I y II.

#### **3.1. Diseño actual de la instalación fotovoltaica**

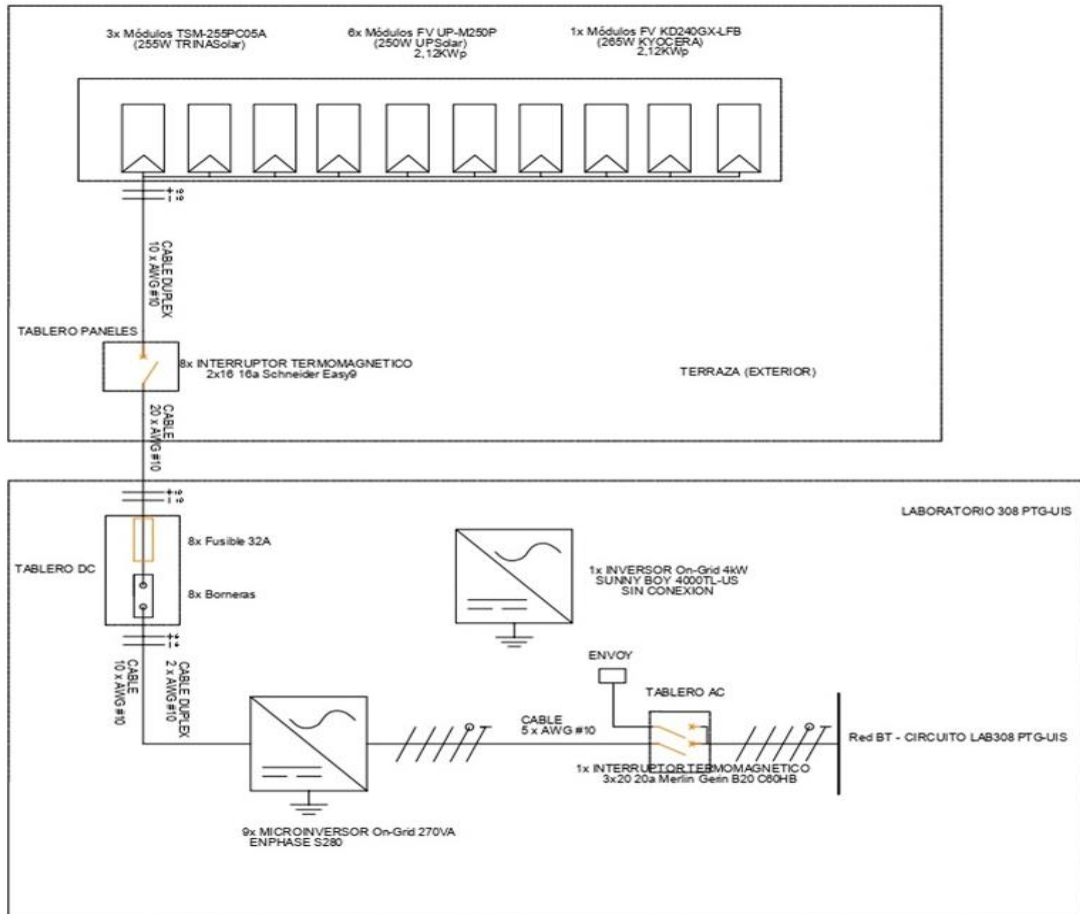
Basado en el diagnóstico realizado en las actividades del Capítulo I, se realizó la construcción de los planos eléctricos de la instalación fotovoltaica actual, donde se incluye el diagrama unifilar, vista superior y vista de corte del sistema.

##### ***3.1.1. Diagrama Unifilar***

A continuación, se presenta el diagrama unifilar resultado del diagnóstico realizado, el cual presenta detalle de la conexión actual del sistema fotovoltaico; también lo podemos encontrar en los planos del Apéndice C (1. Diagrama Unifilar 1. Diagrama Unifilar).

**Figura 21.**

*Diagrama Unifilar*



### 3.2. Hallazgos del estado actual de la instalación


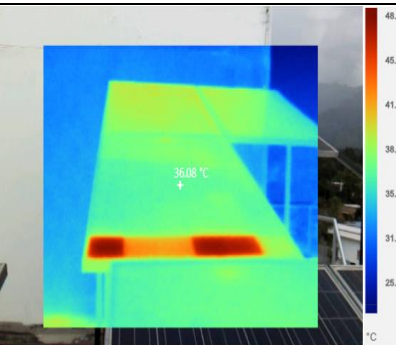
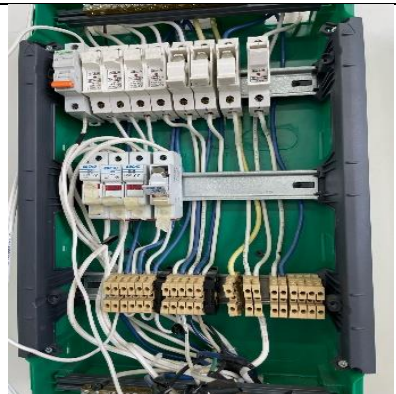
#### 3.2.1. Aspectos negativos

De acuerdo con lo establecido en el Capítulo I, la instalación presenta inconformidades con respecto a normas, reglamentos y buenas prácticas; lo anterior, es considerado como aspectos negativos de la instalación, entre los más relevantes se encuentran los siguientes:

**Tabla 5.**

*Aspectos negativos*

Descripción	Imagen
<p>Canalización que no cumple lo establecido en NTC 2050; además, el color de los conductores no concuerda con lo establecido en el Retie</p>	
<p>Ubicación inadecuada de los micro inversores.</p>	
<p>Los paneles fotovoltaicos no están puestos a tierra.</p>	
<p>El tipo de conductor que llega a los módulos fotovoltaicos no es el adecuado.</p>	
<p>No existen elementos que impidan el contacto de conductores y otros componentes, con personal no autorizado.</p>	

Descripción	Imagen
Algunos módulos presentan rayaduras.	
Se evidenciaron puntos calientes en los módulos fotovoltaicos en las pruebas de cortocircuito.	
Ausencia de diagrama unifilar, etiquetado y señalización de la instalación eléctrica	

**3.2.2. Aspectos positivos**

A pesar de que se encontraron varias inconformidades en la instalación se identificaron aspectos positivos, entre los que se encuentran:

**Tabla 6.**

*Aspectos positivos*

Descripción	Imagen
<p>El Dispositivo Envoy se encuentra en buen estado</p>	
<p>La distorsión armónica de los microinversores se puede catalogar como baja.</p>	
<p>Los soportes de los módulos no presentan deformaciones.</p>	
<p>Los microinversores no presentan daños</p>	

Descripción	Imagen
<p>Los elementos de protección se encuentran en buen estado.</p>	

### 3.3.Propuesta técnica

#### 3.3.1. Dimensionamiento paneles para el inversor central

Con el fin de aprovechar el inversor que se encuentra inactivo, se toma la determinación de seleccionar el tipo y la cantidad de módulos FV necesarios para su puesta en funcionamiento; para esto se debe tomar en cuenta las características técnicas de inversor, enfocadas en sus parámetros de entrada DC:

**Tabla 7.**

*Características técnicas del inversor*

<b>SunnyBoy 4000TL-US</b>	
Pmax DC	4200W
Vmax DC	600V
Rango V DC	175-480V
V arranque	49.98V
I nominal por cadena	2x15A

De acuerdo con la potencia máxima admitida por el inversor, se seleccionaron los siguientes paneles, los cuales cumplen los requerimientos del inversor, aprovechando toda su capacidad de potencia.

**Tabla 8.***Selección de paneles*

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Cantidad</b>
Modulo Luxen FV LNSU-450M	10
Potencia máxima	450W
V a potencia máxima	41.4V
V circuito abierto	49.98V
I nominal	10.87 A
I cortocircuito	11.54 A

### 3.3.2. Características del sistema

En una vista general de la propuesta técnica, se clasificó el sistema en dos partes, respecto a la configuración, tipo de inversor y acometida proveniente de la terraza.

#### 3.3.2.1. Sistema Inversor SunnyBoy

##### **Especificaciones:**

Se propone una configuración de dos grupos nuevos de 5 paneles en serie, para un total de 10 módulos nuevos que ocupan  $22m^2$  y que se conectan a un inversor ON-GRID, tal como se expone en el diagrama unifilar del Apéndice C (1. Diagrama Unifilar Propuesta). La configuración consta de las siguientes especificaciones:

**Tabla 9.***Especificaciones del sistema inversor SunnyBoy*

Modulo Luxen FV LNSU-450M	5 módulos (Total 10 Módulos)
Área de ocupación	2.17m <sup>2</sup> c/u (Total 21.7m <sup>2</sup> )
Tipo de conexión	Serie
Potencia Máxima	450W
V a potencia máxima	207V
V circuito abierto	249.9V
I cortocircuito	11.54A

Se ubican 6 de los nuevos paneles en la terraza principal, con el fin de aprovechar el espacio restante de 18m<sup>2</sup>, tal y como se presenta en el apéndice C (4. Terraza Propuesta\_Vista Superior y 5. Terraza Propuesta\_Vista Corte). En cuanto a los 4 restantes, se toma la determinación de aprovechar el espacio existente en la terraza superior, como se expone en apéndice C (4. Terraza Propuesta\_Vista Superior y 5. Terraza Propuesta\_Vista Corte), la cual presenta un área disponible de 18.2m<sup>2</sup> y no está siendo usada con algún propósito en específico.

### **Conductores DC**

Cada grupo de paneles en serie tendrá una acometida DC dirigida al inversor en el laboratorio, como se puede evidenciar en los planos del Apéndice C (Lab 308 PTG-UIS Propuesta Anexos 2,3,4 y 5), para lo cual se hace necesario la selección del conductor mediante el cálculo de la corriente del sistema, basado en el RETIE Sección 20.22, la cual nos remite directamente a la NTC 2050 Sección 690-8:

a) Capacidad de corriente y dispositivos de protección contra sobrecorriente. La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada según el siguiente apartado.

b) Cálculo de la corriente del circuito. La corriente para un tipo individual de circuito se debe calcular como sigue: 1) Circuitos de la fuente fotovoltaica. Es la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo (NTC 2050, 1998, Sección 690-8).

Teniendo en cuenta lo anterior se determina la corriente de las dos acometidas DC de la siguiente manera:

$$I_{sistema} = I_{sc} * 1.25 = 11.54 * 1.25 = \mathbf{14.42 [A]}$$

Se determina el calibre del conductor según lo dispuesto en la NTC 2050 Tabla 310-16, tomando el siguiente valor de capacidad de corriente por encima de la calculada con anterioridad.

**Tabla 10.**

*Calibre del conductor DC*

Conductor	Capacidad (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #12	25A

Para el cálculo de regulación en el conductor seleccionado, para el tramo terraza-laboratorio, se tomaron los siguientes parámetros:

**Tabla 11.**

*Cálculo de regulación DC*

L(longitud acometida)	30 [m]
Rdc	5.45 [ohm/Km]
Isistema	14.42 [A]
V	207 [V]

$$\%V = \frac{2 * I * R * L}{V} * 100 = \frac{2 * 14.42 * \left(\frac{5.45}{1000}\right) * 30}{207} = \mathbf{1.82\%}$$

En cuanto al código de colores a utilizar se siguieron los lineamientos del RETIE 6.3 Tabla 6.6.

**Tabla 12.**

*Código de colores DC*

Conductor	Color
Positivo	Rojo
Negativo	Blanco
Tierra	Verde

Seleccionamos conductores de tipo solar, que cumplan los requerimientos mencionados de calibre y código de colores.

**Conductores AC**

Se calcula la corriente del conductor según las características técnicas del inversor SunnyBoy y la norma NTC2050 Sección 690-8 b-3, que describe: “3) Circuito de salida del inversor. Es la corriente nominal de salida del inversor o de la unidad de acondicionamiento de energía” (NTC2050, 1998, Sección 690-8 b-3)

**Tabla 13.**

*Especificaciones SunnyBoy 4000 TL-US*

<b>SunnyBoy 4000TL-US</b>	
Pmax AC	4000W
Vnominal	208/240V
Rango V	183-264V
Inominal	20A
I Cortocircuito	34A

$$I_{sistema} = I_{nom} * 1.25 = 20 * 1.25 = \mathbf{25 [A]}$$

Se determina el calibre del conductor según lo dispuesto en la NTC 2050 Tabla 310-16, tomando el siguiente valor de capacidad de corriente por encima de la calculada con anterioridad.

**Tabla 14.**

*Cálculo del conductor AC*

Conductor	Capacidad (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #10	35A

No requiere cálculo de regulación por la corta distancia

En cuanto al código de colores a utilizar se siguieron los lineamientos del RETIE 6.3 Tabla 6.6.

**Tabla 15.**

*Código de colores AC*

Conductor	Color
Fases	Amarillo, Azul, Rojo
Neutro	Blanco
Tierra	Verde

Sugerimos el uso de conductor sencillo tipo cable que cumpla con las especificaciones de calibre y código de color.

