UNIVERSIDAD DEL AZUAY

Facultad de Ciencia y Tecnología

Tecnología Superior en Electricidad

Mantenimiento, auditoría e implementación de un manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnóloga Superior en Electricidad

Doris Fernanda Chaca Benavides

Director:
Ing. David Leonardo Galindo Toapanta

Cuenca-Ecuador
2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental durante todo mi proceso académico. Su apoyo, comprensión y motivación constante han sido clave para alcanzar cada una de las metas que me he propuesto. En especial a Sonia que ha sido como una segunda madre para mí, gracias por apoyarme siempre y no dudar de mí.

A mi madre, por su amor incondicional, su esfuerzo incansable y su presencia permanente a lo largo de mi formación. Su ejemplo ha sido una fuente de inspiración que me impulsa a seguir adelante y a superar cada desafío.

A ti Carlos Leonardo, por acompañarme desde el primer día de este camino, por haberme ayudado y apoyado en los buenos y los malos momentos. Mi vida gracias por tu paciencia, tu amor incondicional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Has sido mi refugio, mi fuerza y una de las razones por las que hoy puedo llegar hasta aquí Te amo.

También dedico este proyecto a mi mejor amiga Jane, a ti por ser una persona incondicional para mí, por siempre escucharme, aconsejarme y apoyarme. Y a ti Douglas que la Universidad nos ha hecho muy buenos amigos, gracias también por escucharme y estar ahí.

Agradecimientos

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad del Azuay por permitirme crecer profesionalmente, por abrirme las puertas de sus laboratorios para realizar mis practicas y para poder realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones.

De manera especial, agradezco a los ingenieros David Galindo y Diego Mogrovejo por su orientación, apoyo y acompañamiento durante mi formación académica y en el desarrollo de este proyecto. Su guía fue fundamental para fortalecer mis conocimientos y llevar a cabo este trabajo de manera adecuada.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo y colaboración para la realización de este trabajo.

Resumen

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo realizar la auditoría técnica y el mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, con el fin de evaluar su estado de operación y proponer un manual de mantenimiento que permita optimizar su funcionamiento.

La metodología aplicada incluyó inspección visual, mediciones eléctricas en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC), análisis termográfico y evaluación de las condiciones de operación de los inversores y módulos fotovoltaicos. Adicionalmente, se ejecutaron actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, tales como limpieza de módulos, limpieza de inversores y ajuste de conexiones eléctricas.

Los resultados evidenciaron que el sistema presenta un funcionamiento adecuado en la conversión de energía, reflejado en valores de voltaje AC dentro de los rangos permitidos. Sin embargo, se identificaron desbalances en los valores de corriente continua, anomalías en conexiones eléctricas, errores de medición y puntos calientes detectados mediante termografía, los cuales afectan el rendimiento del sistema.

Finalmente, se elaboró un manual de mantenimiento que establece procedimientos, frecuencias y medidas de seguridad para garantizar la correcta operación del sistema fotovoltaico, destacando la importancia del mantenimiento preventivo y de las auditorías técnicas periódicas para mejorar la eficiencia, seguridad y vida útil del sistema.

Palabras clave:

Sistemas fotovoltaicos, mantenimiento preventivo, auditoría técnica, energía solar, termografía, eficiencia energética

Abstract

This research aimed to conduct a technical audit and maintenance of the photovoltaic system installed at the Universidad del Azuay, to evaluate its operational condition and develop a maintenance manual to optimize its performance.

The methodology included visual inspection, electrical measurements in direct current (DC) and alternating current (AC), thermographic analysis, and evaluation of the operating conditions of inverters and photovoltaic modules. In addition, preventive and corrective maintenance activities were carried out, such as module cleaning, inverter cleaning, and adjustment of electrical connections.

The results showed that the system operates adequately in terms of energy conversion, with AC voltage values within the permitted range. However, imbalances in DC values, anomalies in electrical connections, measurement errors, and thermal hotspots detected through thermography were identified, affecting system performance.

Finally, a maintenance manual was developed, establishing procedures, intervention frequencies, and safety measures to ensure proper system operation, highlighting the importance of preventive maintenance and periodic technical audits to improve efficiency, safety, and system lifespan.

Keywords:

Photovoltaic systems, preventive maintenance, technical audit, solar energy, thermography, energy efficiency

Tabla de contenido

Dedicatoria 2

Agradecimientos 3

Resumen 4

Palabras clave: 4

Abstract 5

Keywords: 5

Tabla de contenido 6

Índice Tablas 12

Indice Figuras 14

Introducción 1

Contexto 1

Problemática 2

Justificación 3

Objetivos 4

General 4

Específicos 4

Alcance 4

Marco teórico 5

2.1 Sistemas Fotovoltaicos 5

2.1.1 Principio del efecto fotovoltaico 6

2.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico 7

Módulos fotovoltaicos 7

Inversores 7

Estructuras de soporte 7

Sistemas de protección eléctrica 8

Sistema de monitoreo 8

2.1.3 Descripción del sistema fotovoltaico 8

2.1.4 Fundamentos del mantenimiento fotovoltaico 9

2.1.5 Mantenimiento preventivo 10

2.1.6 Mantenimiento correctivo 11

2.1.7 Mantenimiento predictivo 11

2.1.8 Auditoría técnica del sistema fotovoltaico 12

2.1.9 Manual de mantenimiento 13

2.1.10 Normativa internacional aplicable a sistemas fotovoltaicos 14

3. Materiales y métodos 16

3.1 Materiales 16

3.2 Metodología 18

3.2.1 Levantamiento de información 18

3.2.2 Inspección visual del sistema 18

3.2.3 Mediciones de parámetros eléctricos 20

3.2.4 Evaluación del sistema de puesta a tierra 20

3.2.5 Inspección termográfica 20

3.2.6 Registro de información 21

3.2.7 Mantenimiento preventivo 21

3.2.8 Corrección de anomalías 21

3.2.9 Elaboración del manual de mantenimiento 22

4. Resultados 23

4.1 Resultados Eléctricos 23

Vicerrectorado 23

Campus Tech 25

Dislab 29

Aulario 32

Biblioteca 35

Filosofía 37

Auditorio 39

Torre de reloj 41

Science Lab 43

Secretaria CCTT 45

4.3 Medición puesta a tierra 47

Puesta a tierra Vicerrectorado 47

Campus Tech 48

Aulario 48

Dislab 49

Filosofía 49

Auditorio 50

Biblioteca 50

Edificio torre del reloj 51

Science Lab 51

Secretaria CCTT 52

4.4 Termografía 53

4.5 Limpieza de módulos fotovoltaicos 68

Vicerrectorado 69

Campus Tech 70

Dislab 71

Aulario 72

Filosofía 73

Auditorio 74

Biblioteca 75

Torre de reloj 76

Science Lab 77

Secretaria CCTT 78

4.6 Limpieza de inversores 79

4.7 Ajustes y verificación de conexiones 81

4.8 Anomalías detectadas en el sistema fotovoltaico 86

4.8.1Auditorio 86

Cambios conectores MC4 86

4.8.2 Edificio filosofía 88

Interruptor mal dimensionado 88

4.8.3 Edificio secretaria Vicerrectorado 89

Corrección de conexión entre arreglos fotovoltaicos..... 89

4.8.4 Edificio Filosofía..... 91

Cambio de paneles 91

5. Discusión 92

6. Manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico conectado a la red 95

6.1 Introducción 95

6.2 Objetivo del manual 95

6.3 Alcance..... 95

6.4 Normativa Internacional Aplicable 95

6.5 Auditoria técnica del sistema..... 96

6.5.1 Inspección de módulos fotovoltaicos..... 97

6.5.2 Inspección de estructuras de soporte 97

6.5.3 Inspección del sistema eléctrico 98

6.5.4 Inspección de inversores 98

6.6 Mantenimiento Preventivo 99

6.6.1 Actividades preventivas..... 99

6.6.2 Limpieza de módulos 100

6.6.3 Inspección visual..... 100

6.6.4 Revisión Eléctrica..... 100

6.7 Mantenimiento Correctivo..... 101

6.7.1 Identificación de fallas..... 101

6.7.2 Procedimiento General de Intervención Correctiva 102

6.8 Mantenimiento Predictivo 102

6.8.1 Análisis Termográfico 102

6.9 Formularios de registro..... 103

Tabla 60 Lista de Verificación Detallada: Inversores 106

7. Conclusiones..... 109

7.1 Estado general del sistema 109

7.2 Comportamiento en corriente continua (DC)..... 109

7.3 Identificación de anomalías 109

7.4 Importancia del análisis termográfico 110

7.5 Sistemas puesta a tierra 110

7.6 Impacto de mantenimiento preventivo..... 110

7.7 Corrección de anomalías..... 111

7.8 Importancia del manual de mantenimiento..... 111

7.9 Aporte de la investigación 111

8. Recomendaciones..... 112

8.1 Implementar un programa de mantenimiento periódico 112

8.2 Realizar inspecciones termográficas anuales 112

8.3 Reforzar el sistema de puesta a tierra..... 112

8.4 Ajustar y revisar las conexiones eléctricas periódicamente 113

8.5 Optimizar la configuración de los strings fotovoltaicos..... 113

8.6 Capacitación continua del personal encargado del mantenimiento 113

8.7 Actualización del manual de mantenimiento 113

8.8 Monitoreo continuo del desempeño del sistema..... 114

9. Referencias..... 115

Índice Tablas

Tabla 1 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Vicerrectorado..... 23

Tabla 2 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Vicerrectorado ... 23

Tabla 3 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Vicerrectorado..... 24

Tabla 4 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Campus Tech 25

Tabla 5 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Lácteos 25

Tabla 6 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Lácteos..... 26

Tabla 7 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Uda salud 27

Tabla 8 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Uda salud..... 27

Tabla 9 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Campus Tech..... 28

Tabla 10 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Campus Tech 28

Tabla 11 Características del sistema fotovoltaico Dislab 29

Tabla 12 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Dislab..... 30

Tabla 13 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Dislab 30

Tabla 14 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Aulario 32

Tabla 15 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Aulario A 32

Tabla 16 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Aulario A..... 33

Tabla 17 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Aulario B 33

Tabla 18 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Aulario B..... 34

Tabla 19 Características técnicas del sistema fotovoltaico de Biblioteca 35

Tabla 20 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de Biblioteca 35

Tabla 21 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de Biblioteca 36

Tabla 22 Características técnicas del sistema fotovoltaico de filosofía 37

Tabla 23 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de filosofía..... 37