### **Desconexión y Protecciones**

Se disponen de los medios de desconexión apropiados para desactivar a voluntad y proteger la instalación contra fallas de sobrecorriente como se plantea en la NTC2050 690-9, 690-13, 690-15, 690-13, 690-15, 690-17 y 690-18. Como se evidencia en el diagrama unifilar y diagramas de tableros DC y AC presentes en el Apéndice C (Lab 308 PTG-UIS Propuesta anexos 1, 6, 7, 8, 9), donde se incluyen protecciones redundantes con el fin de cumplir los requerimientos de docencia presentes en el capítulo 2.

### **Desconexión de conjunto fotovoltaico:**

Se utiliza el seccionador o desconectador DC SMA 2TLUS-10 DC Disconnect, incluido con el inversor, con el fin de dar cumplimiento a la NTC2050 690-18, ya que tiene la capacidad de desconectar los dos conjuntos de paneles en serie al tiempo.

**Protecciones DC:**

Se determina el valor de la protección contra sobrecorrientes basados en la anotación de la NTC2050 Tabla 310-16, que indica:

Si no se permite otra cosa específicamente en otro lugar de este Código, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (\*), no debe superar los 15 A para el conductor de Sección transversal 2,08 mm<sup>2</sup> (14AWG); 20 A para 3,3 mm<sup>2</sup> (12 AWG) y 30 A para 5,25 mm<sup>2</sup> (10 AWG), todos de cobre; o 15 A para 3,3 mm<sup>2</sup> AWG) y 25 A para 5,25 mm<sup>2</sup> (10 AWG) de aluminio y aluminio recubierto de cobre, una vez aplicados todos los factores de corrección por temperatura ambiente y por número de conductores. (NTC 2050, Tabla 310-16).

**Tabla 16.**

*Protección DC*

Conductor	Protección (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #12	20 A

**Protecciones AC:**

Se determina el valor de la protección contra sobrecorrientes basados en la anotación de la NTC2050 Tabla 310-16:

**Tabla 17.**

*Protección AC*

Conductor	Protección (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #10	30 A

**3.3.2.2. Sistema Microinversores Enphase.**

**Especificaciones:**

Este sistema está compuesto de 10 módulos FV existentes, cada uno conectado a un microinversor ON-GRID, los cuales mediante una conexión en paralelo se conectan a la red eléctrica de baja tensión, de acuerdo con el diagrama unifilar del Apéndice C (1. Diagrama Unifilar Propuesta).

**Tabla 18.**

*Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo Trinasolar)*

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Cantidad</b>
Modulo Trinasolar TSM-255PC05A	3
Potencia Máxima	255W
V a potencia máxima	30.5V
V circuito abierto	38.1V
I nominal	8.37A
I cortocircuito	8.88A

**Tabla 19.**

*Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo upsolar)*

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Cantidad</b>
Modulo UPSOLAR UP-M250P	6
Potencia Maxima	250W
V a potencia maxima	30.6V
V circuito abierto	38.0V

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Cantidad</b>
I nominal	8.17A
I cortocircuito	8.50A

**Tabla 20.**

*Especificaciones sistema microinversores Enphase (modulo kyocera)*

<b>Tipo de Panel</b>	<b>Cantidad</b>
Modulo KYOCERA	1
Potencia Máxima	240W
V a potencia máxima	29.8V
V circuito abierto	36.9V
I nominal	8.06A
I cortocircuito	8.59A

### **Conductores DC**

Cada módulo FV individual tendrá una conexión DC dirigida a su microinversor al respaldo del mismo, tal como lo recomienda el manual de instalación del Enphase S280 y se evidencia en los planos del Apéndice C (4.Terraza propuesta\_vistasuperior), para lo cual se hace necesario la selección del conductor mediante el cálculo de la corriente del sistema, basado en el RETIE Sección 20.22, la cual nos remite directamente a la NTC 2050 Sección 690-8:

- a) Capacidad de corriente y dispositivos de protección contra sobrecorriente. La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos

de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico **no debe ser menor al 125 %** de la corriente calculada según el siguiente apartado

b) Cálculo de la corriente del circuito. La corriente para un tipo individual de circuito se debe calcular como sigue: 1) Circuitos de la fuente fotovoltaica. **Es la suma de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo.** (NTC 2050, 1998, Sección 690-8).

Teniendo en cuenta lo anterior se determina la corriente de las dos acometidas DC de la siguiente manera:

$$I_{sistema} = I_{sc} * 1.25 = 8.88 * 1.25 = \mathbf{11.1 [A]}$$

Determinamos el calibre del conductor según lo dispuesto en la NTC 2050 Tabla 310-16, tomando el siguiente valor de capacidad de corriente por encima de la calculada con anterioridad

**Tabla 21.**

*Calibre del conductor DC*

Conductor	Capacidad (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #12	25 A

En cuanto al código de colores a utilizar se siguieron los lineamientos del RETIE 6.3 Tabla 6.6

**Tabla 22.**

*Código de colores DC*

Conductor	Color
Positivo	Rojo
Negativo	Blanco

---

Tierra	Verde
--------	-------

---

Se selecciona conductor sencillo de tipo fotovoltaico que cumpla con las especificaciones mencionadas de calibre y código de colores, debido a que son cables certificados para su uso en exteriores al respaldo de los módulos fotovoltaicos.

**Conductores AC**

Se calcula la corriente del conductor según las características técnicas del conjunto de microinversores y la norma NTC2050 Sección 690-8 b-3, que describe: “3) Circuito de salida del inversor. Es la corriente nominal de salida del inversor o de la unidad de acondicionamiento de energía. (NTC 2050, 1998, Sección 690-8 b-3).

**Tabla 23.**

*Características del microinversor Enphase S280*

---

Microinversor Enphase S280	
Pmax AC	270W
Vnominal	208/240V
Rango V	211-264V
Inominal	1.13A
I Cortocircuito	5.8A
Cantidad en el sistema	10 microinversores

---

$$I_{\text{sistema}} = I_{\text{nom}} * 1.25 = (1.13 * 10) * 1.25 = \mathbf{14.125 [A]}$$

Se determina el calibre del conductor según lo dispuesto en la NTC 2050 Tabla 310-16, tomando el siguiente valor de capacidad de corriente por encima de la calculada con anterioridad

**Tabla 24.**

*Calibre del conductor AC*

Conductor	Capacidad (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #12	25A

Para el cálculo de regulación en el conductor seleccionado, para el tramo terraza-laboratorio, se tomaron los siguientes parámetros

**Tabla 25.**

*Cálculo de regulación del conductor AC*

L(longitud acometida)	30 [m]
$Z_e$	5.91 [ohm/Km]
$I_{sistema}$	14.125 [A]
$V_l$	225 [V]

$$\%V = \frac{\sqrt{3} * I * Z_e * L}{V_l} * 100 = \frac{\sqrt{3} * 14.125 * \left(\frac{5.91}{1000}\right) * 30}{225} = \mathbf{1.9\%}$$

En cuanto al código de colores a utilizar se siguieron los lineamientos del RETIE 6.3 Tabla

**Tabla 26.***Código de colores AC*

Conductor	Color
Fases	Amarillo, Azul, Rojo
Neutro	Blanco
Tierra	Verde

Se sugiere el uso de un conductor encauchetado 5x12AWG que cumpla con el código de colores y especificaciones de sección transversal, con el fin de lograr una fácil identificación de los conductores del sistema al momento de ubicarlos en la bandeja portacables y evitar confusión con conductores del mismo color, debido a que lo presentado en el apéndice C (3. Lab308 Propuesta\_Vista Corte) especifica que compartirá bandeja portacables con el sistema DC sunnyboy.

**Desconexión y Protecciones**

Se disponen de medios de desconexión apropiados para desactivar a voluntad y proteger la instalación contra fallas de sobrecorriente como se plantea en la NTC2050 690-9, 690-13, 690-15, 690-13, 690-15, 690-17 y 690-18. Como se evidencia en el diagrama unifilar y diagramas de conexión de los tableros AC presentes en el Apéndice C (Lab 308 PTG-UIS Propuesta anexos 1, 8, 9), donde se incluyen protecciones redundantes con el fin de cumplir los requerimientos de docencia presentes en el Capítulo 2.

**Protecciones DC:**

De acuerdo con el tipo de conexión del sistema, no se requiere un medio de desconexión externo, el conductor Modulo FV – Microinversor, estaría protegido contra sobrecorriente

directamente por el fusible que integra internamente cada módulo FV, por otra parte, el microinversor equipa un medio de desconexión rápido tanto para DC como AC, el cual cumple las normas NEC-2017 seccion 690.12 y C22.1-2015 Regla 64-218.

**Protecciones AC:**

Se determina el valor de la protección contra sobrecorrientes basados en la anotación de la NTC2050 Tabla 310-16:

**Tabla 27.**

*Protección AC*

Conductor	Protección (NTC 250 Tabla 310-16)
AWG #12	20A

**3.3.3. Canalizaciones y bandejas portacables**

A razón de dar cumplimiento a los lineamientos del RETIE 20.6, donde se toman en cuenta los requisitos para la selección de las canalizaciones de acuerdo con su uso y ambiente, presentes en la NTC2050.

**Exterior**

Para el caso de la terraza, la cual está expuesta a situaciones atmosféricas como luz solar directa y humedad, se tomó la determinación de seleccionar la tubería tipo IMC, ya que la NTC2050 Sección 345-3 aprueba su uso en toda clase de conducción atmosférica: “345-3. Usos permitidos. A) Todas las condiciones atmosféricas y ocupaciones. Se permite el uso de tubo metálico intermedio en todas las condiciones atmosféricas y en todas las ocupaciones” (NTC 2050, Sección 345-3 a).

Para la selección del diámetro se determinó usando la NTC 2050 Apéndice C, Tabla C4. Número máximo de conductores y alambres de aparatos en tubo conduit metálico intermedio – tipo IMC.

**Tabla 28.**

*Número máximo conductores canalización Exterior*

Tubería	Máximo conductores
IMC ½ ”	10 conductores THHN AWG #12
IMC ½ ”	6 conductores THHN AWG #10

Según anexos del apéndice C (5. Terraza Propuesta\_Vista Corte), tenemos que se utilizaran dos tuberías para conductores en DC y AC respectivamente. En cuanto al llenado de las canalizaciones, la tubería DC se propone con 4 conductores AWG#12, mientras que la tubería AC con un conductor encauchetado 5xAWG#12, cumpliendo los parámetros de llenado máximo descritos en la tabla 28. Por otra parte, se resalta la reutilización de la tubería ya presente, debido a que cumple con las especificaciones requeridas

**Interior**

Para el caso del Laboratorio 308, el cual será una tubería a la vista, pero no expuesta a condiciones atmosféricas de intemperie, se seleccionó el conductor tipo EMT, el cual aprueba la NTC2050 Sección 348. “348-1. Se permite el uso de tuberías eléctricas metálicas en instalaciones expuestas y ocultas.” (NTC 2050, 1998, Sección 348).

Para la selección del diámetro se determinó usando la NTC2050 Apéndice C, Tabla C1. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas -tipo EMT.

**Tabla 29.***Número máximo conductores canalización Interior*

Tubería	Máximo conductores AWG
EMT ½ ''	9 conductores THHN AWG #12
EMT ½ ''	5 conductores THHN AWG #10

Según anexos del apéndice C (5. Lab308 Propuesta\_Vista Corte), al igual que el caso de la terraza, tendremos canalizaciones independientes para los conductores AC y DC, tomando un llenado para las canalizaciones en DC de 4 conductores #12AWG, mientras que para la tubería AC de 4 conductores de calibre #10AWG, cumpliendo los parámetros de llenado máximo descritos en la tabla 29.

Respecto a las bandejas portacables en el interior del laboratorio, se hará uso de las ya existentes debido a que la nueva propuesta de diseño contempla una cantidad menor de conductores a ubicar, se pasa de 24 a 9 conductores. De acuerdo con la NTC 2050 Tabla 318-10. La capacidad de la bandeja es suficiente para soportar los conductores propuestos en el nuevo diseño.

#### **3.3.4. Otras consideraciones**

##### **Etiquetado**

Con el fin de dar cumplimiento a lo descrito en el RETIE -Artículo 20,23.1.4 Rotulado e instructivos, se etiquetará cada uno de los tableros con su diagrama eléctrico, los cuales se encuentran presentes en el apéndice C (Lab 308 PTG-UIS Propuesta anexos número 6,7,8,9), por otra parte, se ubicará copia visible del diagrama unifilar del apéndice C (anexo 1. Diagrama Unifilar Propuesta).

### 3.4. Cotización de los componentes

#### 3.4.1. Resumen de los componentes

Presentamos un resumen de los componentes necesarios para lograr el diseño propuesto, referenciando los elementos que se reutilizaran de acuerdo con los resultados del diagnóstico realizado en el capítulo 1 de este libro, así como los elementos que hay que adquirir.

**Tabla 30.**

*Identificación componentes presentes y nuevos*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>
<b>Tableros</b>	TBT4PP - Tablero 4 Circuitos Riel Sobreponer Con Puerta Transparente Tableplast	2	Nuevo
	TBTR4PP - Tablero 4 Circuitos 95A Tapa Plástica RETIE Tercol	1	Nuevo
	Tablero 60x60 (Tablero AC)	1	Presente
<b>Protecciones</b>	Interruptor termomagnético C60H.DC 2P 20A curva C 250V DC SH	4	Nuevo
	Interruptor termomagnético Easy9 3P 20A 10kA curva C	2	Nuevo
	Interruptor termomagnético Legrand 2p 30A	1	Nuevo
<b>Módulos FV y Soporte</b>	Estructura Metálica para Montaje de Paneles	8	Nuevo
	Modulo Luxen FV LNSU-450M	10	Nuevo
	Módulos Upsolar UP-M250P	6	Presente
	módulos TrinaSolar TSM-255PC05A	3	Presente
	Modulo Kyocera KD240GX-LFB	1	Presente
	Estructura Metalica para 10 modulos		Presente
<b>Microinversor</b>	Enphase S280	9	Presente
	Enphase S280	1	Nuevo
<b>Inversor</b>	SunnyBoy 4000TL-US	1	Presente
<b>Canalización</b>	Tubo EMT UL 1-pulg(3m)	5	Nuevo
	Tubo Metálico IMC Conduit Galvanizado de 3-4 Pulgadas x 3 mts Con Unión		Presente
<b>Bandeja Portacables</b>	Bandeja portacables 40x5cm		Presente
<b>Conductores</b>	Cable Encauchetado THHN/THWN 5 X 12 AWG X Metro Negro Nexans	30	Nuevo
	Cable De Cobre NEXANS #10 Amarillo	10	Nuevo

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>
	Cable De Cobre NEXANS #10 Azul	10	Nuevo
	Cable De Cobre NEXANS #10 Blanco	10	Nuevo
	Cable De Cobre NEXANS #10 Verde	10	Nuevo
	CABLE FOTOVOLTAICO NEXANS AWG#12 4MM Rojo	30	Nuevo
	CABLE FOTOVOLTAICO NEXANS AWG#12 4MM Negro	30	Nuevo

**3.4.2. Nuevos componentes**

Para este punto, se tomaron en cuenta los elementos adicionales, necesarios para llevar a cabo el montaje de la propuesta de diseño expuesta con anterioridad.

**Tabla 31.**

*Cotización de los componentes*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Tableros</b>	TBT4PP - Tablero 4 Circuitos Riel Sobreponer Con Puerta Transparente Tableplast	\$ 28,499	2	\$ 56,998
	TBTR4PP - Tablero 4 Circuitos 95A Tapa Plástica RETIE Tercol	\$ 33,050	1	\$ 33,050
<b>Protecciones</b>	Interruptor termomagnético C60H.DC 2P 20A curva C 250V DC SH	\$ 110,000	4	\$ 440,000
	Interruptor termomagnético Easy9 3P 20A 10kA curva C	\$ 60,900	2	\$ 121,800
	Interruptor termomagnético Legrand 2p 30A	\$ 51,900	1	\$ 51,900
<b>Módulos FV y Soporte</b>	Estructura Metálica para Montaje de Paneles	\$ 180,000	8	\$ 1,440,000
	Modulo Luxen FV LNSU-450M	\$ 826,000	10	\$ 8,260,000
<b>Microinversor</b>	Enphase S280	\$ 914,000	1	\$ 914,000
<b>Canalización</b>	Tubo EMT UL 1-pulg(3m)	\$ 49,900	5	\$ 249,500
<b>Conductores</b>	Cable Encauchetado THHN/THWN 5 X 12 AWG X Metro Negro Nexans	\$ 13,850	30	\$ 415,500

Cable De Cobre NEXANS #10 Amarillo	\$	3,299	10	\$	32,990
Cable De Cobre NEXANS #10 Azul	\$	3,299	10	\$	32,990
Cable De Cobre NEXANS #10 Blanco	\$	3,299	10	\$	32,990
Cable De Cobre NEXANS #10 Verde	\$	3,299	10	\$	32,990
CABLE FOTOVOLTAICO NEXANS AWG#12 4MM Rojo	\$	5,300	30	\$	159,000
CABLE FOTOVOLTAICO NEXANS AWG#12 4MM Negro	\$	5,300	30	\$	159,000
<b>Total</b>	\$				12,432,708

Los precios anteriormente presentados fueron consultados de tiendas como Homecenter, Solartex, Electrsevimos, Interelectricas, entre otras.

#### 4. Conclusiones

Gracias a este proyecto se logró establecer el estado actual de la instalación fotovoltaica del PTG-UIS, respecto al marco normativo y de buenas prácticas; a través, de la implementación de diferentes técnicas de diagnóstico, permitiendo identificar los elementos que se reutilizaran, así como los que se deben adquirir para llevar a cabo el mejoramiento de la instalación eléctrica.

Se determinaron los requerimientos que debe cumplir la instalación para permitir el desarrollo de diferentes actividades académicas, con el fin de aprovechar a plenitud los recursos presentes en el laboratorio 308 del PTG-UIS; todo esto posible gracias a la adaptación de las recomendaciones descritas por los docentes en las encuestas, resultados que se plasmaron en las propuestas de diseño presentadas.

### Referencias Bibliográficas

- Ardobot. (2022). *Fusible Corto de Vidrio 20x5mm 1a*.  
<https://www.ardobot.co/fusible%20corto%20de%20vidrio%2020x5mm%201a.html>
- Ávila, P (2019). *Equipos de Puesta a Tierra y Aislamiento*. <https://www1.elvatron.com/equipos-de-puesta-a-tierra-y-aislamiento/7-consecuencias-de-un-mal-sistema-de-puesta-a-tierra>
- Bohórquez, D., y Pérez, M. (s.f.). *Requerimientos de una instalación eléctrica para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica*. [PowerPoint].
- CIRPROTEC. (2022). *Funcionamiento y selección de un protector SPD*.  
<http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Area-de-conocimiento/Proteccion-contrasobretensiones/DPS/Sobretensiones-Transitorias-DPS/Funcionamiento-y-seleccion-de-un-protector-SPD>
- CIRPROTEC. (2022). *Parámetros de protección según IEC*.  
<http://www.cirprotec.com/es/Soporte/Area-de-conocimiento/Proteccion-contrasobretensiones/DPS/Sobretensiones-Transitorias-DPS/Parametros-de-proteccion-segun-IEC>
- Enelx. (2022). *¿Qué es una instalación fotovoltaica?* <https://www.enelx.com/es/questions-and-answers/eindustry/what-is-a-photovoltaic-system>
- Equipo AC//DC. (2014). *Conductores eléctricos*.  
<http://cbtis189proyectosytareasacdc.blogspot.com/2014/02/conductores-electricos.html>
- García, M., Domingo, J., Gámiz, J., y Martínez, H. (2019). *Automatismos Industriales*. Marcombo.
- Harper, E. (2017). *Instalaciones y sistemas fotovoltaicos*. Limusa

- IESA. (2022). *Interruptor termomagnético p/riel/din 3p 40a 480v 5sy43407cc siemens*.  
<https://www.iesacr.com/shop/product/51707cc-interruptor-termomagnetico-p-riel-din-3p-40a-480v-5sy43407cc-siemens-8768#attr=>
- Intelbras. (2022). *Módulo fotovoltaico EMS 330P*. <https://www.intelbras.com/es/modulo-fotovoltaico-ems-330p-ems-330-p>
- Interreg Europe. (2020). *Renewable energy selfconsumption. A Policy Brief from the Policy Learning Platform on Low-carbon economy*.  
[https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/Energy\\_self-consumption\\_Policy\\_brief\\_final.pdf](https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/Energy_self-consumption_Policy_brief_final.pdf)
- JD Eléctricos. (2020). *Conexión a tierra: ¿qué es y cómo funciona?*  
<https://jdelectricos.com.co/conexion-a-tierra>
- Martínez-Peñalosa, A., y Osma-Pinto, G. (2021). Analysis of the Performance of the Norton Equivalent Model of a Photovoltaic System Under Different Operating Scenarios. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 16(4), 328-343.
- Mc Graw Hill companies. (s.f.). *Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red*.  
<https://docplayer.es/14574530-Instalaciones-fotovoltaicas-conectadas-a-red.html>
- Mheducación. (s.f.). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*.  
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Mlstatic. (2022). *Caja de unión DC*. [https://http2.mlstatic.com/D\\_NQ\\_NP\\_2X\\_698504-MCO31006764937\\_062019-F.webp](https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_698504-MCO31006764937_062019-F.webp)
- Mundo Eléctrico. (2020). *Cables para sistemas fotovoltaicos*.  
<https://www.mundoelectrico.com/index.php/component/k2/item/792-cables-para-sistemas-fotovoltaicos>

NTC 2050. (1998). *Código eléctrico colombiano*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Photon Renovables. (2020). *Conectores de paneles solares, ¿Para qué se usan?*  
<https://photonrenovables.com/conectores-de-paneles-solares-para-que-se-usan/>

PLC city. (2022). *A9DE3610 Schneider Electric*. [https://www.plc-city.com/shop/en/schneider-electric/snr-a9de3610-nfs.html?SubmitCurrency=1&id\\_currency=13&gclid=CjwKCAjwpqCZBhAbEiwAa7pXeXVo3gTRsIXg0qfujvmam5VHD3LviR8g-jvK88XK27Swjs4jfgLThoCwDQQA vD BwE](https://www.plc-city.com/shop/en/schneider-electric/snr-a9de3610-nfs.html?SubmitCurrency=1&id_currency=13&gclid=CjwKCAjwpqCZBhAbEiwAa7pXeXVo3gTRsIXg0qfujvmam5VHD3LviR8g-jvK88XK27Swjs4jfgLThoCwDQQA vD BwE)

Poveda, D. (2020, noviembre 12). *Microred en industria*.  
<https://shop.tecsostenible.com/blogs/post/las-micro-redes-electricas-para-consumo-de-energia-local-verde-se-presentan-como-una-alternativa-que-ahora-es-posible-y-que-beneficia-a-productores-energeticos-locales-consumidores-e-incluso-a-las-companias-electricas.html>

RETIE. (2008). *Resolución no. 18 1294. Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE)*.  
<https://conatel.org/wp-content/uploads/2019/07/RETIE-RESOLUCION-18-1294-AGOSTO-06-DE-2008.pdf>

Sánchez, M. (2007). *Energía solar fotovoltaica*. Innovación y Cualificación, S.L

Siles, M. (2017). *Soportes para placas solares: el patito feo de las instalaciones*. Solarmat.  
<https://www.solarmat.es/blog/soportes-para-placas-solares-el-patito-feo-de-las-instalaciones/>

Sofamel. (2022). *501 SCF/C Conectores, tipo MC4, para 1000 V y 1500 V*.  
<https://sofamel.com/es/pr/conectores-para-cables-fotovoltaicos/501-scf-c-462-98>

- Solartex. (2022). *Caja de conexión paneles solares*. <https://www.solartex.co/tienda/producto/caja-de-conexion-paneles-solares/>
- Solartex. (2022). *DPS 3P 1000VDC 20-40KA Worldsunlight*. <https://www.solartex.co/tienda/producto/dps-3p-1000vdc-20-40ka-worldsunlight/>
- SunFields Europe. (2022). *Inversor SMA Sunny Tripower 15000TL – 17000TL*. <https://www.sfe-solar.com/inversores-solares-fotovoltaicos/sma/sunny-tripower-15000tl-17000tl/>
- Tobajas, C. (2015). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones de la U.
- Trujillo, T., De la Cruz, J., y Gallego, J. (2005). *Instalaciones de puesta a tierra y protección de sistemas eléctricos*. Ediciones Experiencia.
- Wikipedia (2022). *Inversor (electrónica)*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_%28electr%C3%B3nica%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_%28electr%C3%B3nica%29)
- Yuba. (2015). *Parámetros de un inversor*. <http://www.yubasolar.net/2015/03/parametros-de-un-inversor.html>

## Apéndices

### Apéndice A. Fundamentos de las instalaciones fotovoltaicas

Este capítulo está planteado para aclarar el funcionamiento, criterios y componentes utilizados en una instalación fotovoltaica, profundizando en las instalaciones conectadas a la red (On-Grid).

#### Conceptos básicos de las instalaciones eléctricas

Según el Retie, se considera o se define a una instalación eléctrica, como un sistema que contiene elementos tales como conductores, equipos, máquinas y aparatos, que conforman un sistema eléctrico y se utilizan para la generación, transmisión, transformación, distribución o uso final de la energía eléctrica (RETIE, 2008, artículo 2.1). Esta y otras definiciones como las que se muestran en la Tabla 1, son esenciales para comprender lo expuesto en este documento.