Tabla 24 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de filosofía 38

Tabla 25 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Auditorio 39

Tabla 26 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Auditorio..... 39

Tabla 27 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Auditorio 40
Tabla 28 Inversor Torre de reloj 41
Tabla 29 Panales Torre de reloj 41
Tabla 30 Características técnicas del sistema fotovoltaico de la torre de reloj..... 41
Tabla 31 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de la torre de reloj . 41
Tabla 32 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de la torre del reloj ... 42
Tabla 33 Características técnicas del sistema fotovoltaico de Science Lab 43
Tabla 34 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de Science Lab..... 43
Tabla 35 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de Science Lab 44
Tabla 36 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de secretaria CCTT . 45
Tabla 37 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de secretaria CCTT.... 46
Tabla 38 Evaluación termográfica del inversor del Vicerrectorado 53
Tabla 39 Evaluación termográfica del inversor Lácteos 55
Tabla 40 Evaluación termográfica del inversor de Uda salud 56
Tabla 41Evaluación termográfica del inversor Campus Tech 57
Tabla 42 Evaluación termográfica del inversor de Aulario 58
Tabla 43 Evaluación termográfica del inversor de Dislab 59
Tabla 44 Evaluación termográfica del inversor de Filosofía 60
Tabla 45 Evaluación termográfica del inversor de Auditorio 62
Tabla 46 Evaluación termográfica del inversor de Biblioteca 63
Tabla 47 Evaluación termográfica del inversor de torre de reloj..... 64
Tabla 48 Evaluación termográfica del inversor de Science Lab 65
Tabla 49 Evaluación termográfica del inversor de secretaria CCTT 66
Tabla 50 Normativas Aplicables..... 96
Tabla 51 Inspección de módulos fotovoltaicos 97
Tabla 52 Inspección de inversores 98
Tabla 53 Programa de actividades preventivas..... 99
Tabla 54 identificación de fallas..... 101
Tabla 55 Intervención correctiva 102

Tabla 56 Registro de mantenimiento preventivo..... 103
Tabla 57 Registro de Mantenimiento Correctivo 103
Tabla 58 Lista de Verificación General de Auditoría Técnica 104
Tabla 59 Lista de Verificación Detallada: Módulos Fotovoltaicos 105
Tabla 60 Lista de Verificación Detallada: Inversores..... 106

Índice Figuras

Figura 1 Sistemas fotovoltaicos 5
Figura 2 Principio del efecto fotovoltaico en una celda solar..... 6
Figura 3 Implementos utilizados para el mantenimiento del sistema fotovoltaico 17
Figura 4 Inversor Vicerrectorado 23
Figura 5 Paneles vicerrectorado..... 23
Figura 6 Valores de voltaje DC vicerrectorado 24
Figura 7 Valores de voltaje AC vicerrectorado..... 24
Figura 8 Paneles Campus Tech 25
Figura 9 Inversores Campus Tech 25
Figura 10 Valores de voltaje DC lácteos 26
Figura 11 valores voltaje AC lácteos 26
Figura 12 Valores voltaje DC Uda salud 27
Figura 13 Valores voltaje AC Uda salud 27
Figura 14 Valores voltaje DC campus tech 28
Figura 15 Valores voltaje AC campus tech..... 28
Figura 16 valores voltaje AC campus tech 29
Figura 17 Paneles Dislab..... 29
Figura 18 Inversor Dislab 29
Figura 19 Valores voltaje DC Dislab 30
Figura 20 Valores voltaje AC Dislab 31
Figura 21 Inversor Aulario 32
Figura 22 Paneles Aulario 32

Figura 23 Valores voltaje DC aulario A 33
Figura 24Valores voltaje AC aulario A 33
Figura 25 Valores voltaje DC aulario B 34
Figura 26Valores voltaje AC aulario B 35
Figura 27 Paneles Biblioteca 35
Figura 28 Inversor Biblioteca 35
Figura 29 Valores voltaje DC biblioteca 36
Figura 30 Valores voltaje AC biblioteca 36
Figura 31 Inversor Filosofía 37
Figura 32 Paneles Filosofía 37
Figura 33Valores voltaje DC filosofía 38
Figura 34 Valores voltajes AC filosofía 38
Figura 35 Inversor Auditorio 39
Figura 36 Paneles Auditorio 39
Figura 37 Valores voltaje DC Auditorio 40
Figura 38 Valores voltaje AC auditorio 40
Figura 39 Valores de voltaje DC torre de reloj 42
Figura 40 Valores voltaje AC torre reloj 42
Figura 41 Inversor Science Lab 43
Figura 42 Paneles Science Lab 43
Figura 43 Valores voltaje DC Science Lab 44
Figura 44 Valores voltaje AC science lab 44
Figura 45 Inversor secretaria 45
Figura 46 Paneles secretaria 45
Figura 47 Valores voltaje DC secretaria cctt 45
Figura 48 Valores voltaje AC secretaria cctt 46
Figura 49 puesta a tierra vicerrectorado 47
Figura 50 Medición puesta tierra uda salud 48
Figura 51 Medición puesta a tierra campus tech 48

Figura 52 Medición puesta tierra lácteos 48
Figura 53 Puesto a tierra Aulario B 48
Figura 54 Puesta a tierra Aulario A 48
Figura 55 Puesta a tierra Dis lab 49
Figura 56 Puesta a tierra Filosofia 49
Figura 57 Puesta a tierra Auditorio 50
Figura 58 Puesta a tierra Biblioteca 50
Figura 59 Puesta a tierra torre de reloj 51
Figura 60 Puesta a tierra Science Lab 51
Figura 61 Puesta a tierra Secretaria CCTT 52
Figura 62 Mediciones termográficas inversor 54
Figura 63 Mediciones termográficas lácteos 55
Figura 64 Mediciones termográficas Uda salud 56
Figura 65 Mediciones termográficas Campus Tech 57
Figura 66 Mediciones termográficas Aulario 58
Figura 67 Mediciones termografías Dislab 59
Figura 68 Mediciones termografías Filosofía 60
Figura 69 Presencia de puntos calientes inversor Filosofía 61
Figura 70 Crimpado de terminales 61
Figura 71 corrección de puntos calientes Filosofía 61
Figura 72 Mediciones termográficas auditorio 63
Figura 73 Mediciones termografías Biblioteca 64
Figura 74 Mediciones termográficas Torre reloj 65
Figura 75 Mediciones termográficas Science Lab 66
Figura 76 Mediciones termográficas secretaria CCTT 67
Figura 77 Módulos antes de la limpieza vicerrectorado 69
Figura 78 Módulos limpios vicerrectorado 69
Figura 79 Módulos sucios Campus Tech 70
Figura 80 Módulos limpios Campus Tech 70

Figura 81 Módulos sucios Dislab 71
Figura 82 Módulos limpios Dislab 71
Figura 83 Módulos sucios aulario 72
Figura 84 Módulos limpios Aulario 72
Figura 85 Módulos sucios filosofía 73
Figura 86 Módulos limpios Filosofía 73
Figura 87 Módulos sucios auditorio 74
Figura 88 Módulos limpios auditorio 74
Figura 89 Módulos sucios biblioteca 75
Figura 90 Módulos limpios biblioteca 75
Figura 91 Módulos sucios torre de reloj 76
Figura 92 Módulos limpios torre de reloj 76
Figura 93 Módulos sucios Scienca Lab 77
Figura 94 Módulos limpios sicence lab 77
Figura 95 Módulos sucios secretaria 78
Figura 96 Modulo limpia secretaria 78
Figura 97 Limpieza inversores Aulario 80
Figura 98 Limpieza inversores Campus Tech 80
Figura 99 Limpieza Inversor Auditorio 80
Figura 100 Limpieza inversor Dislab 80
Figura 101 Limpieza inversor Science Lab 81
Figura 102 Limpieza Inversor Torre de reloj 81
Figura 103 Ajuste mecánico terminales AC inversor vicerrectorado 82
Figura 104 Ajuste mecánico terminales DC inversor vicerrectorado 82
Figura 105 Ajustes mecánicos terminales DC-Campus Tech 82
Figura 106 Ajustes mecánicos terminales AC Inversores-Campus Tech 82
Figura 107 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor dislab 83
Figura 108 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor dislab 83
Figura 109 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Filosofía 84

Figura 110 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Filosofía 84
Figura 111 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Auditorio..... 84
Figura 112 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Auditorio 84
Figura 113 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Biblioteca..... 84
Figura 114 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor- Biblioteca..... 84
Figura 115 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Torre reloj 85
Figura 116 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Torre reloj 85
Figura 117 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Science Lab 85
Figura 118 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Science Lab 85
Figura 119 Ajustes mecánico de terminales DC inversor secretaria 85
Figura 120 Ajuste mecánico de terminales AC inversor secretaria..... 85
Figura 121 Conector MC4 roto 86
Figura 122 Cambio de conector doble por simple..... 87
Figura 123 Conector simple 87
Figura 124 Interruptor termográfico..... 88
Figura 125 Interruptor termomagnético nuevo..... 88
Figura 126 Medición de valor arrays 4-5..... 89
Figura 127 Cambio de polaridad..... 89
Figura 128 Corrección y balanceo de arrays 4-5..... 90
Figura 129 Aumento de temperatura en las celdas de los paneles. 91
Figura 130 Cambio de paneles..... 91

Introducción

Contexto

El crecimiento de la demanda energética y la necesidad de reducir el impacto ambiental asociado a la generación de electricidad han impulsado el desarrollo e implementación de fuentes de energía renovable en distintos sectores. Entre estas alternativas, la energía solar fotovoltaica se ha posicionado como una de las tecnologías más utilizadas para la generación de electricidad limpia, debido a su capacidad para aprovechar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico (International Energy Agency [IEA], 2023).

En el ámbito institucional y educativo, la incorporación de sistemas fotovoltaicos constituye una estrategia orientada a promover la sostenibilidad energética, reducir el consumo de energía proveniente de fuentes convencionales y contribuir a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, la Universidad del Azuay ha implementado sistemas fotovoltaicos en diferentes edificaciones del campus, con el propósito de aprovechar la energía solar como fuente alternativa de generación eléctrica y fortalecer su gestión energética institucional (Universidad del Azuay, 2025).

No obstante, para garantizar el funcionamiento adecuado de estas instalaciones, es necesario establecer procesos técnicos que permitan supervisar el estado de sus componentes, evaluar su desempeño y asegurar condiciones seguras de operación. Los sistemas fotovoltaicos, al igual que cualquier infraestructura eléctrica, requieren actividades periódicas de mantenimiento, inspección y control para prevenir fallas, optimizar el rendimiento energético y prolongar la vida útil de los equipos que los conforman (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2019).

En este sentido, la ausencia de auditorías técnicas periódicas y de procedimientos documentados de mantenimiento puede afectar la eficiencia del sistema, dificultar la detección temprana de anomalías e incrementar los riesgos asociados a la seguridad eléctrica. Por esta razón, resulta pertinente desarrollar herramientas técnicas que contribuyan a mejorar la gestión y el control del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay.

Con base en esta necesidad, la presente investigación tiene como propósito realizar la auditoría técnica del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, ejecutar actividades de mantenimiento y elaborar un manual técnico que establezca procedimientos, frecuencias de intervención y responsabilidades para su adecuada gestión. De esta manera, se busca contribuir a la continuidad operativa del sistema, optimizar su rendimiento energético y fortalecer la gestión técnica de la infraestructura de generación solar dentro del campus universitario.

Problemática

La implementación de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas, como la Universidad del Azuay, representa una alternativa relevante para fortalecer el uso de energías renovables y mejorar la gestión energética dentro del campus. Sin embargo, el funcionamiento adecuado de estas instalaciones no depende únicamente de su diseño e instalación, sino también de la ejecución de procesos técnicos de inspección, mantenimiento y control que permitan garantizar su desempeño y seguridad operativa.

En el caso del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, la ausencia de procedimientos técnicos estandarizados para su mantenimiento y de una auditoría técnica periódica puede generar disminución en la eficiencia energética, dificultades en la detección oportuna de anomalías, incremento de riesgos eléctricos y reducción de la vida útil de los equipos. Esta situación limita una gestión técnica adecuada del sistema y dificulta la planificación de intervenciones preventivas y correctivas.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de evaluar el estado físico y eléctrico del sistema fotovoltaico mediante una auditoría técnica y, a partir de sus resultados, estructurar un manual de mantenimiento que permita organizar las actividades de inspección, mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, bajo criterios técnicos y de seguridad.