#### Figura 22.

*Instalación on-grid.*



Nota. Tomado de Interreg Europe (2020)

**Tabla 32.***Definiciones*

Término	Definición
Cable	Conjunto de alambres sin aislamiento entre sí y entorchado por medio de capas concéntricas.
Carga	La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.
Capacidad nominal	El conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas a un equipo o sistema eléctrico por el diseñador, para definir su funcionamiento bajo unas condiciones específicas.
Certificación	Procedimiento mediante el cual un organismo expide por escrito o por un sello de conformidad, que un producto, un proceso o servicio cumple un reglamento técnico o una(s) norma(s) de fabricación.
Corriente eléctrica	Es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro.
Tensión	La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio; un error frecuente es hablar de “voltaje”.
Corrosión	Ataque a una materia y destrucción progresiva de la misma, mediante una acción química, electroquímica o bacteriana.
Estructura	Todo aquello que puede ser construido o edificado, pueden ser fijas o móviles, pueden estar en el aire, sobre la tierra, bajo tierra o en el agua.
Fusible	Componente cuya función es abrir, por la fusión de uno o varios de sus componentes, el circuito en el cual está insertado.
Inspección	

Término	Definición
	Conjunto de actividades tales como medir, examinar, ensayar o comparar con requisitos establecidos, una o varias características de un producto o instalación eléctrica, para determinar su conformidad.
Punto caliente	Punto de conexión que esté trabajando a una temperatura por encima de la normal, generando pérdidas de energía y a veces, riesgo de incendio.

*Nota.* Tomado de (RETIE 2008, artículo 3)

### **Instalación fotovoltaica**

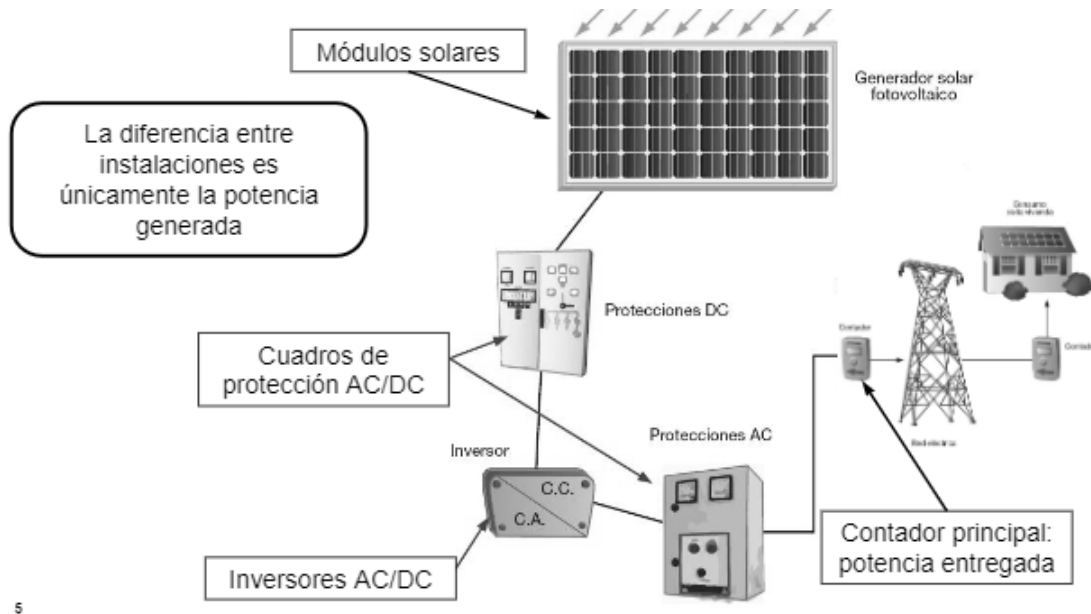
Una instalación fotovoltaica es aquella que, a través de un conjunto de módulos solares, tiene la capacidad de producir energía supliendo parcial o totalmente el consumo de energía eléctrica. Esta instalación se puede dividir en dos tipos, las conectadas a la red (ON GRID) y las no conectada a la red (OFF GRID).

### **Instalaciones conectadas a la red (On-Grid)**

Tipo de montaje caracterizado por alimentar una carga conectada a la red eléctrica, con la capacidad de tener un flujo de energía bidireccional, debido a que la energía sobrante puede ser enviada de regreso al operador de red en lugar de solo almacenarla en baterías, consiguiendo reducciones en el consumo de energía proveniente de la red.

**Figura 23.**

*Instalaciones fotovoltaicas*





*Nota.* Tomado de Mc Graw Hill companies (s.f)


**Componentes principales de una instalación conectada a la red (On-Grid)**

La instalación fotovoltaica conectada a la red cuenta con varios componentes que permiten su funcionamiento, entre estos no se suele encontrar baterías o reguladores de carga, siendo esta una de las principales diferencias con respecto a la no conectada a la red (Off-grid). En la siguiente Tabla se muestra la lista de componentes principales de este tipo de instalación.

**Tabla 33.**

*Componentes principales de una instalación conectada a la red (On-Grid)*

Componente	Características	Parámetros	Imagen
Modulo fotovoltaico.	Este elemento está compuesto por cierto número de células solares conectadas eléctricamente en serie; su función es captar energía solar y convertirla en energía eléctrica (Tobajas, 2015).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Tipo de modulo (Policristalino o Monocristalino).</li> <li>2.Tensión de trabajo.</li> <li>3. Potencia de salida.</li> <li>4.Tolerancia.</li> <li>5. Eficiencia (Tobajas, 2015).</li> </ol>	 <p>Tomado de Intelbras (2022)</p>
Inversor CD/CA.	<p>Este elemento transforma la señal de corriente DC que sale del panel fotovoltaico, a una señal de corriente AC sincronizada con la red eléctrica, en frecuencia y fase.</p> <p>Un inversor consta de un circuito electrónico cuyos componentes principales son transistores o tiristores, los cuales cortan la corriente en continua, alternándola y generando una onda cuadrada, esta onda puede ser convertida en una onda senoidal, si se filtra (Harper, 2017).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Tensión nominal de entrada y de salida</li> <li>2.Potencia nominal (VA).</li> <li>3.Potencia activa (W).</li> <li>4.Factor de potencia.</li> <li>5.Distorsión Armónica (THD).</li> <li>6. Forma de onda que tiene la señal a la salida del inversor (Yuba, 2015).</li> </ol>	 <p>Tomado de SunFields Europe (2022).</p>

Componente	Características	Parámetros	Imagen
Estructura de soporte.	<p>Son las estructuras que sostienen los módulos y los pueden orientar inclinándolos hacia el sol (Enelx, 2022).</p> <p>Tipos de soportes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fijo</li> <li>2. Ajustable</li> <li>3. Automático</li> </ol> <p>Lugar de instalación:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suelo</li> <li>2. Mástil</li> <li>3. Pared</li> <li>4. Techo</li> </ol> <p>(Sánchez, 2007)</p>	<p>Lugar de montaje</p> <p>Tipo de soporte</p> <p>Cantidad e paneles</p> <p>Influencia del viento</p> <p>Material de fabricación. (Sánchez, 2007).</p>	 <p>Tomado de Siles (2017)</p>



**Componentes de protección en una instalación On-grid**



Una instalación eléctrica esta expuestas a situaciones que pueden generar daños, a los componentes que la constituyen o a las personas que hacen uso de esta, estas situaciones se presentan debido a cortocircuitos, sobrecargas, fallas de aislamiento, etc. Tenido en cuenta lo anterior, en las instalaciones eléctricas se hace uso de elementos de protección, cuyo objetivo es limitar las consecuencias peligrosas o destructivas de las situaciones mencionadas.

En el caso de las instalaciones conectadas a la red (ON-GRID), las protecciones que se suelen utilizar se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 34.**

*Componentes de protección de una instalación On-grid*

Componente	Características	Parámetros	Imagen
Fusible	<p>Los fusibles son los elementos que generalmente están compuesto, por hilos o láminas de cobre. Cuando se presenta una sobreintensidad o cortocircuito, el fusible se funde lo que genera la interrupción del paso de corriente eléctrica (García et al., 2019).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corriente nominal.</li> <li>2. Tensión máxima del fusible.</li> <li>3. Clase de fusible (gl, gG, aM). (García et al., 2019).</li> </ol>	 <p>Tomado de Arrobot (2022)</p>
Interruptores Termomagnéticos	<p>Este elemento está compuesto de dos circuitos, uno magnético y otro térmico, el circuito magnético está formado por una inductancia y protege la instalación, si se presenta un cortocircuito, por otra parte, el circuito térmico está compuesto por dos laminas bimetálicas, protegiendo a la instalación si se presentan sobreintensidades. (García et al., 2019).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corriente nominal o calibre (In).</li> <li>2. Corriente de magnético (Im).</li> <li>3. Tensión nominal.</li> <li>4. Numero de polos. (García et al., 2019).</li> </ol>	 <p>Tomado de IESA (2022)</p>

Componente	Características	Parámetros	Imagen
DPS	<p>Este dispositivo protege de las sobretensiones transitorias, se encuentra entre los conductores activos y tierra, paralelo al equipo a proteger (CIRPROTEC, 2022).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corriente de impulso (Iimp).</li> <li>2. Intensidad máxima de descarga (Imax).</li> <li>3. Corriente nominal (In).</li> <li>4. Nivel de protección (Up). (CIRPROTEC, 2022).</li> </ol>	 <p>Tomado de Solartex (2022)</p>
Relé diferencial	<p>Este elemento corta el paso de corriente eléctrica cuando se detecta una corriente de fuga, las cuales pueden presentarse debido a defectos de aislamiento, personas que tocan partes metálicas puesta a tensión, etc. En instalaciones monofásicas el relé diferencial está compuesto por de tres bobinas enrolladas en un núcleo magnético, al cual se le llama Toroide. (García et al., 2019).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensibilidad.</li> <li>2. Corriente nominal.</li> <li>3. Numero de polos.</li> </ol> <p>(García et al., 2019).</p>	 <p>Tomado de PLC city (2022)</p>

**Cableado y equipo de conexión en una instalación conectada a la red (On-Grid)**




Las instalaciones eléctricas necesitan de elementos tales como conductores, que permitan realizar la interconexión de sus equipos principales, en el caso de las instalaciones fotovoltaicas los elementos a utilizar tienen ciertas particularidades, debido a varios factores, entre los que se


encuentran la posible exposición de algunos de estos elementos, a condiciones ambientales adversas al encontrarse a la intemperie.

En la siguiente Tabla se exponen algunos de elementos necesarios, para la interconexión en los sistemas eléctricos conectados a la red (ON-GRID).

**Tabla 35.**

*Cableado y equipo de conexión en una instalación conectada a la red (On-Grid)*

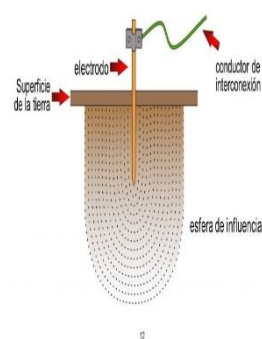
Componente	Características	Parámetros	Funcionamiento
Conductores DC	Por estos circulara la corriente total generada por el sistema fotovoltaico, se utilizan secciones superiores para mitigar las caídas de tensión, ya que se utilizan tensiones relativamente bajas (12V, 24V, 48V).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibre del conductor</li> <li>2. Resistencia eléctrica</li> <li>3. tensión nominal</li> <li>4. Corriente nominal</li> <li>5. Resistencia a agentes externos.</li> </ol>	 <p>Tomado de Mundo eléctrico (2020)</p>
Conductores AC	Medio por el cual circula la corriente generada por el sistema fotovoltaico luego del paso por el inversor, en sistemas On-grid es la conexión inversor-medidor bidireccional o con la carga. Deben soportar las corrientes nominales de generación en AC.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calibre del conductor</li> <li>2. Resistencia eléctrica</li> <li>3. tensión nominal</li> <li>4. Corriente nominal</li> </ol>	 <p>Tomado de Equipo AC/DC (2014)</p>
Conectores MC4	Tipo de conector especializado para el uso de paneles solares, se emplean para una conexión entre paneles que garantiza la seguridad y estabilidad	Conector universal	

	de la unión (Photon Renovables, 2020).	Tomado de Sofamel (2022)
Caja de conexiones	<p>Esta caja contiene los diodos de protección que solo dejan pasar la corriente en un sentido (Mheducación, s.f.).</p> <p>1. Grado de protección IP 2. dimensiones</p>	 <p>Tomado de Solartex (2022)</p>

**Componentes complementarios de una instalación On-grid**

**Tabla 36.**

*Componentes complementarios de una instalación On-grid)*

Componente	Características	Imagen
Puesta a tierra	<p>La puesta a tierra es una conexión eléctrica de las partes metálicas de un receptor o elementos pasivo de una instalación, a un electrodo en forma de pica, placa conductora enterrado, con el fin de igual el potencial de los elementos con el terreno (Trujillo et al., 2005).</p>	 <p>Tomado de JD Eléctricos (2020)</p>

Caja de union DC  
(Combiner box)

Esta caja contiene los siguientes elementos: dispositivos de protección de sobrecargas en cada conductor de entrada, Seccionador interno para la desconexión DC del conductor de salida, equipo de monitorización, entre otros (Bohórquez y Pérez, s.f.).



Tomado de Mlstatic (2022)

Canalización

Este elemento es un conducto cerrado, diseñado para contener alambres, cables o buses-ducto, pueden ser metálicas o no metálicas

Tipos:

Tubería  
Bandeja portacables (Harper, 2017).



### **Disposiciones reglamentarias, normativas y buenas prácticas aplicables a sistemas fotovoltaicos conectados a la red (ON-GRID)**

En esta Sección se muestran los aspectos reglamentarios, normativos y de buenas prácticas, que aplican a una instalación fotovoltaica conectada a la red, enfatizando en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y la norma técnica colombiana (NTC 2050). Además, se exponen las disposiciones normativas de la IEC, que se adaptan a los aspectos no son cubiertos por el Retie o la NTC 2050, tales como el diagnostico de los paneles fotovoltaicos, a través de la cámara termográfica.

**Disposiciones de acuerdo con el Retie y NTC 2050 en sistemas fotovoltaicos**

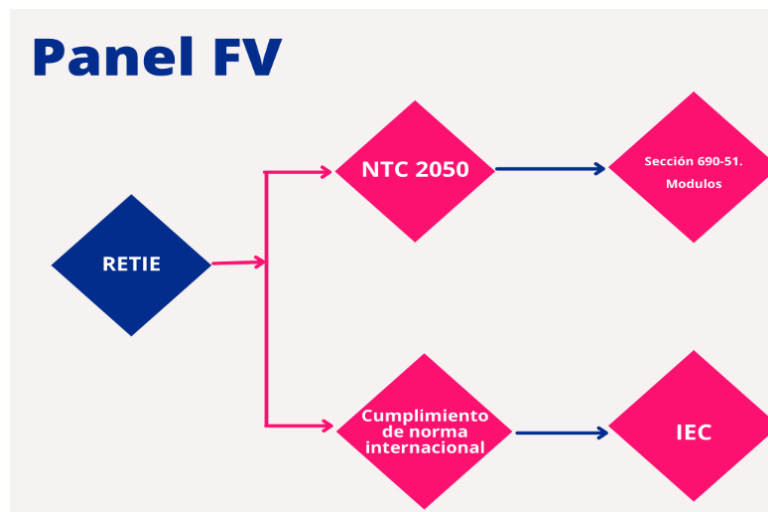
Las instalaciones eléctricas fotovoltaicas y sus elementos deben cumplir la reglamentación y la normativa vigente con la finalidad de obtener un sistema seguro y confiable para las personas. Para este caso se presentarán los artículos aplicables de la NTC2050 y el RETIE en instalaciones fotovoltaicas On-Grid, los cuales serán referentes para el desarrollo del diseño de aspectos como protecciones, conductores, canalizaciones, requisitos y parámetros de instalación, etc.

**Requisitos reglamentarios y normativos del panel fotovoltaico**

El RETIE no establece directamente los requisitos que debe cumplir un panel fotovoltaico, en vez de esto, exige el cumplimiento de una norma internacional, tal como la norma IEC y demostrarlo mediante el certificado de conformidad del producto. Sin embargo, el reglamento técnico de instalaciones eléctricas establece que, para la instalación y montaje, se debe seguir lo expuesto en la Sección 690 de la NTC 2050.

**Figura 24.**

*Panel FV*



Entre los parámetros que debe cumplir el rotulado del panel fotovoltaico, según la Sección 690-51 de la NTC, se encuentran los siguientes valores nominales.

Tensión nominal de circuito abierto

Tensión de operación

Tensión máxima admisible del sistema

Corriente de operación

Corriente de cortocircuito

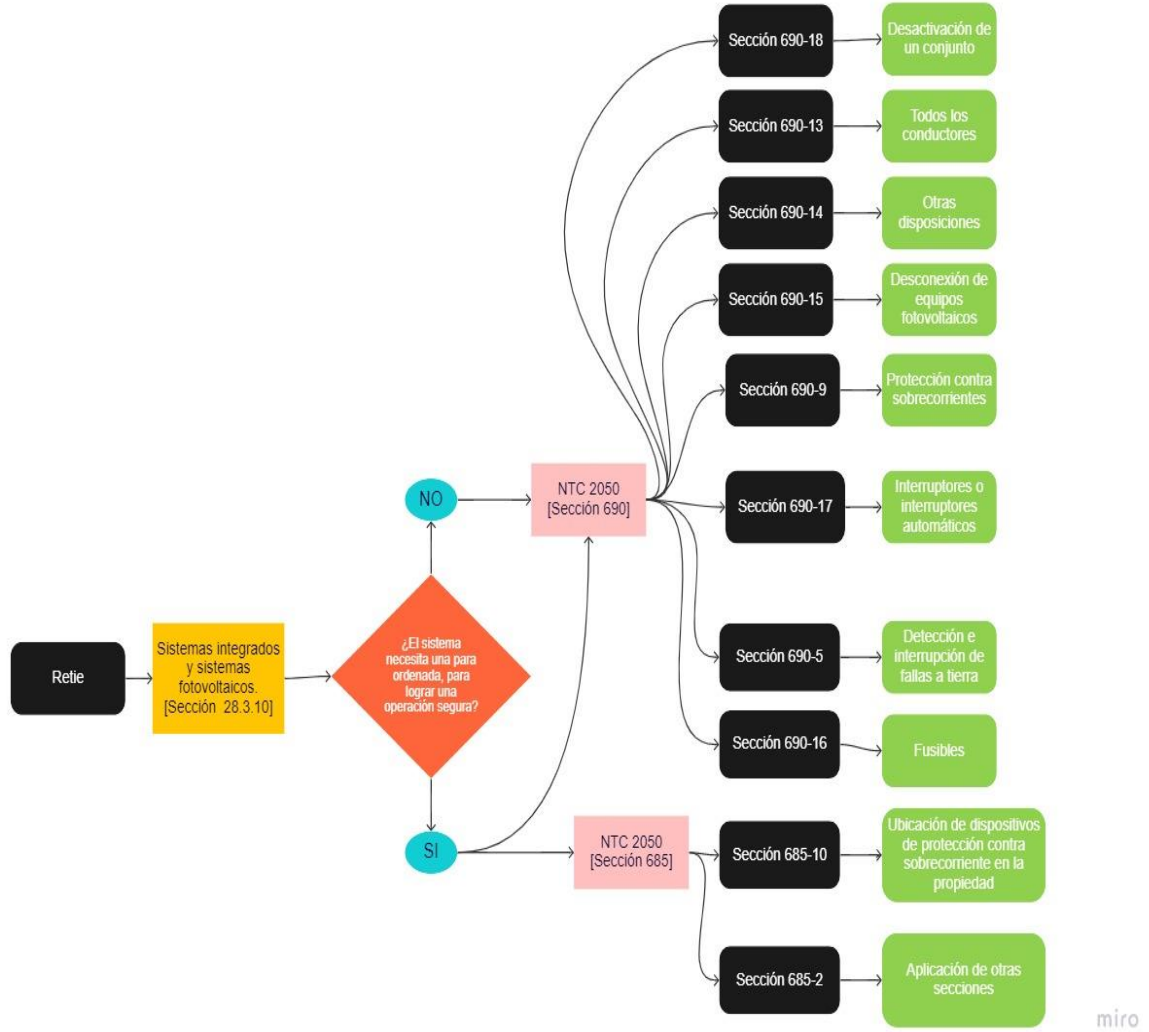
Potencia máxima

### **Requisitos reglamentarios y normativos de las protecciones eléctricas en sistemas fotovoltaicos conectado a la red**

Las protecciones son uno de los elementos fundamentales de una instalación fotovoltaica, por esta razón el Retie establece que estos elementos tienen que cumplir con ciertas secciones de la NTC 2050. La siguiente imagen ilustra los requisitos que deben seguir las protecciones eléctricas.

**Figura 25.**

*Protecciones eléctricas*



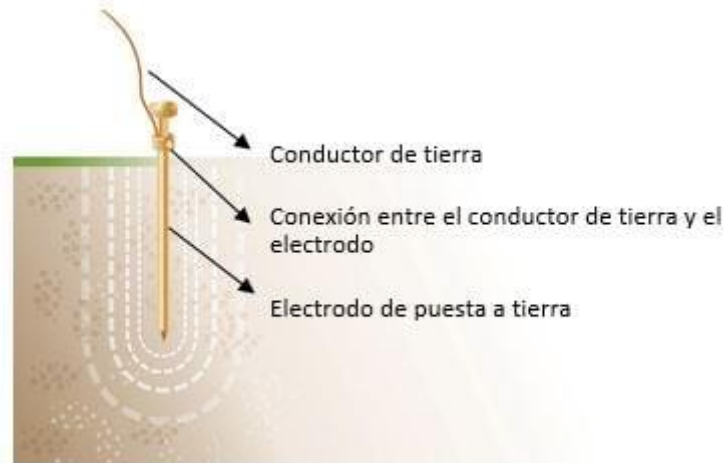
Como se puede apreciar en la figura 24, las protecciones eléctricas para sistemas fotovoltaicos siempre deben cumplir con lo establecido en la Sección 690 de la NTC 2050, además de la Sección 685, si aplica el caso.

**Requisitos reglamentarios y normativos para la puesta a tierra, en instalaciones fotovoltaicas conectada a la red**

La puesta a tierra se usa para igualar el potencial de todo elemento conductor pasivo, que pueda ponerse bajo tensión por una circunstancia no deseada, con el fin de evitar posibles daños a personas, animales o equipos.

**Figura 26.**

*Puesta a tierra*

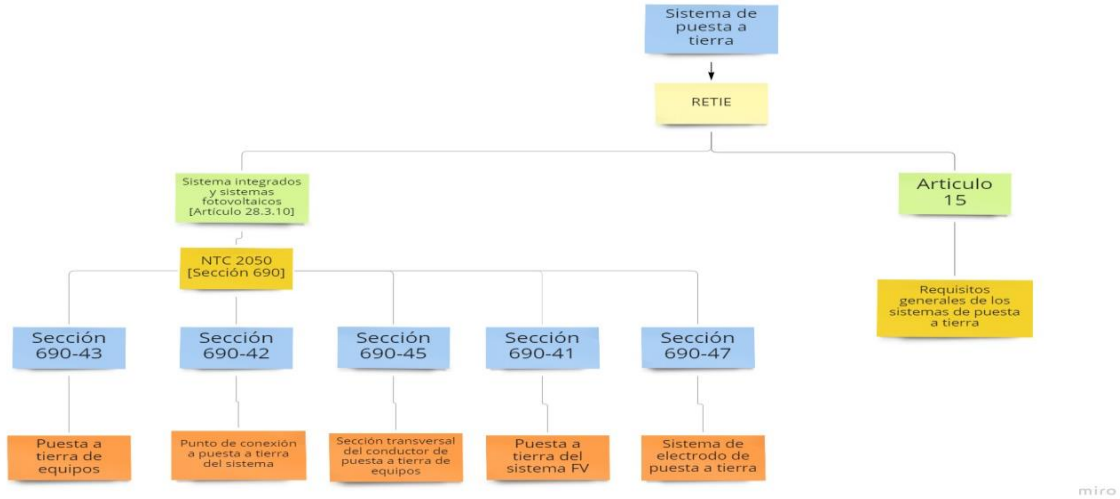


*Nota.* Tomado de Ávila (2019)

El diseño del sistema de puesta a tierra tiene que cumplir con normas y reglamentos que aseguren su correcto funcionamiento, en Colombia el Retie y la NTC 2050 establecen los parámetros de diseño. Para los sistemas fotovoltaicos los requisitos que se debe cumplir se exponen en la siguiente figura.

**Figura 27.**

*Diseño del sistema a tierra*



**Requisitos reglamentarios y normativos para las canalizaciones, en instalaciones fotovoltaicas conectada a la red**

Es indispensable la selección correcta de la canalización a utilizar, esto con el fin de proteger los conductores de la instalación contra los agentes externos, por esta razón Podemos encontrar que el RETIE y la NTC2050 se contempla el uso de un tipo de canalización en especial de acuerdo con su finalidad y lugar de instalación, donde podemos encontrar las siguientes regulaciones aplicables a los sistemas fotovoltaicos:

**Tabla 37.**

*Requisitos reglamentarios y normativos para las canalizaciones, en instalaciones fotovoltaicas conectada a la red*

NTC Secc.400-14	2050	Protección contra daños: Uso de accesorios o pasacables.
NTC Secc.300-6	2050	Protección contra la corrosión: Las canalizaciones y sus accesorios deben ser de un material adecuado para soportar el medio en donde estén instalados.
RETIE Art.20.6.1.2 d)		No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a la luz solar, si no están certificadas para tales condiciones.
RETIE Art.20.3		Bandejas portacables
RETIE a)	Art.20.6	Las partes de canalizaciones expuestas a la vista deben marcarse en franjas de color naranja de al menos 10cm de ancho.

**Requisitos reglamentarios y normativos para los conductores en instalaciones fotovoltaicas conectada a la red**

Elemento que permite la transmisión de la energía a todas las partes de la instalación eléctrica, ya que ofrece baja resistencia eléctrica; su correcta selección es indispensable para lograr una instalación más eficiente, duradera y segura, por esta razón el RETIE y la NTC2050 contemplan los siguientes parámetros para su implementación en sistemas fotovoltaicos.