Justificación

El desarrollo de este trabajo se justifica por la necesidad de fortalecer la gestión técnica del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, mediante la evaluación de sus condiciones operativas y la definición de lineamientos de mantenimiento que contribuyan a su funcionamiento seguro y eficiente.

La realización de una auditoría técnica permite identificar el estado físico y eléctrico de los principales componentes del sistema, detectar posibles anomalías y establecer criterios de intervención orientados a prevenir fallas y reducir pérdidas de eficiencia energética. A su vez, la elaboración de un manual de mantenimiento constituye una herramienta técnica útil para organizar de manera estandarizada las actividades de inspección, mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, así como para definir frecuencias de intervención, medidas de seguridad y responsables de ejecución.

Desde el punto de vista institucional, este trabajo aporta a la conservación de una infraestructura de generación renovable que forma parte de la estrategia de sostenibilidad de la Universidad del Azuay. Desde el ámbito académico y técnico, la investigación genera un documento de referencia aplicable al mantenimiento de sistemas fotovoltaicos en entornos educativos, el cual puede servir como base para futuras intervenciones, estudios o proyectos relacionados con operación, auditoría y gestión de sistemas solares fotovoltaicos.

Objetivos

General

Realizar el mantenimiento, la auditoría técnica y la implementación de un manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, garantizando su correcto funcionamiento y prolongando la vida útil de sus componentes.

Específicos

- Identificar las características técnicas y operativas del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay.
- Evaluar el estado físico y eléctrico de los componentes del sistema mediante una auditoría técnica.
- Definir las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo aplicables al sistema fotovoltaico.
- Elaborar un manual de mantenimiento técnico que sirva como guía para la operación y conservación del sistema.

Alcance

El presente trabajo se limita al análisis técnico del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, enfocándose en la evaluación de sus condiciones operativas mediante una auditoría técnica y en la definición de actividades de mantenimiento orientadas a mejorar su desempeño y seguridad.

La investigación no contempla el diseño ni la implementación de nuevas instalaciones fotovoltaicas, sino que se centra en el diagnóstico del sistema existente, incluyendo la inspección de sus componentes, la medición de parámetros eléctricos y la identificación de posibles anomalías.

A partir de los resultados obtenidos, se establecen lineamientos para el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, así como la elaboración de un manual técnico que define procedimientos, frecuencias de intervención y medidas de seguridad para la operación del sistema.

Marco teórico

2.1 Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de generación eléctrica que permiten convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante el uso de dispositivos semiconductores denominados celdas fotovoltaicas. Estas celdas se agrupan en módulos o paneles solares que captan la energía del sol y la transforman en corriente eléctrica a través del efecto fotovoltaico (International Energy Agency [IEA], 2023).

La energía generada por los módulos fotovoltaicos se produce inicialmente en forma de corriente continua (DC), la cual es transformada en corriente alterna (AC) mediante el uso de inversores, permitiendo su utilización en equipos eléctricos convencionales o su inyección a la red eléctrica (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2019).

La implementación de sistemas fotovoltaicos se ha extendido en sectores industriales, residenciales y educativos, contribuyendo a la reducción del consumo de energía proveniente de fuentes convencionales y a la disminución de emisiones contaminantes. En el ámbito institucional, estos sistemas forman parte de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia energética y promover el uso de energías renovables (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2022).

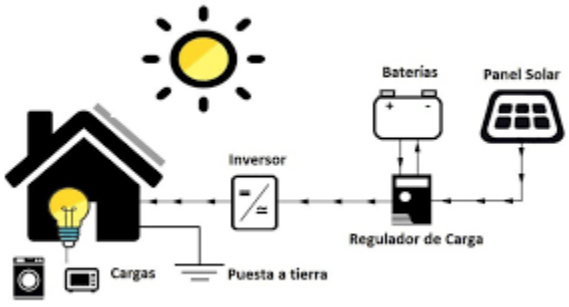


Figura 1 Sistemas fotovoltaicos

2.1.1 Principio del efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es el fenómeno físico mediante el cual la energía de la radiación solar se transforma en energía eléctrica. Este proceso ocurre cuando los fotones de la luz solar inciden sobre materiales semiconductores, generando la liberación de electrones y produciendo una corriente eléctrica (IEA, 2023).

Las celdas fotovoltaicas están compuestas por materiales semiconductores que crean un campo eléctrico interno. Cuando la radiación solar impacta sobre estas celdas, los electrones se desplazan generando una corriente continua (DC), la cual puede ser captada y conducida a través de un circuito eléctrico (NREL, 2019).

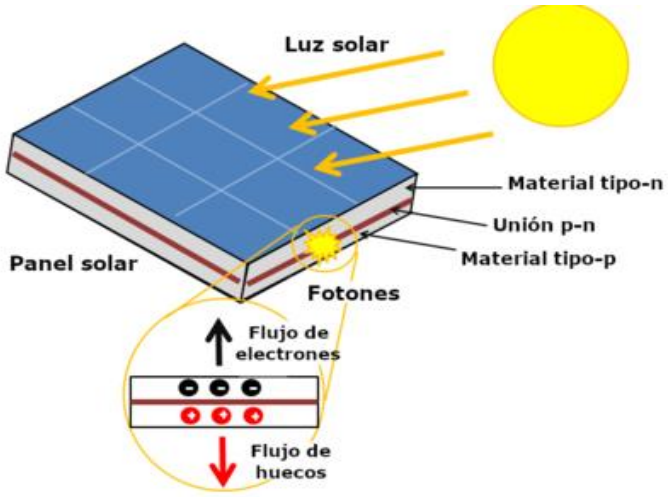


Figura 2 Principio del efecto fotovoltaico en una celda solar

2.1.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está compuesto por diversos elementos que trabajan de manera integrada para transformar la energía solar en energía eléctrica utilizable. Entre los principales componentes se encuentran los módulos fotovoltaicos, los inversores, las estructuras de soporte, el cableado eléctrico, los sistemas de protección y los sistemas de monitoreo (IEA, 2023).

Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos, comúnmente conocidos como paneles solares, son los dispositivos encargados de captar la radiación solar y transformarla en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Están formados por múltiples celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, generalmente fabricadas con silicio, que permiten generar corriente continua cuando son expuestas a la luz solar (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2022).

Inversores

Los inversores son dispositivos electrónicos que convierten la corriente continua (DC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada por los equipos eléctricos convencionales o inyectada a la red eléctrica. Además, suelen incorporar sistemas de control y monitoreo que permiten supervisar el funcionamiento del sistema fotovoltaico y detectar posibles anomalías (NREL, 2019).

Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte permiten fijar los módulos fotovoltaicos en una posición adecuada para maximizar la captación de la radiación solar. Estas estructuras deben garantizar estabilidad mecánica, resistencia a condiciones climáticas adversas y una correcta orientación e inclinación de los paneles para optimizar la producción energética del sistema (IEA, 2023).

Sistemas de protección eléctrica

Los sistemas fotovoltaicos incorporan dispositivos de protección eléctrica, como interruptores, fusibles y sistemas de puesta a tierra, que tienen como objetivo proteger la instalación contra sobre corrientes, cortocircuitos o fallas eléctricas. Estas protecciones son fundamentales para garantizar la seguridad del sistema y del personal encargado de su operación y mantenimiento (International Electrotechnical Commission [IEC], 2020).

Sistema de monitoreo

Finalmente, los sistemas fotovoltaicos incluyen mecanismos de monitoreo que permiten supervisar en tiempo real el desempeño del sistema, registrando parámetros como voltaje, corriente, potencia generada y producción energética. Esta información es esencial para detectar posibles fallas, evaluar el rendimiento del sistema y planificar actividades de mantenimiento (NREL, 2019).

2.1.3 Descripción del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay corresponde a un sistema de generación eléctrica conectado a la red (on-grid), diseñado para el aprovechamiento de la energía solar como fuente alternativa de suministro energético dentro del campus universitario. Este sistema está conformado por módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte, sistemas de protección eléctrica y sistemas de monitoreo, los cuales operan de manera integrada para transformar la radiación solar en energía eléctrica utilizable en las diferentes edificaciones de la institución.

En términos de capacidad instalada, la Universidad del Azuay dispone de múltiples sistemas fotovoltaicos distribuidos en diferentes edificios del campus, con una potencia total superior

a 500 kW. La energía generada es utilizada principalmente para el consumo interno de la institución y, en condiciones específicas, puede ser inyectada a la red eléctrica pública, dependiendo de la demanda energética existente. La configuración del sistema contempla la instalación de aproximadamente mil módulos fotovoltaicos ubicados en las cubiertas de diversas edificaciones. Estos módulos se encuentran conectados a inversores que permiten la conversión de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC), asegurando su compatibilidad con los sistemas eléctricos convencionales del campus.

Desde el punto de vista constructivo, las estructuras de soporte han sido diseñadas para garantizar la estabilidad mecánica de los módulos, así como su correcta orientación e inclinación, optimizando la captación de radiación solar. Además, el sistema incorpora dispositivos de protección eléctrica y sistemas de puesta a tierra, los cuales permiten reducir riesgos asociados a fallas eléctricas y garantizar condiciones seguras de operación.

Adicionalmente, el sistema fotovoltaico forma parte de una estrategia institucional orientada a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental, integrando la generación de energía renovable dentro de la infraestructura universitaria. Asimismo, su implementación ha permitido el desarrollo de actividades académicas y prácticas técnicas, convirtiéndose en un recurso de apoyo para la formación de estudiantes en el área eléctrica y energética.

2.1.4 Fundamentos del mantenimiento fotovoltaico

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos tiene como finalidad conservar condiciones adecuadas de operación, garantizar la continuidad del servicio eléctrico y optimizar el rendimiento energético del sistema a lo largo del tiempo. Debido a que estos sistemas están expuestos a condiciones ambientales variables, sus componentes pueden experimentar procesos de degradación que afectan su eficiencia y funcionamiento.

Desde un enfoque técnico, el mantenimiento permite detectar anomalías, prevenir fallas y reducir pérdidas energéticas asociadas al deterioro de los equipos. Por esta razón, la aplicación

de programas de mantenimiento estructurados constituye una práctica necesaria para asegurar la confiabilidad y seguridad del sistema fotovoltaico (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2019).

En términos generales, el mantenimiento en sistemas fotovoltaicos se clasifica en mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, cada uno con funciones específicas dentro de la gestión operativa del sistema.

2.1.5 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo comprende un conjunto de actividades planificadas que se ejecutan de forma periódica con el propósito de evitar fallas y mantener el sistema en condiciones óptimas de operación. Este tipo de mantenimiento se enfoca en la inspección, limpieza y verificación de los componentes antes de que se presenten fallas.

Entre las principales actividades se incluyen la limpieza de los módulos fotovoltaicos, la revisión de conexiones eléctricas, la inspección de estructuras de soporte y la verificación del funcionamiento de los inversores. Estas acciones permiten detectar condiciones anómalas de manera temprana y reducir la probabilidad de interrupciones en el sistema. La limpieza de los módulos constituye una de las actividades más relevantes, ya que la acumulación de polvo y suciedad puede generar pérdidas de eficiencia en la captación de radiación solar. De igual manera, la revisión de conexiones eléctricas permite evitar problemas asociados a falsos contactos o incremento de resistencia eléctrica, los cuales pueden derivar en sobrecalentamientos o fallas en el sistema (IEA, 2023).