**Buenas prácticas en instalaciones conectadas a la red**

**Soporte del panel fotovoltaico.**

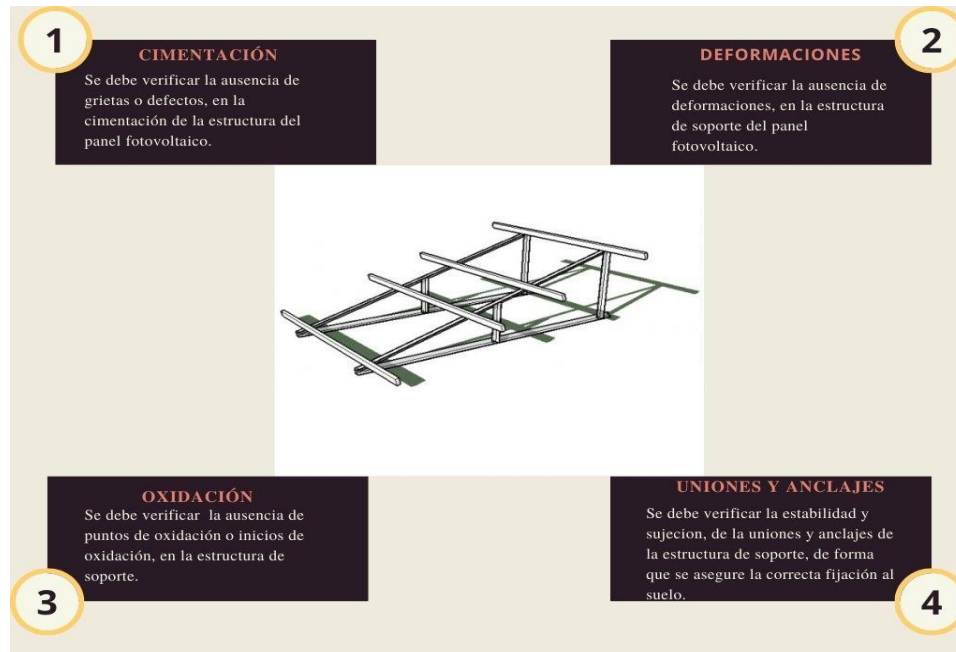
Los soportes son elementos que proporcionan resistencia, rigidez, aislamiento y estanqueidad a los paneles solares, están constituidos principalmente por materiales metálicos y son revestidos con productos anticorrosión.

El paso del tiempo y las diversas condiciones ambientales a las que son expuestos, pueden ocasionar que estas estructuras presenten diversas fallas. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe

seguir un conjunto de medidas para verificar el adecuado estado de los soportes, estas medidas se exponen a continuación.

**Tabla 38.**

*Soporte del panel fotovoltaico*



**Inversor.**

El inversor es un elemento fundamental de una instalación fotovoltaica conectada a la red, por esta razón se debe procurar mantenerlo en perfecto estado de uso, de acuerdo con lo anterior, se recomienda seguir una serie de medidas y normas que se pueden observar en la tabla 38, las cuales no están establecidas en el Retie o NTC 2050.

**Figura 28.**

*Inversor*



*Nota.* Tomado de Wikipedia (2022).

**Tabla 39**

*Medidas recomendadas*

<b>Medidas Recomendadas</b>
1. Los soportes de los inversores deben estar contruidos de materiales resistentes y no inflamables.
2. El inversor debe estar protegido de la radiación directa.
3. Ausencia de ruidos extraños en el inversor.
4.La tensión de entrada y de salida del inversor, coincide con lo establecido por el fabricante.
5.La instalación del inversor debe llevar la distancia estipulada por el fabricante y el cableado debe estar de forma ordenada, sin cruzar los conductores.
6. Los parámetros de distorsión armónica y eficiencia, concuerdan con los suministrados por el fabricante.

**Medidas Recomendadas**

7. Cumplimiento de lo establecido en el manual del fabricante, sobre requisitos normativos y reglamentarios.

**Apéndice B. Encuestas**

**Tabla 40.**

*Encuesta María Alejandra Mantilla*

**María Alejandra Mantilla Villalobos**

IDENTIFICACIÓN NECESIDADES DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

Pregunta	DOCENCIA	INVESTIGACIÓN
1. ¿Qué actividades se soportarán en el laboratorio?		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control y operación de microrredes eléctricas.</li> <li>- Control y operación de generadores interconectados a la red mediante inversores de potencia.</li> <li>- Control y operación de sistemas fotovoltaicos.</li> <li>- Implementación y control de convertidores electrónicos de potencia para diferentes aplicaciones (energías renovables, generación distribuida, filtros activos de potencia, almacenamiento de energía, vehículos eléctricos, fuentes de alimentación, entre otros).</li> <li>- Monitorización y evaluación de la operación de la microrred eléctrica, generadores distribuidos, y convertidores electrónicos en diferentes aplicaciones.</li> <li>- Caracterización de cargas eléctricas.</li> </ul>

<p>2. ¿Qué actividades desarrollará el estudiante en el laboratorio?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar componentes de convertidores electrónicos de potencia en aplicaciones de microrredes eléctricas y generación distribuida.</li> <li>- Identificar componentes de una microrred eléctrica en AC.</li> <li>- Identificar componentes de un sistema fotovoltaico de conexión a la red.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño, implementación y evaluación de algoritmos de control y estrategias de gestión.</li> <li>- Diseño, implementación y verificación del funcionamiento de convertidores electrónicos de potencia.</li> <li>- Monitorización de la microrred eléctrica.</li> <li>- Caracterización de cargas eléctricas.</li> </ul>
<p>3. ¿Cómo se espera que la instalación fotovoltaica ayude en las actividades a desarrollar en el laboratorio?</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejecución de experimentos más realistas considerando la integración del sistema fotovoltaico ya sea a la red eléctrica o a la microrred experimental.</li> <li>- Comparación de resultados experimentales del sistema fotovoltaico real respecto a sistemas de generación emulados o controlados considerando estrategias implementadas en el laboratorio.</li> </ul>
<p>4. ¿Qué competencias se espera que el estudiante desarrolle o fortalezca a partir de su experiencia en el laboratorio?</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconoce componentes de convertidores electrónicos de potencia en aplicaciones de microrredes eléctricas y generación distribuida.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reconoce componentes de una microrred eléctrica en AC.</li> <li>- Reconoce componentes de un sistema fotovoltaico de conexión a la red.</li> <li>- Comprende el funcionamiento de microrredes eléctricas en AC.</li> <li>- Diseña estrategias de control para inversores de potencia aplicados en generación distribuida.</li> <li>- Diseña estrategias de control para sistemas fotovoltaicos.</li> <li>- Diseña y realiza pruebas experimentales para evaluar estrategias de control para convertidores electrónicos de potencia en diferentes aplicaciones (energías renovables, generación distribuida, filtros activos de potencia, almacenamiento de energía, vehículos eléctricos, fuentes de alimentación, entre otros).</li> <li>- Realiza la monitorización de variables eléctricas.</li> <li>- Caracteriza cargas eléctricas bajo diferentes escenarios de operación.</li> </ul>
<p>5. ¿Cuáles considera que son los aspectos técnicos que debe cumplir la instalación fotovoltaica para el desarrollo de las actividades?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumplimiento de normatividad.</li> <li>- Protecciones eléctricas.</li> <li>- Diagrama eléctrico de los diferentes componentes que permita fácilmente la identificación de conexiones y equipos.</li> <li>- Operación tanto del inversor string, como de los microinversores Enphase ya existentes en el laboratorio.</li> <li>- Monitorización de las variables del sistema.</li> <li>- Correcta operación de los componentes.</li> <li>- Flexibilidad para la conexión del sistema fotovoltaico ya sea a la red eléctrica o a la microrred experimental.</li> </ul>
<p>6. ¿Cuáles de los aspectos mencionados en el ítem 5, considera que la instalación actualmente no cumple?</p>	<p>Considero que no cumple ninguno.</p>
<p>7. ¿Qué medidas considera que se deberían tomar para la corrección</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión del estado actual de la instalación fotovoltaica.</li> </ul>

de los aspectos que no se cumplen?		- Identificación de aspectos por mejorar. - Diseño e implementación de las mejoras.
8. ¿Qué cargas eléctricas planea alimentar con la instalación eléctrica a la cual está conectado el SFV?		- Cargas resistivas de los módulos adaptables. - Electrodomésticos existentes en el laboratorio. - Motores eléctricos. - Cargas no lineales como luminarias, variadores de velocidad, computadores, entre otros.
9. ¿A cuáles situaciones de riesgo, el estudiante estará expuesto en las actividades a ejecutarse en el laboratorio?		
10. ¿Según las actividades a desarrollarse en el laboratorio, considera que es necesario ampliar o actualizar la tecnología del sistema fotovoltaico (más paneles fotovoltaicos, nuevos inversores, etc.)?		

**Tabla 41.**

*Encuesta Juan Manuel Rey*

**Juan Manuel Rey**

IDENTIFICACIÓN NECESIDADES DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

Pregunta	DOCENCIA	INVESTIGACIÓN
		Montaje y puesta en operación de una microrred para la realización de pruebas experimentales de

<p>1. ¿Qué actividades se soportarán en el laboratorio?</p>	<p>estrategias de control / Análisis operativo de sistemas distribuidos con o sin conexión a la red</p>
<p>2. ¿Qué actividades desarrollará el estudiante en el laboratorio?</p>	<p>Implementación y evaluación del funcionamiento de estrategias de control y monitorización / Evaluación de escenarios operativos</p>
<p>3. ¿Cómo se espera que la instalación fotovoltaica ayude en las actividades a desarrollar en el laboratorio?</p>	<p>El sistema FV permitirá la evaluación de estrategias de control y monitorización en escenarios operativos más realistas</p>
<p>4. ¿Qué competencias se espera que el estudiante desarrolle o fortalezca a partir de su experiencia en el laboratorio?</p>	<p>Diseña sistemas de control para la operación de generadores distribuidos en microrredes eléctricas / Identifica los elementos y dispositivos necesarios para la operación de sistemas FV y microrredes eléctricas / Diseña pruebas experimentales para evaluar la operación de sistemas FV / Manipula correctamente equipos de medición, control y monitorización de microrredes eléctricas</p>
<p>5. ¿Cuáles considera que son los aspectos técnicos que debe cumplir la instalación fotovoltaica para el desarrollo de las actividades?</p>	<p>Cumplimiento de normatividad / Señalización de equipos / Protecciones (incluso redundantes, teniendo en cuenta el carácter experimental del sistema) / Borneras de fácil manipulación / Diseño adecuado del sistema de puesta a tierra</p>
<p>6. ¿Cuáles de los aspectos mencionados en el ítem 5, considera que la instalación actualmente no cumple?</p>	<p>-</p>
<p>7. ¿Qué medidas considera que se deberían tomar para la corrección de los aspectos que no se cumplen?</p>	<p>Realizar un levantamiento y evaluación del sistema actual con el fin de identificar las deficiencias. Diseño y plan de intervención y modificaciones.</p>

<p>8. ¿Qué cargas eléctricas planea alimentar con la instalación eléctrica a la cual está conectado el SFV?</p>	<p>Cuando el SFV se conecte a la microrred se alimentarán cargas resistivas de los módulos adaptables</p>
<p>9. ¿A cuáles situaciones de riesgo, el estudiante estará expuesto en las actividades a ejecutarse en el laboratorio?</p>	<p>Fallas en las protecciones, sistemas de monitorización insuficientes para obtener los datos de los resultados experimentales deseados, cableado mal organizado que podría producir algún accidente</p>
<p>10. ¿Según las actividades a desarrollarse en el laboratorio, considera que es necesario ampliar o actualizar la tecnología del sistema fotovoltaico (más paneles fotovoltaicos, nuevos inversores, etc.)?</p>	<p>Siempre es deseable ampliar el sistema, pero esto depende de la aprobación de futuros proyectos de investigación</p>

**Tabla 42.**

*Encuesta German Osma*

**German Osma**

IDENTIFICACIÓN NECESIDADES DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

Pregunta	DOCENCIA	INVESTIGACIÓN
<p>1. ¿Qué actividades se soportarán en el laboratorio?</p>		<p>Emulación de microrredes Estudio de un SFV conectado a RED</p>
<p>2. ¿Qué actividades desarrollará el estudiante en el laboratorio?</p>		<p>Monitorizaciones variables eléctricas de la microrred y el SFV</p>

<p>3. ¿Cómo se espera que la instalación fotovoltaica ayude en las actividades a desarrollar en el laboratorio?</p>	<p>Facilita la identificación de los componentes a los estudiantes Suministra una fuente real de generación de energía un sistema fotovoltaico</p>
<p>4. ¿Qué competencias se espera que el estudiante desarrolle o fortalezca a partir de su experiencia en el laboratorio?</p>	<p>Reconoce componentes de una microrred emulada Reconoce componentes de un SFV conectado a la RED Monitoriza variables eléctricas Identifica características técnicas de la conexión eléctrica</p>
<p>6. ¿Cuáles considera que son los aspectos técnicos que debe cumplir la instalación fotovoltaica para el desarrollo de las actividades?</p>	<p>Correcto dimensionamiento de ductería, cableado y protecciones SPTA Acceso a la inspección de componentes (interior y exterior) Medios de desconexión en varias partes Botón de emergencia (interior) Señalización Boneras para conexión de medidores temporales Tablero con espacio para medidores permanentes Punto de Internet para Envoy</p>
<p>7. ¿Cuáles de los aspectos mencionados en el numeral 4, considera que la instalación actualmente no cumple?</p>	<p>Ninguno</p>
<p>8. ¿Qué medidas considera que se deberían tomar para la corrección de los aspectos que no se cumplen?</p>	<p>Trabajo de grado - Dimensionamiento de estos aspectos</p>

---

9. ¿Qué cargas eléctricas planea alimentar con la instalación eléctrica a la cual está conectado el SFV?