2.1.6 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se realiza cuando se presenta una falla o condición anómala que afecta el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Su propósito es restablecer las condiciones normales de operación mediante la intervención directa sobre los componentes afectados.

Este tipo de mantenimiento incluye actividades como la sustitución de módulos fotovoltaicos dañados, reparación de conexiones eléctricas defectuosas, corrección de fallas en inversores y reemplazo de dispositivos de protección. La identificación de estas fallas puede realizarse mediante inspecciones técnicas, monitoreo del sistema o análisis de resultados operativos.

Las intervenciones correctivas deben ejecutarse bajo condiciones de seguridad controladas, incluyendo la desconexión del sistema, verificación de ausencia de tensión y uso de equipos de protección personal, con el fin de evitar riesgos eléctricos durante la intervención (IEC, 2020).

2.1.7 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo continuo del sistema y en el análisis de variables operativas con el fin de anticipar posibles fallas antes de que ocurran. Este enfoque permite optimizar la planificación de las actividades de mantenimiento y reducir intervenciones innecesarias. En sistemas fotovoltaicos, el mantenimiento predictivo se apoya en el análisis de parámetros eléctricos y en técnicas como la termografía, la cual permite identificar puntos calientes en módulos, conexiones o inversores. Estas anomalías térmicas pueden indicar problemas como fallas en celdas, conexiones defectuosas o sobrecargas.

La aplicación de este tipo de mantenimiento contribuye a mejorar la confiabilidad del sistema y a reducir tiempos de inactividad, ya que permite actuar de manera anticipada frente a posibles fallas (NREL, 2019).

La integración de estos tres tipos de mantenimiento permite una gestión integral del sistema fotovoltaico, combinando acciones preventivas, correctivas y predictivas orientadas a maximizar su eficiencia y vida útil.

En el análisis del desempeño de sistemas fotovoltaicos, uno de los indicadores más utilizados es el Performance Ratio (PR), el cual permite evaluar la eficiencia global del sistema considerando pérdidas asociadas a temperatura, suciedad, desbalances eléctricos y eficiencia de los inversores (International Energy Agency [IEA], 2023; National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2019).

Asimismo, los sistemas fotovoltaicos pueden presentar pérdidas de rendimiento asociadas a factores como acumulación de suciedad, sombreado parcial, desajustes entre módulos (mismatch) y degradación de componentes, los cuales afectan directamente la producción energética del sistema (NREL, 2019).

2.1.8 Auditoría técnica del sistema fotovoltaico

La auditoría técnica del sistema fotovoltaico constituye un proceso sistemático de evaluación orientado a determinar el estado físico, eléctrico y operativo de sus componentes, con el fin de identificar posibles anomalías, deficiencias o condiciones que puedan afectar su desempeño y seguridad. Este proceso no se limita únicamente a la inspección visual, sino que integra actividades de medición, verificación de parámetros eléctricos y análisis del comportamiento del sistema bajo condiciones reales de operación. De esta manera, la auditoría técnica permite obtener un diagnóstico integral del sistema fotovoltaico.

Dentro de la auditoría se consideran los principales elementos que conforman el sistema, incluyendo los módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte, cableado eléctrico, sistemas de protección y sistemas de puesta a tierra. La evaluación de estos componentes permite identificar condiciones como suciedad, daños físicos, conexiones deficientes, fallas en inversores o problemas en los sistemas de protección. En el ámbito eléctrico, la auditoría

incluye la medición de parámetros en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC), tales como voltajes de operación, comportamiento de los strings y condiciones de salida de los inversores. Estos datos permiten analizar la uniformidad del sistema, detectar desbalances y verificar que los valores se encuentren dentro de los rangos esperados de operación.

Adicionalmente, se evalúa el sistema de puesta a tierra mediante la medición de su resistencia, con el propósito de verificar el cumplimiento de criterios de seguridad eléctrica y garantizar la correcta disipación de corrientes de falla. Como parte del proceso, también se emplea el análisis termográfico, el cual permite identificar anomalías térmicas como puntos calientes en módulos, conexiones eléctricas o inversores. Estas condiciones pueden estar asociadas a fallas incipientes, pérdidas de eficiencia o riesgos de sobrecalentamiento.

Los resultados obtenidos durante la auditoría técnica constituyen la base para la identificación de fallas, la evaluación del desempeño del sistema y la definición de acciones de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Asimismo, estos resultados permiten establecer criterios técnicos para la elaboración del manual de mantenimiento y la mejora continua de la gestión del sistema fotovoltaico (IEC, 2017; NREL, 2019).

La auditoría técnica aplicada en este estudio permitió identificar condiciones reales de operación del sistema fotovoltaico de la Universidad del Azuay, evidenciando tanto su comportamiento eléctrico como las principales necesidades de intervención.

2.1.9 Manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento constituye un documento técnico que establece procedimientos, frecuencias de intervención, responsables y medidas de seguridad para la adecuada gestión de un sistema fotovoltaico. Su finalidad es organizar de manera estructurada las actividades de mantenimiento, asegurando que estas se ejecuten de forma planificada, segura y conforme a criterios técnicos definidos. De acuerdo con buenas prácticas internacionales, un manual de mantenimiento debe incluir lineamientos claros para la ejecución de actividades preventivas

y correctivas, así como procedimientos de inspección periódica de los componentes del sistema. Su aplicación contribuye a mantener el rendimiento energético, reducir la ocurrencia de fallas inesperadas y prolongar la vida útil de los equipos (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2019).

Asimismo, el manual permite estandarizar los procedimientos técnicos, definiendo las actividades a realizar, la frecuencia de ejecución, los responsables y las medidas de seguridad eléctrica aplicables en cada intervención. Esta estandarización facilita la gestión del sistema, reduce la dependencia del conocimiento individual del personal técnico y contribuye a la continuidad operativa del sistema fotovoltaico (Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2001).

Desde el punto de vista normativo, la documentación técnica del sistema, incluyendo los procedimientos de mantenimiento, es considerada un requisito fundamental para garantizar su operación segura. Las normas internacionales recomiendan que los sistemas fotovoltaicos cuenten con manuales actualizados que incluyan registros de mantenimiento, listas de verificación e informes técnicos, los cuales sirven como soporte para auditorías y procesos de mejora continua (International Electrotechnical Commission [IEC], 2017).

Finalmente, el manual de mantenimiento facilita la planificación de recursos y la asignación de responsabilidades, convirtiéndose en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la operación del sistema fotovoltaico y contribuyendo a una gestión energética más eficiente (International Energy Agency [IEA], 2023).

2.1.10 Normativa internacional aplicable a sistemas fotovoltaicos

El diseño, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos se encuentran respaldados por diversas normas técnicas internacionales que establecen criterios de seguridad, desempeño y confiabilidad. Estas normativas permiten asegurar que las instalaciones funcionen de

manera eficiente y bajo condiciones adecuadas de operación a lo largo de su vida útil (International Electrotechnical Commission [IEC], 2017).

Una de las principales referencias en este ámbito es la norma IEC 62446, la cual establece los requisitos para la documentación, inspección y pruebas de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Esta norma define procedimientos para verificar el estado de los componentes, evaluar su funcionamiento y garantizar el cumplimiento de criterios de seguridad eléctrica (IEC, 2017).

Por su parte, la norma IEC 61724 establece lineamientos para el monitoreo del desempeño de los sistemas fotovoltaicos, incluyendo la medición de parámetros eléctricos, el seguimiento de la producción energética y el análisis de indicadores de rendimiento, lo que permite detectar pérdidas de eficiencia o fallas operativas (IEC, 2020).

Adicionalmente, el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) proporciona recomendaciones técnicas para la operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, abordando aspectos como la inspección de equipos, verificación de conexiones eléctricas y gestión de actividades de mantenimiento (IEEE, 2001).

De igual manera, organismos como el National Renewable Energy Laboratory (NREL) y la International Energy Agency (IEA) han desarrollado guías técnicas que establecen buenas prácticas para la operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, incluyendo procedimientos de limpieza, inspección, análisis del rendimiento y planificación de programas de mantenimiento (NREL, 2019; IEA, 2023).

En conjunto, estas normas y lineamientos constituyen la base técnica para la ejecución de auditorías y el desarrollo de manuales de mantenimiento, proporcionando criterios estandarizados que contribuyen a mejorar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos.

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Para la ejecución de la auditoría técnica, mantenimiento y elaboración del manual del sistema fotovoltaico, se emplearon los siguientes materiales y recursos:

El **sistema fotovoltaico** instalado en la Universidad del Azuay, sobre el cual se realizaron las actividades de inspección, medición, evaluación y mantenimiento.

El **multímetro digital**, utilizado para medir magnitudes eléctricas como voltaje en corriente continua y alterna, corriente y resistencia, permitiendo verificar el estado de los circuitos y el funcionamiento de los componentes eléctricos.

La **pinza amperimétrica**, empleada para medir corriente eléctrica sin necesidad de interrumpir el circuito, mediante la detección del campo magnético generado por el flujo de corriente en un conductor.

El **telurómetro,** instrumento utilizado para medir la resistencia del sistema de puesta a tierra, permitiendo evaluar la efectividad de las condiciones de seguridad eléctrica.

La **cámara termográfica**, utilizada para identificar variaciones de temperatura en los componentes del sistema, facilitando la detección de puntos calientes, fallas en conexiones y posibles defectos en módulos fotovoltaicos.

Materiales de limpieza, tales como cepillos, esponjas, franelas y agua, utilizados para la remoción de suciedad en la superficie de los módulos fotovoltaicos sin afectar su integridad.

Equipos de protección personal, incluyendo casco, guantes, gafas, arnés de seguridad y chaleco reflectivo, utilizados para garantizar la seguridad durante las actividades de mantenimiento.

Equipos de acceso, como escaleras, elevadores y grúas, utilizados para facilitar el acceso a los módulos fotovoltaicos instalados en altura.

El **dron**, utilizado para realizar inspecciones aéreas del sistema fotovoltaico, especialmente en zonas de difícil acceso.

Herramientas manuales, como desarmadores, pinzas, llaves y cinta aislante, utilizadas para la ejecución de actividades de mantenimiento.

Normativas técnicas internacionales, como las normas IEC y lineamientos de organismos como NREL e IEA, empleadas como referencia para la evaluación del sistema y la elaboración del manual de mantenimiento.

Fichas de inspección técnica, utilizadas para registrar el estado de los componentes durante el proceso de auditoría.

Figura 3 Implementos utilizados para el mantenimiento del sistema fotovoltaico

3.2 Metodología

Las mediciones eléctricas y termográficas se realizaron bajo condiciones de operación normal del sistema, en horarios de radiación solar, considerando múltiples registros por punto de medición, con el fin de garantizar la representatividad y confiabilidad de los datos obtenidos.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque técnico-aplicado, orientado a evaluar el estado operativo del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay y definir acciones de mantenimiento en función de los resultados obtenidos.

El procedimiento metodológico se estructuró en las siguientes etapas:

3.2.1 Levantamiento de información

Se recopiló información técnica del sistema fotovoltaico, incluyendo el número de paneles instalados, potencia de módulos e inversores, configuración de strings y ubicación de los sistemas en las diferentes edificaciones del campus.

3.2.2 Inspección visual del sistema

Previo a la ejecución de las mediciones eléctricas y termográficas, se realizó un proceso de mantenimiento preventivo en los inversores del sistema fotovoltaico, enfocado en la inspección visual y verificación del estado físico y operativo de sus componentes. Este procedimiento permitió identificar posibles anomalías asociadas al desgaste, acumulación de suciedad o fallas en las conexiones eléctricas, las cuales pueden afectar el desempeño del equipo.

La inspección incluyo la revisión de la carcasa, pantalla de monitoreo, sistemas de ventilación, disipación térmica y conexiones tanto en corriente alterna como en corriente continua, además de la verificación del etiquetado. A partir de esta evaluación se determinó el estado general de los inversores y se identificaron puntos que requieren ajuste o intervención.

A partir de los resultados obtenidos en la inspección visual, se identificaron patrones comunes en el estado operativo de los inversores del sistema fotovoltaico. En términos generales, los componentes estructurales y funcionales, como la carcasa, pantalla, disipadores y etiquetado nos muestran condiciones adecuadas en el 100% de los equipos evaluados, lo que indica un buen nivel de conservación y una correcta instalación inicial del sistema.

Sin embargo, se muestran condiciones recurrentes asociados al ambiente operativo, principalmente la acumulación de polvo en elementos expuestos como pantallas y ventiladores, con incidencias del 70% y 80% respectivamente. Este comportamiento es consistente con sistemas instalados en exteriores o en zonas con presencia de material particulado, lo cual puede afectar progresivamente la eficiencia de disipación térmica y la ventilación interna de los equipos si no se realiza mantenimiento periódico.

Algo importante que se pudo notar fueron las conexiones eléctricas donde se identificó ajuste mecánico deficiente en el 90% de los conectores AC y en 100% de los conectores DC. Esta condición representa un factor crítico ya que un torque inadecuado en terminales incrementa la resistencia de contacto, favoreciendo la generación de pérdidas por efecto Joule y elevación de temperatura, lo que puede derivar en fallas eléctricas, deterioro del aislamiento y reducción de la vida útil de los componentes.

3.2.3 Mediciones de parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) en diferentes puntos del sistema, considerando:

- Voltaje en circuito abierto (Voc)
- Voltaje en punto de máxima potencia (Vmp)
- Voltajes de salida de inversores
- Voltajes entre fases

Estas mediciones permitieron evaluar el comportamiento eléctrico del sistema y detectar posibles desviaciones en su funcionamiento.

3.2.4 Evaluación del sistema de puesta a tierra

Se midió la resistencia del sistema de puesta a tierra mediante el uso de un telurómetro, con el objetivo de verificar el cumplimiento de criterios de seguridad eléctrica.

3.2.5 Inspección termográfica

Se realizó un análisis termográfico en módulos, conexiones eléctricas e inversores, con el fin de identificar puntos calientes y anomalías térmicas que puedan indicar fallas o pérdidas de eficiencia.

3.2.6 Registro de información

La información obtenida durante las inspecciones y mediciones fue registrada mediante fichas técnicas, fotografiadas y notas de campo, permitiendo documentar el estado del sistema antes y después de las intervenciones.

3.2.7 Mantenimiento preventivo

Se ejecutaron actividades de mantenimiento preventivo orientadas a mejorar las condiciones de operación del sistema fotovoltaico incluyendo:

- Limpieza de modulo fotovoltaicos.
- Limpieza de inversores.
- Eliminación de polvo en ventilación.
- Verifacion de obstrucciones.
- Ajuste de conexiones eléctricas.

Estas actividades permiten reducir perdidas de eficiencia y mejorar la disipación térmica de los equipos.

3.2.8 Corrección de anomalías

En función de los resultados obtenidos durante la auditoria, se realizaron intervenciones técnicas para corregir anomalías detectadas en el sistema, tales como:

- Ajuste de conexiones eléctricas en terminales AC y DC
- Corrección de polaridad en strings fotovoltaicos
- Reemplazo de conectores defectuosos tipo MC4
- Sustitución de interruptores mal dimensionados
- Cambio de módulos fotovoltaicos con fallas térmicas

Estas acciones permitieron restablecer condiciones adecuadas de operación, mejorar la seguridad del sistema y optimizar su rendimiento energético.

3.2.9 Elaboración del manual de mantenimiento

Finalmente, se desarrolló un manual técnico que incluye procedimientos, frecuencias de inspección, medidas de seguridad y formatos de registro para la correcta gestión del sistema.

4. Resultados

4.1 Resultados Eléctricos

Vicerrectorado

Figura 5 Paneles vicerrectorado

Figura 4 Inversor Vicerrectorado

Tabla 1 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Vicerrectorado

Transformador	42554 P
Numero de paneles instalados	62 paneles
Potencia panel (W)	550 W
Potencia instalada del panel (KW)	34,1 KW
Potencia Inversor (KW)	36 KW

Tabla 2 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Vicerrectorado

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	446 V	488 V	443 V	445 V	442 V	486 V
Vmp	391 V	394 V	371 V	373 V	363 V	363 V

Los valores de voltaje en corriente continua registrados en las diferentes cadenas fotovoltaicas (strings) presentan variaciones entre sí, evidenciando un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica del sistema. Se identificaron diferencias entre cadenas que pueden estar asociadas a factores como acumulación de suciedad en los módulos, variaciones en la irradiancia o desbalances en la configuración del sistema. Estas condiciones pueden afectar el rendimiento global del sistema, ya que la producción energética tiende a limitarse a la cadena de menor desempeño.

Figura 6 Valores de voltaje DC vicerrectorado

Tabla 3 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Vicerrectorado

L1L2	**L2L3**	**L1L3**
215,2 V	214,7 V	216,8 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Este comportamiento evidencia un funcionamiento correcto del sistema de conversión de energía, sin desviaciones que puedan afectar la calidad del suministro eléctrico.

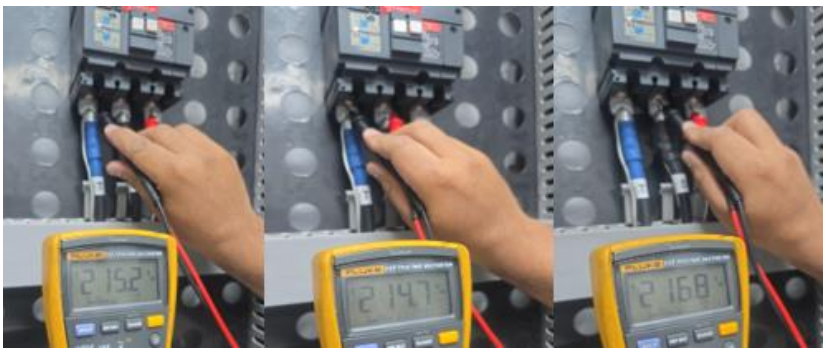


Figura 7 Valores de voltaje AC vicerrectorado

Campus Tech

Figura 8 Paneles Campus Tech

Figura 9 Inversores Campus Tech

Tabla 4 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Campus Tech

Transformador	42554P
Numero de paneles	207 paneles
Potencia de panel (W)	580 W
Potencia instalada del panel (KW)	120.06 KW
Potencia Inversor (KW)	36 KW

Tabla 5 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Lácteos

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	607 V	553 V	505 V	604 V	607 V	560 V
Vmp	522 V	426 V	582 V	540 V	540 V	443 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan diferencias significativas entre los distintos strings fotovoltaicos, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican variaciones notables en los valores de Vmp, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Esta condición puede estar asociada a diferencias en la irradiancia,

acumulación de suciedad en los módulos o posibles deficiencias en la configuración de las cadenas. Este desbalance afecta el rendimiento del sistema, ya que la producción energética se ve limitada por el string de menor desempeño.

Figura 10 Valores de voltaje DC lácteos

Tabla 6 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Lácteos

LIL2	**L2L3**	**L1L3**
220,4 V	222,9 V	222,4 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Este comportamiento evidencia un funcionamiento adecuado del sistema, sin desviaciones que afecten la calidad del suministro eléctrico.

Figura 11 valores voltaje AC lácteos

Tabla 7 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Uda salud

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	597 V	550 V	551 V	600 V	600 V	550 V
Vmp	480 V	475 V	485 V	485 V	480 V	480 V

Los valores de voltaje en corriente continua registrados en las diferentes cadenas fotovoltaicas presentan un comportamiento homogéneo, evidenciando condiciones de operación estables del sistema. Las diferencias entre los valores de Voc y Vmp son mínimas, lo que indica una adecuada configuración de los strings y una generación eléctrica uniforme. Este comportamiento sugiere que el sistema no presenta desbalances significativos, permitiendo un rendimiento eficiente en la conversión de energía.

Figura 12 Valores voltaje DC Uda salud

Tabla 8 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Uda salud

LIL2	**L2L3**	**L3L1**
230 V	222 V	228 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica Las variaciones entre fases son mínimas, lo que evidencia un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 13 Valores voltaje AC Uda salud

Tabla 9 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Campus Tech

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	591 V	542 V	587 V	542 V	589 V	542 V
Vmp	477 V	469 V	476 V	467 V	413 V	409 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan diferencias notables entre los distintos strings fotovoltaicos, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican variaciones significativas en los valores de Vmp, especialmente en las cadenas B5 y B6, que presentan valores inferiores respecto a las demás, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Esta condición puede estar asociada a factores como acumulación de suciedad en los módulos, diferencias en la irradiancia o posibles deficiencias en las conexiones eléctricas. Este desbalance afecta el rendimiento del sistema, ya que la producción energética se ve limitada por las cadenas de menor desempeño.

Figura 14 Valores voltaje DC campus tech

Tabla 10 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Campus Tech

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
220 V	218 V	220 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las diferencias entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 16 valores voltaje AC campus tech

Dislab

Figura 17 Paneles Dislab

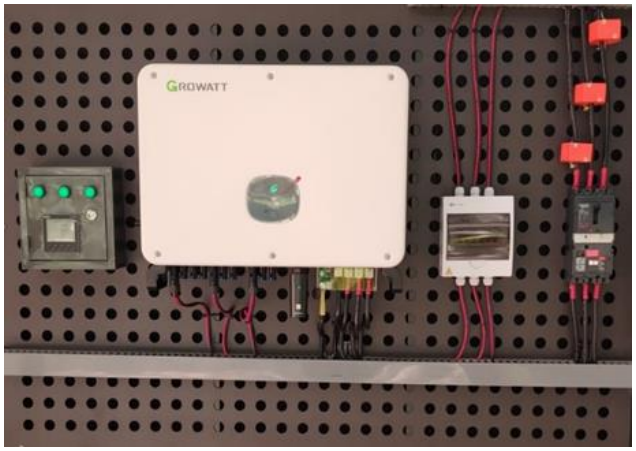


Figura 18 Inversor Dislab

Tabla 11 Características del sistema fotovoltaico Dislab

Transformador	4947P
Numero de paneles	40
Potencia de panel (W)	580W
Potencia instalada del panel (KW)	23,2KW
Potencia Inversor (KW)	25KW

Tabla 12 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor Dislab

	B1	**B2**	**B3**
Voc	679 V	641 V	558 V
Vmp	582 V	526 V	560 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan variaciones entre las diferentes cadenas fotovoltaicas, evidenciando un comportamiento no completamente uniforme del sistema. Se identifican diferencias en los valores de Voc y Vmp, particularmente en la cadena B3, lo que podría estar asociado a condiciones de operación no homogéneas, como variaciones en la irradiancia o diferencias en el estado de los módulos. A pesar de estas variaciones, el sistema mantiene condiciones de operación aceptables, sin evidenciar desbalances críticos que comprometan significativamente su rendimiento.