Pequeños motores  
Equipos de cómputo  
Equipo electrónico de laboratorio

---

8. ¿A cuáles situaciones de riesgo, el estudiante estará expuesto en las actividades a ejecutarse en el laboratorio?

No actuación de las protecciones apropiadamente  
Exposición a cableado no organizado

---

10. Según las actividades a desarrollarse en el laboratorio considera que es necesario ampliar o actualizar la tecnología del sistema fotovoltaico (más paneles fotovoltaicos, nuevos inversores, etc.)?

Colocar otro sistema de pequeño tamaño con tecnología actual

---

**Resumen de las encuestas**

En la siguiente figura se muestra el resumen de las encuestas realizadas a los docentes identificados.

**Figura 29.**

*Resumen de encuestas*

Germán Alfonso Osma	Juan Manuel Rey	Maria Alejandra mantilla
<p>Planea realizar actividades relacionadas con las microrredes</p>	<p>Planea realizar actividades relacionadas con las microrredes</p>	<p>Planea realizar actividades relacionadas con microrredes; además, trabajar con elementos de electrónica de potencia y caracterizar cargas.</p>
<p>Considera que la instalación debería cumplir con medidas, tales como, presencia de botón de emergencia, señalización, medios de desconexión, entre otros.</p>	<p>Considera que la instalación debería cumplir con la normativa; además de, protecciones redundantes (debido al carácter experimental de la instalación), entre otros aspectos técnicos.</p>	<p>Considera que la instalación debería cumplir con la normativa, protecciones; además, de la correcta identificación de los elementos presentes en la instalación, así como diagrama unifilar, entre otros.</p>
<p>Las cargas que planea alimentar son pequeños motores, equipos de computo y equipo electrónico de laboratorio.</p>	<p>Las cargas que planea alimentar son resistivas.</p>	<p>Planea alimentar electrodomésticos existentes en el laboratorio, motores eléctricos, cargas no lineales y resistivas.</p>
<p>Solo realizara actividades relacionadas con la investigación.</p>	<p>Solo realizará actividades relacionadas con la investigación.</p>	<p>Desarrollará actividades de docencia e investigación.</p>

**Apéndice C. Planos eléctricos**

En este apartado de presentan los planos que representan el estado actual de la instalación fotovoltaica del PTG-UIS, resultado del diagnóstico descrito en el capítulo 1 de este libro, a su vez, se exponen los planos eléctricos de la propuesta técnica elaborada de acuerdo a los requerimientos reglamentarios, normativos, buenas prácticas y requerimientos de docencia relacionados.

**Lab 308 PTG-UIS Actual**

Esta carpeta presente en los anexos contiene en total 8 planos, los cuales describen el estado actual de la instalación eléctrica en el siguiente orden:

**Tabla 43.**

*Contenido anexo Lab 308 PTG-UIS Actual*

<b>Nombre del archivo anexo</b>	<b>Contenido</b>
<b>1. Diagrama Unifilar</b>	Diagrama unifilar de la instalación fotovoltaica del laboratorio 308 PTG-UIS en su estado actual, elaborado a partir del del diagnóstico del sistema, incluye las convenciones de simbología de cada uno de los elementos
<b>2. Lab308_Vista Superior</b>	Planos eléctricos del laboratorio 308 PTG-UIS, donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista superior.
<b>3. Lab308_Vista Corte</b>	Planos eléctricos del laboratorio 308 PTG-UIS, en su estado actual donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista de corte frontal a la ubicación de los inversores y tableros eléctricos
<b>4. Terraza_Vista Superior</b>	Planos eléctricos de la terraza principal donde se ubican los módulos FV, en su estado actual donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista superior.

<b>5. Terraza_Vista Corte</b>	Planos eléctricos de la terraza principal donde se ubican los módulos FV, en su estado actual donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista de corte lateral a los módulos FV
<b>6. Tablero DC_Interior</b>	Diagrama de conexión eléctrica del tablero DC ubicado al interior de laboratorio 308 PTG-UIS, en su estado actual, lugar donde se encuentran elementos como los fusibles y borneras conectados a los módulos FV
<b>7. Tablero AC_Interior</b>	Diagrama de conexión eléctrica del tablero AC ubicado al interior de laboratorio 308 PTG-UIS, en su estado actual, el cual contiene los barrajes de conexión a la red y protecciones
<b>8. Tablero DC_Exterior</b>	Diagrama de conexión eléctrica del tablero DC ubicado en la terraza principal en la parte baja de los paneles FV, en su estado actual, lugar donde se encuentran protecciones en DC.
<b>9. planos Lab308</b>	Archivo. CAD que contiene todos los planos mencionados en esta tabla, relacionados al estado actual de la instalación fotovoltaica

**Lab 308 PTG-UIS Propuesta**

Esta carpeta presente en los anexos contiene en total 9 planos, los cuales exponen a detalle la propuesta técnica elaborada en el capítulo 3 de este libro:

**Tabla 44.**

*Contenido anexo Lab 308 PTG-UIS Propuesta*

<b>Nombre del archivo anexo</b>	<b>Contenido</b>
<b>1. Diagrama Unifilar Propuesta</b>	Propuesta de Diagrama unifilar para la instalación fotovoltaica del laboratorio 308 PTG-UIS, incluye las convenciones de simbología de cada uno de los elementos
<b>2. Lab308 Propuesta_Vista Superior</b>	Propuesta de Planos eléctricos del laboratorio 308 PTG-UIS, donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista superior.

<b>3. Lab308 Propuesta_Vista Corte</b>	Propuesta de Planos eléctricos del laboratorio 308 PTG-UIS, donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista de corte frontal a la ubicación de los inversores y tableros eléctricos
<b>4. Terraza Propuesta_Vista Superior</b>	Propuesta de Planos eléctricos de la terraza principal donde se ubican los módulos FV, se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista superior.
<b>5. Terraza Propuesta_Vista Corte</b>	Propuesta de Planos eléctricos de la terraza principal donde se ubican los módulos FV, donde se muestran los elementos la instalación fotovoltaica desde una vista de corte lateral a los módulos FV
<b>6. Tablero DC Propuesta_Interior</b>	Propuesta de Diagrama de conexión eléctrica del tablero DC ubicado al interior de laboratorio 308 PTG-UIS, lugar donde se encuentran elementos como las protecciones conectadas a los módulos FV
<b>7. Tablero DC Propuesta_Exterior</b>	Propuesta de Diagrama de conexión eléctrica del tablero DC ubicado en la terraza principal en la parte baja de los paneles FV, lugar donde se encuentran protecciones en DC.
<b>8. Tablero AC Propuesta_Exterior</b>	Propuesta de Diagrama de conexión eléctrica del tablero AC ubicado al interior de laboratorio 308 PTG-UIS, el cual contiene los barrajes de conexión a la red y protecciones
<b>9. Tablero AC Propuesta_Interior</b>	Propuesta de Diagrama de conexión eléctrica del tablero AC ubicado en la parte inferior de los módulos FV, el cual contiene los barrajes de conexión a la red y protecciones
<b>10. planos Lab308</b>	Archivo. CAD que contiene todos los planos mencionados en esta tabla, relacionados a la propuesta técnica elaborada en el capítulo 3 de este libro

**Apéndice D. Rubricas**

En este apéndice se exponen las rubricas que permitieron evaluar el cumplimiento de los aspectos normativos, reglamentarios y de buenas prácticas, en la instalación fotovoltaica del PTG-UIS. Para evaluar los aspectos mencionados se tuvo en cuenta la nomenclatura de la siguiente tabla.

**Tabla 45.**

*Nomenclatura*



NOMENCLATURA				
CT=Cumplimiento total	CP=Cumplimiento parcial	NC=No cumple	NA= No aplica	NE=No especifica







**RETIE y NTC 2050**









La rúbrica de la tabla 43 se utilizó para evaluar el cumplimiento del RETIE y la norma NTC 2050.






**Tabla 46.**


*RETIE Y NTC 2050*

Reporte de diagnóstico basado en el RETIE y NTC 2050										
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO REGLAMENTARIO	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO				
						CT	CP	NC	NE/NA	
PANEL FOTOVOLTAICO	Sección 690.51 de la NTC	Los módulos fotovoltaicos deben estar rotulados con la identificación de la polaridad de los cables o terminales.	Inspección visual	Ubicado en los terminales de salida en la parte posterior del panel se evidencia la simbología de polaridad, sin embargo, los cables no tienen un código de color diferencial.						
		Los módulos fotovoltaicos deben estar rotulados con la corriente nominal máxima del dispositivo de protección del módulo contra sobrecorriente y los siguientes valores nominales: 1) tensión en circuito abierto, 2) tensión de operación, 3) tensión máxima admisible del sistema, 4) corriente de operación, 5)	Inspección visual	Se identifico el rotulo con la información técnica, ubicado en la parte posterior de cada uno de los paneles solares.						

Reporte de diagnóstico basado en el RETIE y NTC 2050									
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO REGLAMENTARIO	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO			
						CT	CP	NC	NE/NA
		corriente de cortocircuito y 6) potencia máxima.							
	NTC 2050- Sección - 690-52	Fuente de energía fotovoltaica. a. El instalador debe poner en el lugar de la instalación, cerca del medio de desconexión de la fuente de energía fotovoltaica, un rótulo en el que consten los siguientes valores nominales: 1) la corriente de operación, 2) la tensión de operación, 3) la tensión en circuito abierto y 4) la corriente de cortocircuito	Inspección visual	No se encontró ningún tipo de rotulación de la información requerida, cerca de los interruptores termomagnético de desconexión.					
CANALIZACIÓN	NTC 2050- Sección 300-6	Protección contra la corrosión.	Inspección visual	En la parte externa se evidencia el uso de tubería IMC galvanizada, la cual es resistente a la corrosión					
	Retie art 20.6.1	a) Las partes de canalizaciones que estén expuestas o a la vista, deben marcarse en franjas de color naranja de al menos 10 cm de anchas para distinguirlas de otros usos	Inspección visual	Las tuberías expuestas no se encuentran rotuladas ni señalizadas con las franjas naranjas reglamentarias.					
	RETIE- Art 20.6.1.2 F	F) No deben instalarse tuberías no metálicas en lugares expuestos a daños físicos o a luz solar directa, si no están certificados para ser utilizadas en tales condiciones.	Inspección visual	No se identificó tubería no metálica expuesta a daños físicos o a luz solar directa					
	RETIE Art 20.3	Bandeja portacables	Inspección visual	Cumple con las especificaciones de producto descritas en el RETIE					
CONDUCTORES Y CONEXIONES	RETIE- Artículo 6.3	Cumplimiento código de colores para conductores	Inspección visual	Algunos de los colores que establece la norma tales como el blanco y el azul están presente en los conductores de CC, pero no se observan otros como el verde o verde/amarillo y el rojo. Además, no se logró identificar cual conductor era el positivo, negativo, tierra de protección o conductor medio, debido a que los conductores se encuentran cruzados dificultando esta labor. En los conductores de AC se observa colores como el verde y el blanco, los cuales pueden pertenecer a tierra y neutro respectivamente, los demás conductores tienen colores que no concuerdan con los establecido en el Retie.					