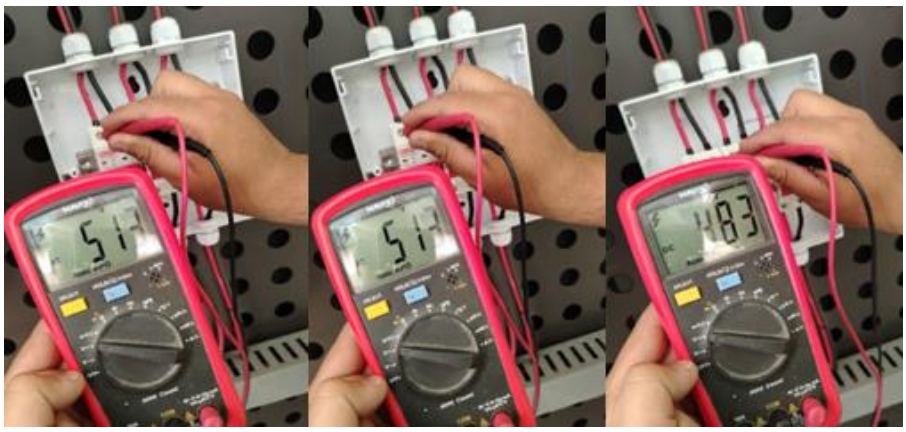


Figura 19 Valores voltaje DC Dislab

Tabla 13 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor Dislab

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
222,4 V	221,4 V	221,2 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), evidenciando estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, lo que indica un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 20 Valores voltaje AC Dislab

Aulario

Figura 22 Paneles Aulario

Figura 21 Inversor Aulario

Tabla 14 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Aulario

Transformador	4947P
Numero de paneles	120
Potencia de panel (W)	630W
Potencia instalada del panel (KW)	75,6KW
Potencia Inversor (KW)	36KW

Tabla 15 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Aulario A

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	455 V	455 V	455 V	452 V	451 V	452 V
Vmp	446 V	446 V	445 V	445 V	445 V	445 V

Los valores de voltaje en corriente continua registrados en las diferentes cadenas fotovoltaicas presentan un comportamiento uniforme, evidenciando condiciones de operación estables del

sistema. Las variaciones entre los valores de Voc y Vmp son mínimas, lo que indica una

L1L2	L2L3	L3L1
219,1 V	216 V	217,9 V

adecuada configuración de los strings y una generación eléctrica homogénea.

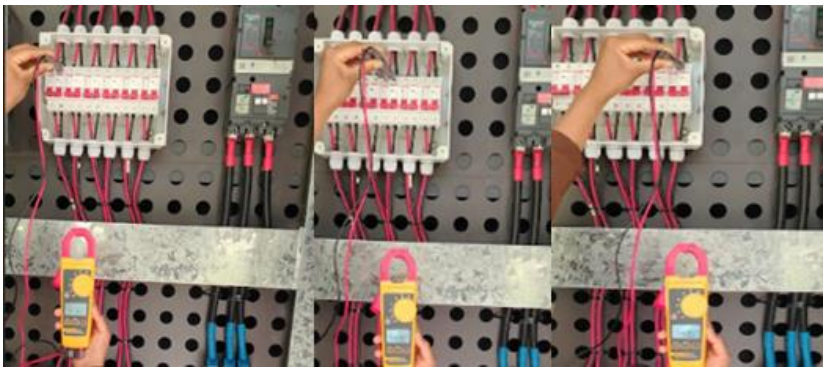


Tabla 16 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Aulario A

Figura 23 Valores voltaje DC aulario A

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

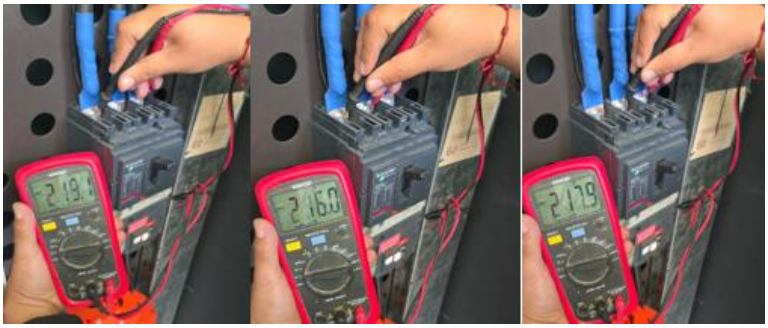


Figura 24 Valores voltaje AC aulario A

Tabla 17 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Aulario B

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Voc	458 V	457 V	457 V	457 V	456 V	456 V
Vmp	444 V	443 V	443 V	442 V	442 V	442 V

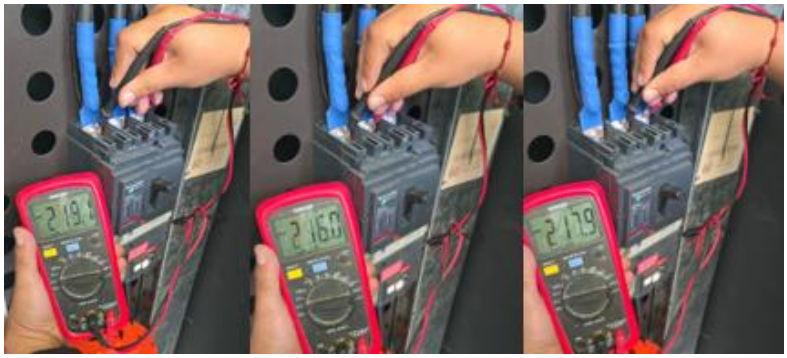
Los valores de voltaje en corriente continua registrados en las diferentes cadenas fotovoltaicas presentan un comportamiento uniforme, evidenciando condiciones de operación estables del sistema. Las variaciones entre los valores de Voc y Vmp son mínimas, lo que indica una adecuada configuración de los strings y una generación eléctrica homogénea. Este comportamiento sugiere que el sistema mantiene un buen balance, sin evidenciar desbalances que afecten su rendimiento.

Figura 25 Valores voltaje DC aulario B

Tabla 18 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Aulario B

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
219,1 V	216 V	217,9 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.



Biblioteca

Figura 26Valores voltaje AC aulario B

Figura 27 Paneles Biblioteca

Figura 28 Inversor Biblioteca

Tabla 19 Características técnicas del sistema fotovoltaico de Biblioteca

Transformador	21057P
Numero de paneles	192
Potencia de panel (W)	360W
Potencia instalada del panel (KW)	62,12KW
Potencia Inversor (KW)	60KW

Tabla 20 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de Biblioteca

	String	**String**	**String**
Voc	692 V	659 V	677 V
Vmp	664 V	698 V	664 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan inconsistencias en los datos registrados, debido a que en una de las cadenas el valor de Vmp es superior al de Voc, lo cual no corresponde al comportamiento físico de un sistema fotovoltaico. Esta condición invalida la confiabilidad de los datos obtenidos, por lo que no es posible realizar un análisis preciso del

comportamiento eléctrico en este punto. La causa probable está asociada a errores en la medición, in

Figura 29 Valores voltaje DC biblioteca

Tabla 21 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de Biblioteca

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
221,7 V	220,9 V	220 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 30 Valores voltaje AC biblioteca

Filosofía

Figura 32 Paneles Filosofía

Figura 31 Inversor Filosofía

Tabla 22 Características técnicas del sistema fotovoltaico de filosofía

Transformador	4947P
Numero de paneles	72
Potencia de panel (W)	610W
Potencia instalada del panel (KW)	45,36KW
Potencia Inversor (KW)	60KW

Tabla 23 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de filosofía

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	548 V	548 V	545 V	541 V	543 V	543 V
Vmp	471 V	476 V	473 V	503 V	493 V	478 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan variaciones entre las diferentes cadenas fotovoltaicas, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican diferencias en los valores de Vmp entre los distintos strings, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Esta condición puede estar asociada a factores como variaciones en la irradiancia, acumulación de suciedad en los módulos o posibles deficiencias en las conexiones eléctricas. Este desbalance puede afectar el rendimiento del sistema, ya que la producción energética se ve limitada por las cadenas de menor desempeño.

Figura 33Valores voltaje DC filosofía

Tabla 24 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de filosofía

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
222,3 V	224,5 V	223,6 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 34 Valores voltajes AC filosofía

Auditorio

Figura 36 Paneles Auditorio

Figura 35 Inversor Auditorio

Tabla 25 Características técnicas del sistema fotovoltaico del Auditorio

Transformador	21057P
Numero de paneles	70
Potencia de panel (W)	580 W
Potencia instalada del panel (KW)	40,60 KW
Potencia Inversor (KW)	50 KW

Tabla 26 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor del Auditorio

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	585 V	593 V	605 V	601 V	538 V	543 V
Vmp	483 V	449 V	451 V	504 V	456 V	466 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan diferencias entre las diferentes cadenas fotovoltaicas, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican variaciones en los valores de Voc y Vmp entre los distintos strings, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Estas diferencias pueden estar asociadas a variaciones en la irradiancia, acumulación de suciedad en los módulos o posibles deficiencias en las conexiones eléctricas. Este desbalance puede afectar el rendimiento del sistema, ya que la producción energética se ve limitada por las cadenas de menor desempeño.

Figura 37 Valores voltaje DC Auditorio

Tabla 27 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor del Auditorio

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
218,9 V	220,8 V	217,8 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

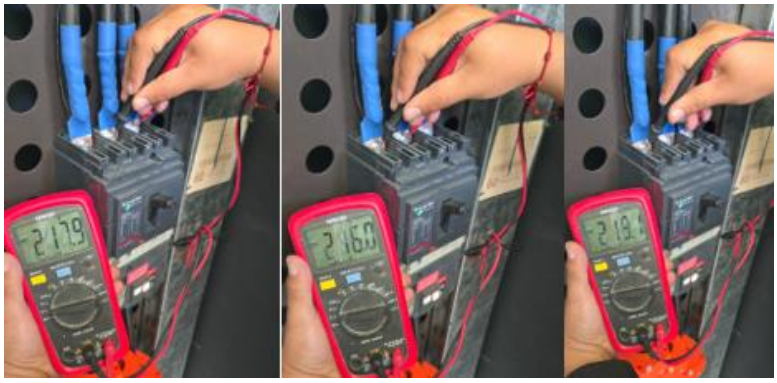


Figura 38 Valores voltaje AC auditorio

Torre de reloj

Tabla 29 Panales Torre de reloj

Tabla 28 Inversor Torre de reloj

Tabla 30 Características técnicas del sistema fotovoltaico de la torre de reloj

Transformador	28151P
Numero de paneles	105
Potencia de panel (W)	630W
Potencia instalada del panel (KW)	66,15KW
Potencia Inversor (KW)	50KW

Tabla 31 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de la torre de reloj

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	605 V	600 V	603 V	656 V	648 V	653 V
Vmp	523 V	520 V	518 V	564 V	576 V	561 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan diferencias entre las distintas cadenas fotovoltaicas, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican variaciones en los valores de Voc y Vmp entre los diferentes strings, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Estas diferencias pueden estar asociadas a variaciones en la irradiancia, acumulación de suciedad en los módulos o posibles deficiencias en las conexiones eléctricas.

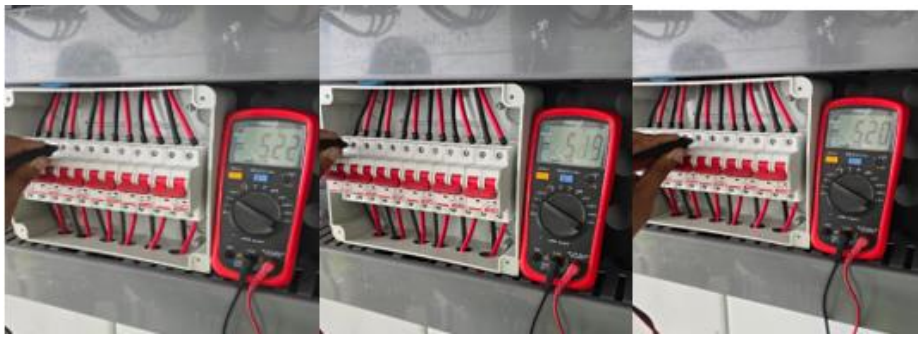


Figura 39 Valores de voltaje DC torre de reloj

Tabla 32 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de la torre del reloj

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
222,1 V	223,4 V	221,7 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 40 Valores voltaje AC torre reloj

Science Lab

Figura 42 Paneles Science Lab

Figura 41 Inversor Science Lab

Tabla 33 Características técnicas del sistema fotovoltaico de Science Lab

Transformador	28151P
Numero de paneles	110
Potencia de panel (W)	630 W
Potencia instalada del panel (KW)	69,3KW
Potencia Inversor (KW)	50KW

Tabla 34 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de Science Lab

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**	**B7**	**B8**
Voc	478 V	477 V	475 V	477 V	476 V	479 V	477 V	415 V
Vmp	413 V	424 V	422 V	410 V	339 V	478 V	477 V	475 V

Los valores de voltaje en corriente continua presentan diferencias significativas entre las distintas cadenas fotovoltaicas, evidenciando un desbalance en el sistema. Se identifican variaciones notables en los valores de Vmp, particularmente en la cadena B5, que presenta un valor considerablemente inferior respecto a las demás, lo que indica un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica. Esta condición puede estar asociada a factores como acumulación de suciedad en los módulos, diferencias en la irradiancia o posibles deficiencias en las conexiones eléctricas.

Figura 43 Valores voltaje DC Science Lab

Tabla 35 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de Science Lab

L1L2	**L2L3**	**L3L1**
219 V	217 V	217 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. Las variaciones entre fases son mínimas, evidenciando un funcionamiento equilibrado del sistema sin afectar la calidad del suministro eléctrico.

Figura 44 Valores voltaje AC science lab

Secretaria CCTT

Figura 46 Paneles secretaria

Figura 45 Inversor secretaria

Tabla 36 Valores de voltaje en corriente continua (DC) del inversor de secretaria CCTT

	B1	**B2**	**B3**	**B4**	**B5**	**B6**
Voc	361 V	363 V	366 V	383 V	359 V	389 V
Vmp	443 V	443 V	443 V	434 V	439 V	444 V

Se evidencian inconsistencias en los valores de voltaje medidos en corriente continua, debido a que los valores de Vmp resultan superiores a los de Voc, condición que no corresponde al comportamiento físico de un sistema fotovoltaico. Esta anomalía invalida la confiabilidad de los datos obtenidos, por lo que no es posible realizar un análisis preciso del comportamiento eléctrico en este punto. La causa probable está asociada a errores en la medición, conexiones incorrectas de los instrumentos o inversión de polaridad en las cadenas fotovoltaicas. Por esta razón, se requiere una verificación técnica de las mediciones y del conexionado eléctrico, con el fin de garantizar la validez de los datos registrados.

Figura 47 Valores voltaje DC secretaria cctt

Tabla 37 Valores de voltaje en corriente alterna (AC) del inversor de secretaria CCTT

L1L2	L2L3	L3L1
230,4 V	227,7 V	227,9 V

Los valores de voltaje en corriente alternan se mantienen dentro del rango de operación permitido (209–231 V), lo que indica estabilidad en la salida del inversor y una adecuada sincronización con la red eléctrica. A pesar de la inconsistencia en las mediciones de corriente continua, el sistema presenta un comportamiento adecuado en la conversión a corriente alterna.

Figura 48 Valores voltaje AC secretaria cctt

4.3 Medición puesta a tierra

La evaluación del sistema de puesta a tierra se realizó con el objetivo de verificar su capacidad para disipar de manera segura las corrientes de falla y garantizar la protección de los equipos y del personal. Para ello, se efectuaron mediciones de resistencia de puesta a tierra en los diferentes puntos del sistema fotovoltaico utilizando un telurómetro. Los valores obtenidos fueron comparados con el límite establecido por la empresa distribuidora CENTROSUR, el cual indica que la resistencia de puesta a tierra debe ser menor o igual a 25 Ω para considerarse dentro de condiciones seguras de operación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los sistemas evaluados.

Puesta a tierra Vicerrectorado

Figura 49 puesta a tierra vicerrectorado

El valor obtenido en la medición de puesta a tierra fue de 104 ohmios, el cual se encuentra fuera del rango permitido por la empresa distribuidora CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm para este tipo de sistemas. Esta condición indica que el sistema no cumple con los criterios de seguridad eléctrica requeridos, lo que puede afectar la correcta disipación de corrientes de falla. Por lo tanto, se recomienda la implementación de mejoras en el sistema de puesta a tierra, tales como la optimización de electrodos o la revisión de las conexiones existentes.

Campus Tech

Figura 52 Medición puesta tierra lácteos

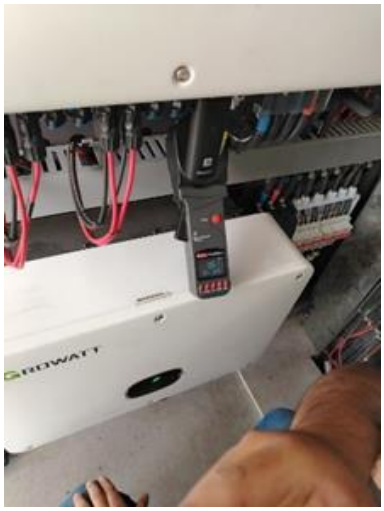


Figura 50 Medición puesta tierra uda salud

Figura 51 Medición puesta a tierra campus tech

Las mediciones obtenidas de puesta a tierra fueron en: Lácteos 0.62 ohm, Uda salud 0,6 ohm y en campus Tech 0,29 ohm. Los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos de CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm para sistemas de puesta tierra en este tipo de sistemas. El sistema de puesta tierra cumple con los criterios técnicos requeridos.

Aulario

Figura 54 Puesta a tierra Aulario A

Figura 53 Puesto a tierra Aulario B

Los valores obtenidos de puesta a tierra fueron en el aulario A de 22,5 ohm y en el aulario B de 21,9 ohm. Estos valores se encuentran de los rangos permitidos establecidos por CENTROSUR que es de un valor máximo de 25 ohm. Se verifico que los sistemas si cumplen con los criterios técnicos requeridos.

Dislab

Figura 55 Puesta a tierra Dis lab

Los valores obtenidos de la medición de puesta a tierra son de 0,55 ohm, el cual se encuentra dentro del rango establecido por CENTROSUR que es de un valor máximo de 25 ohm. Por lo cual se verifica que el sistema cumple con los criterios técnicos requeridos.

Filosofía

Figura 56 Puesta a tierra Filosofía

El valor obtenido en la medición fue de 2,2 ohm, el cual se encuentra dentro del rango permisible establecido por la empresa distribuidora CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm para sistemas puesta a tierra. Se verifico que el sistema cumple con los criterios técnicos requeridos.

Auditorio

Figura 57 Puesta a tierra Auditorio

El valor que se obtuvo en la medición fue de 2.3 ohm el cual está dentro de los valores establecidos permitidos por la CENTROSUR que son un valor máximo de 25 ohm. Aquí el sistema cumple con los criterios técnicos establecidos.

Biblioteca

Figura 58 Puesta a tierra Biblioteca

El valor obtenido en la medición fue de 6.6 ohm, el cual se encuentra dentro del rango permisible por la empresa CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm. Aquí se verifico que el sistema de puesta a tierra cumple con los criterios técnicos requeridos.

Edificio torre del reloj

Figura 59 Puesta a tierra torre de reloj

El valor obtenido en la medición fue de 1,5 ohm, el cual se encuentra dentro del rango permisible establecido por la empresa CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm. S e verifico que el sistema de puesta a tierra cumple con los criterios técnicos requeridos.

Science Lab

Figura 60 Puesta a tierra Science Lab

El valor obtenido en la medición fue de 2,6 ohm, el cual se encuentra dentro del rango permisible establecido por la empresa CENTROSUR que establece un valor máximo de 25 ohm. Se verifico que el sistema de puesta a tierra cumple con los criterios técnicos requeridos.

Secretaria CCTT

Figura 61 Puesta a tierra secretaria CCTT

El valor obtenido en la medición fue de 17,9 ohm, el cual se encuentra dentro del rango permisible establecido por la empresa CENTROSUR, que establece un valor máximo de 25 ohm. Se verifica que el sistema de puesta a tierra cumple con los criterios técnicos requeridos.

4.4 Termografía

Se realizó una inspección mediante cámara termográfica en conexiones de corriente continua (DC), conexiones de corriente alterna (AC), protecciones eléctricas y superficie de los inversores, con el objetivo de identificar puntos calientes asociados a falsos contactos, deficiencias en el torque de apriete o incrementos de resistencia eléctrica.

Esta evaluación permite detectar condiciones anómalas de operación que pueden derivar en fallas prematuras de los equipos, degradación del aislamiento de los conductores, pérdidas de eficiencia energética y riesgos de sobrecalentamiento, los cuales podrían ocasionar interrupciones del servicio o fallas en el sistema fotovoltaico.

Tabla 38 Evaluación termográfica del inversor del Vicerrectorado

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	36,2 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación dentro del rango térmico
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin evidencia de sobrecarga
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin pérdidas por efecto Joule
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin sobrecalentamiento
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Funcionamiento normal

Los valores de temperatura registrados se encuentran dentro de rangos normales de operación, sin evidencia de sobrecalentamientos en los componentes evaluados, lo que indica condiciones adecuadas de funcionamiento del sistema.