Reporte de diagnóstico basado en el RETIE y NTC 2050									
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO REGLAMENTARIO	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO			
						CT	CP	NC	NE/NA
	NTC 2050 - Sección 690-64.	Punto de conexión. La salida de un generador fotovoltaico se debe conectar como se indica en los apartados.	Inspección visual	No hay presencia de un medio de conexión apropiado de la fuente fotovoltaica a la red, sin embargo, los medios de desconexión están presentes, pero no hay claridad de la conexión de estos, debido a la ausencia de diagrama unifilar.					
	NTC 2050 - Sección 690-4	Conexiones de los módulos. Las conexiones a un módulo o panel deben estar hechas de modo que si se quita un panel	Inspección visual	No hay claridad en la conexión de los paneles solares, debido a la mala organización del cableado y ausencia de diagrama unifilar.					
	NTC 2050 - Sección 690-31 d.	Cables de conductores con sección transversal pequeña. Para las interconexiones de los módulos fotovoltaicos.	Inspección visual	Se evidencia la presencia de cable dúplex, el cual no está permitido su uso por la norma, debido a que no tiene ninguna certificación para uso pesado o resistencia a la intemperie.					
	NTC 2050 Sección 690-4 b	Los circuitos de la fuente y salida fotovoltaica no deben ir en la misma canalización.	Inspección visual	Se evidencia la presencia de cableado en DC proveniente de los paneles y a su vez la acometida AC que sale de los microinversores en la misma canalización					
	NTC 2050 Sección 690-32.	Durante la instalación se permite conectar los módulos u otros componentes del conjunto con los accesorios y conectares destinados para que queden ocultos una vez montados, si están certificados para dicho uso. Dichos accesorios y conectares deben tener los mismos valores de aislamiento, aumento de temperatura y soporte de corriente de falla que el resto de los elementos de la instalación y deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales en las cuales se vayan a usar.	Inspección visual	Hay presencia de distintos tipos de conductores que evidentemente no tienen las mismas características de aislamiento y resistencia contra la intemperie.					
	NTC 2050 Sección 690-33.	Requisitos de los Conectores	Inspección visual	Presencia de conectores especializados para paneles solares, sin embargo, hay unos en mal estado.					
	NTC 2050 - Sección 690-13.	Verificar presencia de medios de desconexión para cada uno de los conductores portadores de corriente	Inspección visual	Se evidencian medios de desconexión para el lado de corriente DC, pero no para la salida de AC.					
TABLERO	RETIE -Artículo 20.23.1.4	Información que debe estar presente en el tablero.	Inspección visual	No se encontró ninguno de los requisitos que exige el Retie sobre el rotulado e instructivos que debe llevar el tablero, ya que no se evidencia diagrama unifilar, símbolo de riesgo eléctrico, corriente nominal, tensión nominal etc.					

Reporte de diagnóstico basado en el RETIE y NTC 2050									
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO REGLAMENTARIO	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO			
						CT	CP	NC	NE/NA
PROTECCIONES	NTC 2050-sección 690-9.	Protección contra sobrecorriente.	Inspección visual	Presencia de elementos como interruptores termomagnéticos en la salida de los módulos fotovoltaicos y fusibles en el tablero principal, sin embargo, no hay claridad de la conexión de estos.					
	NTC 2050-sección 690-17.	Interruptores o interruptores automáticos	Inspección visual	Se observó que los interruptores automáticos se encuentran en zona fácilmente accesibles y segura, sin embargo, no se encontró ningún rotulo y tampoco se logró verificar si la corriente de interrupción era lo suficiente, para la tensión nominal del circuito y para la corriente disponible en los terminales de línea de los equipos.					
	NTC 2050-sección 690-5.	Detección e interrupción de fallas a tierra. Los conjuntos fotovoltaicos deben tener protección contra falla a tierra, para reducir el riesgo de incendio. El circuito de protección de falla a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, abrir el circuito y desactiva el conjunto	Inspección visual	Se evidencia la presencia de protecciones contra sobrecorrientes a la salida de los módulos fotovoltaicos.					
	NTC 2050-sección 690-16.	Fusibles	Inspección visual	Se evidencia que los fusibles con los que cuenta la instalación pueden ser accesibles a personas no autorizadas, la desconexión de cada fusible es independiente y además estos parecen estar conectados al interruptor termomagnético que serviría como medio de desconexión, pero esto no se puede afirmar ya que no se cuenta con el diagrama unifilar.					
INVERSORES	NTC 2050-sección 690-4	d) Los inversores o grupos electrógenos que se vayan a utilizar en sistemas fotovoltaicos deben estar identificados para ello.	Inspección visual	El inversor Central cuenta con su respectivo rotulo donde se evidencia sus características a diferencia de los microinversores, sin embargo, en ninguno estos equipos se observa una clara identificación la cual permita establecer que pertenecen al sistema fotovoltaico.					
PUESTA A TIERRA	NTC 2050-sección 250-93	Calibre del conductor del electrodo de puesta a tierra para corriente continua	Inspección visual	No se encontraron conductores de puesta a tierra.					
	NTC 690-41	Verificar que el conductor de fase y neutro estén sólidamente puestos a tierra	Inspección visual	No se evidencio sistema de puesta a tierra conectado.					
	NTC 690-42	Verificar la ubicación del punto de conexión a tierra, la cual debe ir ubicada en cualquier punto de salida fotovoltaico	Inspección visual	No se encontró sistema de puesta a tierra conectado.					





Reporte de diagnóstico basado en el RETIE y NTC 2050										
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO REGLAMENTARIO	DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO				
						CT	CP	NC	NE/NA	
	NTC 2050 690-43	Identificar puestas a tierra de partes metálicas expuestas no energizadas.	Inspección visual	No se evidencia puesta a tierra de estructuras de soporte ni las canalizaciones metálicas						
	NTC 2050 690-45	Sección transversal del conductor a tierra no menor a los otros conductores, verificar artículo 250-95	Inspección visual	No se encontró conductor de puesta a tierra						
	RETIE- Artículo 15	Sistemas de Puesta a Tierra	Inspección visual	No se encontró sistema de puesta a tierra conectado.						


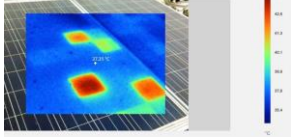





**RETIE y NTC 2050**


La rúbrica de la tabla 44, se utilizó para determinar el cumplimiento de los aspectos identificados de buenas prácticas.

**Tabla 47.**

*Buenas prácticas*

Reporte de diagnóstico de buenas prácticas									
ELEMENTO POR INSPECCIONAR	ASPECTO POR CONSIDERAR	MECANISMO DE INSPECCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LO HALLADO EN CAMPO	REGISTRO FOTOGRAFICO	GRADO DE CUMPLIMIENTO				
					CT	NC	CP	NE/NA	
SOPORTE DEL PANEL FOTOVOLTAICO	Correcto estado de la cimentación para la estructura de soporte del panel fotovoltaico.	Inspección visual	No se encontraron grietas o aspectos relevantes que puedan indicar la presencia de fallas en la cimentación.						
	Elementos de las estructuras de soportes de los paneles libres de deformaciones.	Inspección visual	Las estructuras de soporte se encuentran libre de deformaciones.						
	Estabilidad y sujeción de las uniones y anclajes de la estructura de forma que se asegure la correcta fijación al suelo	Inspección visual	La mayor parte de la estructura presenta una estabilidad adecuada exceptuando un punto de apoyo, en el cual al aplicarle cierta fuerza se observan movimientos no deseados.						
	Ausencia de puntos con oxidaciones o inicios de oxidación en la estructura de soporte de los paneles.	Inspección visual	La estructura presenta puntos de oxidación en varias partes, tanto en las bases como en la zona donde se colocan los paneles.						

PANEL FOTOVOLTAICO	Ausencia de rotura en el vidrio del panel fotovoltaico	Inspección visual	Se realizo la revisión de cada uno de los módulos y no se encontró rotura de vidrio.							
	Verificación de existencia de puntos calientes en el panel fotovoltaico	Inspección con cámara termográfica	Se evidenciaron puntos calientes en los módulos fotovoltaicos							
	Ausencia de suciedad en el panel fotovoltaico	Inspección visual	Se observa que los módulos fotovoltaicos presentan suciedad, así como manchas, las cuales posiblemente afectan su funcionamiento.							
	Buen estado de los terminales de los cables desconexión y de la caja de conexión de los paneles.	Inspección visual	Tanto los terminales de los cables de conexión como la caja de conexión, se encuentra en buen estado ya que no se encontró indicios de daños o deformaciones.							
	deformaciones en los marcos del panel fotovoltaico	Inspección visual	Los marcos no presentan deformaciones, pero si puntos de oxidación.							
INVERSOR	Los parámetros de distorsión armónica y eficiencia deben concordar con los suministrados por el fabricante.	Inspección con caracterizador	En el catálogo del fabricante no se especifican niveles de distorsión; así, los valores obtenidos se compararon con respecto a otras fuentes.							
	Tensión de entrada y salida del inversor.	Inspección con multímetro	No se observaron anomalías en la tensión de entrada y de salida del inversor central							
	Ausencia de ruidos extraños en los inversores	Inspección visual	Los microinversores e inversor central no presentan ruidos extraños.							
	La instalación de los inversores debe llevar la distancia estipulada en el manual del fabricante y el cableado debe estar en forma ordenada, sin cruzar los conductores.	Inspección visual	Los microinversores se encuentran en un lugar incorrecto, adicionalmente el cableado está mal dispuesto, sin ningún tipo de rotulación.							
	Los soportes de los inversores deben ser contruidos con materiales resistentes y no inflamables.	Inspección visual	El anclaje a la pared tiene solidez							
Los inversores deben estar protegidos de la radiación directa.	Inspección visual	los inversores se encuentran en el interior								
CONDUCTORES	Comprobar aislamiento de los conductores.	Inspección visual	Se identificaron empalmes y conectores en mal estado							

	Los cables en las acometidas DC y AC deben estar marcados.	Inspección visual	No se encuentra ningún tipo de rotulación							
--	--	-------------------	---	--	--	--	--	--	--	--

## Apéndice E. Fichas Técnicas, Manuales y base de dato fotográfica

En este apartado se presentan las fichas técnicas de los equipos descritos en la propuesta técnica del capítulo 3, al igual que los manuales de instalación, los cuales fueron fuente de ayuda para la elaboración de este capítulo. Adicionalmente se menciona el link de la base de datos fotográfica tomada y el escaneo del laboratorio con el sensor LIDAR los cuales se utilizaron como método de dimensionamiento para la construcción de los planos eléctricos.

### Fichas Técnicas y Manuales

La siguiente tabla presenta la relación del nombre de cada anexo y su contenido

**Tabla 48.**

*Fichas técnicas y manuales anexos*

<b>Nombre del archivo anexo</b>	<b>Contenido</b>
<b>1. Ficha técnica SunnyBoy 4000TL</b>	Documento en formato PDF que contiene la ficha técnica del inversor SunnyBoy 4000TL.
<b>2. Manual Funcionamiento SunnyBoy</b>	Documento en formato PDF que contiene el manual de funcionamiento del inversor SunnyBoy 4000TL. Podemos encontrar datos relevantes como métodos de conexión y configuración.
<b>3. Ficha técnica Enphase S280</b>	Documento en formato PDF que contiene la ficha técnica del microinversor Enphase S280.
<b>4. Manual de instalación Enphase S280</b>	Documento en formato PDF que contiene el manual de funcionamiento del Enphase S280. Podemos encontrar datos relevantes como métodos de conexión, lugar de instalación recomendado por norma y configuración.
<b>5. Ficha técnica módulos FV Luxen</b>	Documento en formato PDF que contiene la ficha técnica los módulos FV Luxen a adquirir para el sistema del inversor sunnyboy.
<b>6. Datos de placa Modulo FV Trinasolar</b>	Documento en formato imagen que contiene los datos de placa para los módulos FV presentes marca Trinasolar

<b>Nombre del archivo anexo</b>	<b>Contenido</b>
<b>7. Datos de placa Modulo FV UpSolar</b>	Documento en formato imagen que contiene los datos de placa para los módulos FV presentes marca Upsolar
<b>8. Datos de placa Modulo FV Kyocera</b>	Documento en formato imagen que contiene los datos de placa para los módulos FV presentes marca Kyocera
<b>9. Ficha técnica termomagnético DC</b>	Contiene la ficha técnica de los interruptores termomagnéticos a adquirir para los tableros DC, propuestos en el capítulo 3
<b>10. Ficha técnica termomagnético AC 20A</b>	Contiene la ficha técnica de los interruptores termomagnéticos a adquirir para los tableros AC, propuestos en el capítulo 3
<b>11. Ficha técnica interruptor termomagnético AC 30A</b>	Contiene la ficha técnica de los interruptores termomagnéticos a adquirir para los tableros AC, propuestos en el capítulo 3
<b>12. Ficha técnica Nexans_awg12</b>	Contiene la ficha técnica de los conductores a adquirir de acuerdo con las especificaciones propuestas en el capítulo 3
<b>13. Ficha técnica Nexans_Awg10</b>	Contiene la ficha técnica de los conductores a adquirir de acuerdo con las especificaciones propuestas en el capítulo 3
<b>14. Ficha Técnica Cable Solar Nexans_10041374</b>	Contiene la ficha técnica de los conductores a adquirir de acuerdo con las especificaciones propuestas en el capítulo 3

### **Base de datos fotográfica y escaneo LIDAR**

A continuación, presentamos el enlace de la base de datos fotográfica almacenada a lo largo de la elaboración de este libro, la cual es evidencia del diagnóstico descrito en el capítulo 1.

<https://www.icloud.com/sharedalbum/es-es/#B155oqs3qGg5HQv>

De igual manera se adjunta el link del resultado al escaneo realizado con la herramienta LIDAR del iPhone 12 pro, la cual mediante un láser realizo la construcción de un plano 3D con medidas

exactas del Laboratorio 308 PTG-UIS, aquellas que se utilizaron para la construcción de los planos en el software de diseño AutoCAD.

<https://canvas.io/viewer/WXOKZefn>

<https://canvas.io/viewer/eS8dQmZs>

<https://canvas.io/viewer/AL-hWbX2>