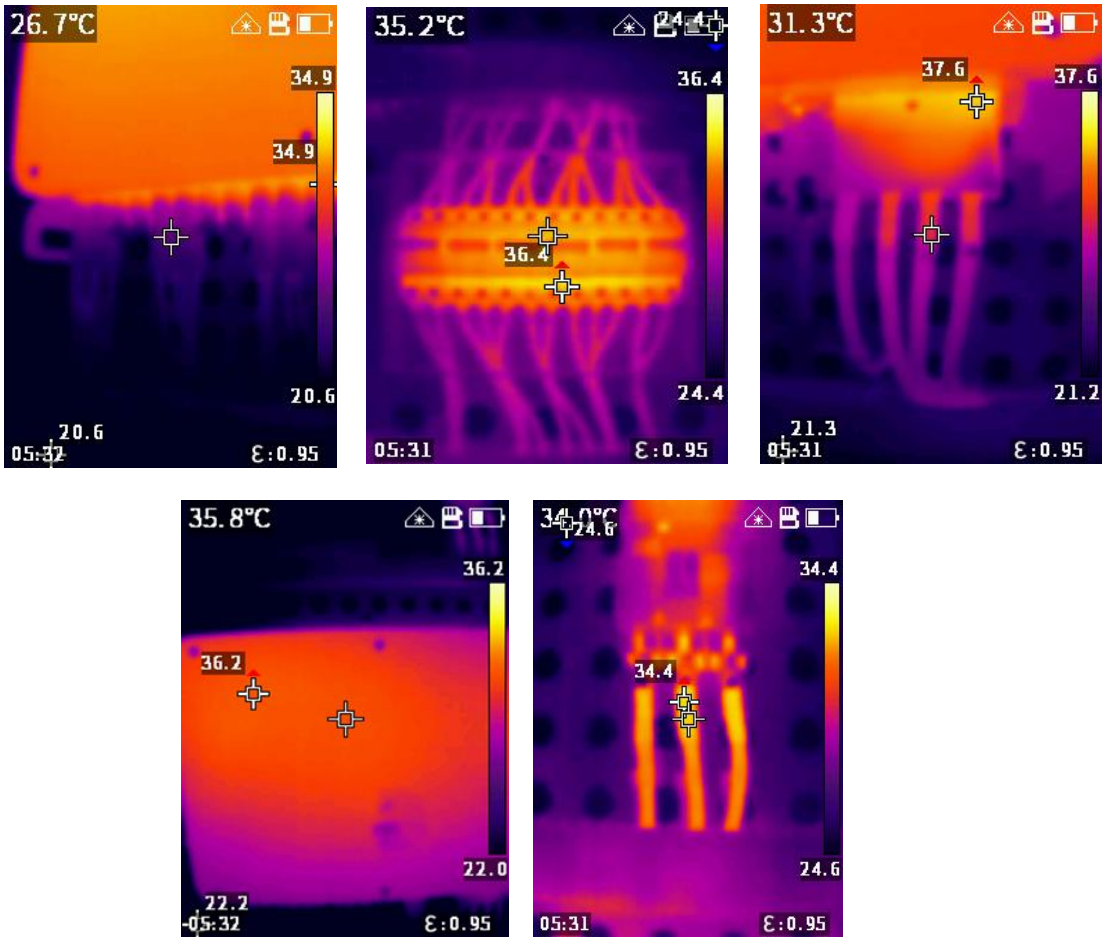


Figura 62 Mediciones termográficas inversor

Tabla 39 Evaluación termográfica del inversor Lácteos

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	48,9 °C	-25 a 60 °C	OK	Dentro del rango de operación
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin evidencia de sobrecalentamiento
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Condiciones térmicas normales
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin anomalías térmicas
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Operación adecuada

Los valores de temperatura se mantienen dentro de rangos adecuados de operación, sin evidencia de anomalías térmicas en los componentes evaluados.

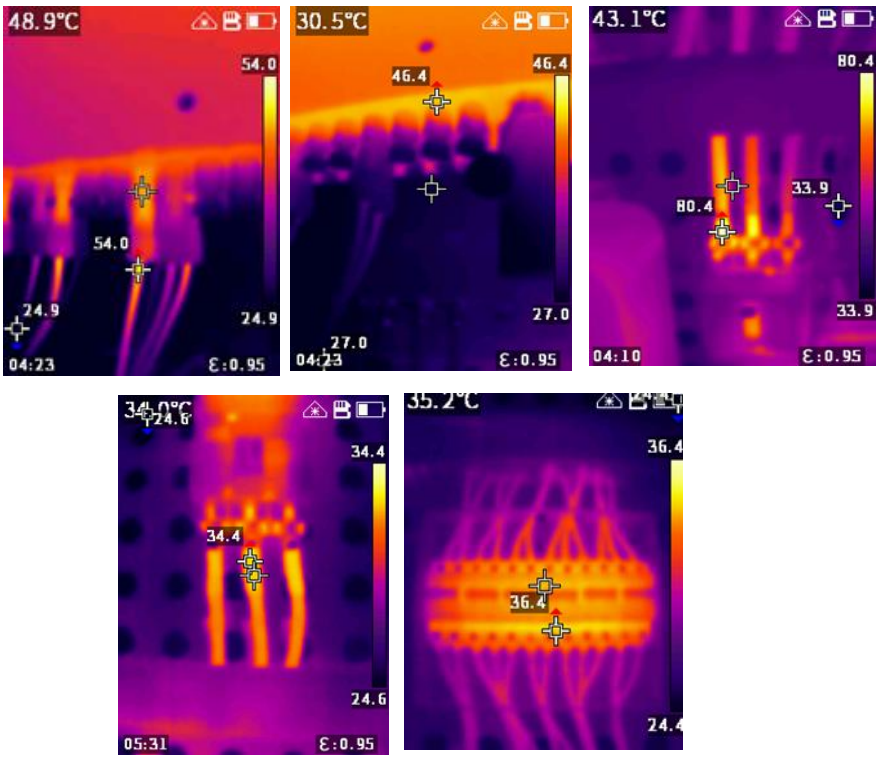


Figura 63 Mediciones termográficas lácteos

Tabla 40 Evaluación termográfica del inversor de Uda salud

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	26,7 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación estable
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin incremento térmico anormal
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Funcionamiento adecuado
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin sobrecalentamiento
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Condiciones normales

Los valores de temperatura se encuentran dentro del rango operativo permitido, evidenciando condiciones normales de funcionamiento del sistema.

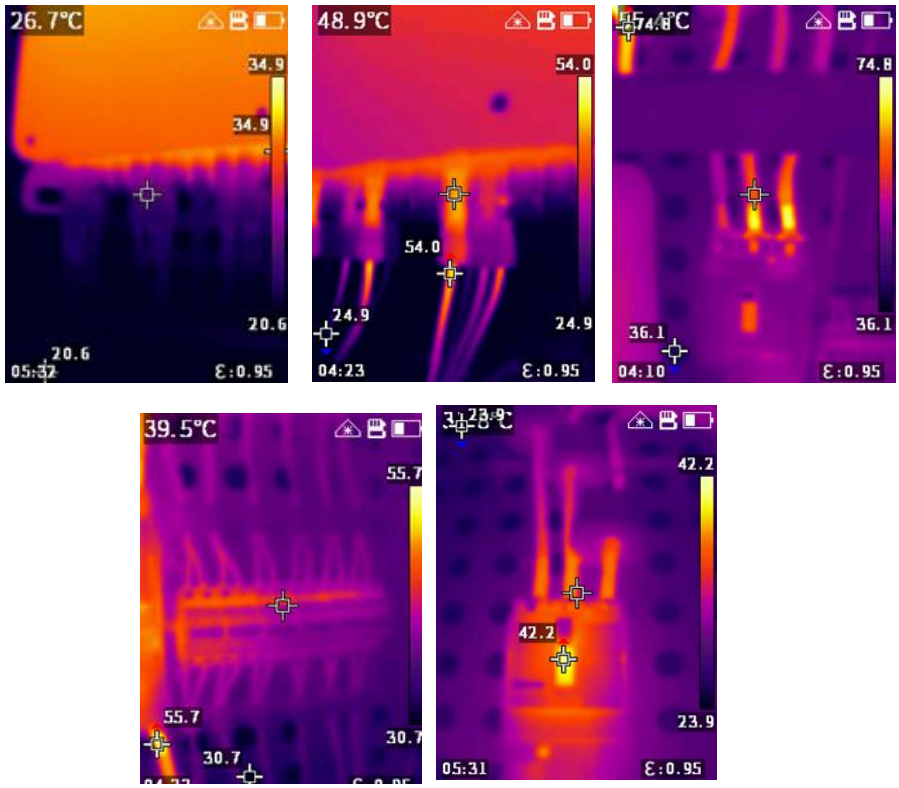


Figura 64 Mediciones termográficas Uda salud

Tabla 41Evaluación termográfica del inversor Campus Tech

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	35,8 °C	-25 a 60 °C	OK	Dentro del rango operativo
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin anomalías térmicas
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Operación estable
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin indicios de falla
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Funcionamiento normal

Los valores de temperatura se encuentran dentro del rango operativo permitido, evidenciando condiciones normales de funcionamiento del sistema.

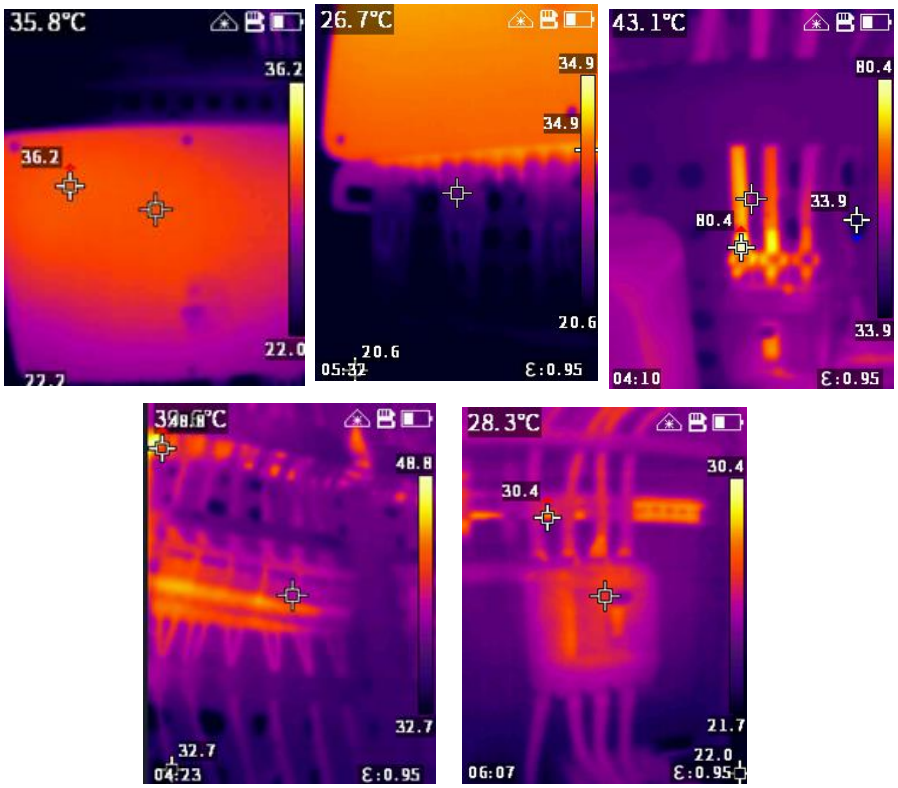


Figura 65 Mediciones termográficas Campus Tech

Tabla 42 Evaluación termográfica del inversor de Aulario

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	32,2 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación dentro de parámetros
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin sobrecarga
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Condiciones normales
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin calentamiento
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Operación adecuada

Se evidencian condiciones térmicas adecuadas en los componentes evaluados, sin presencia de sobrecalentamientos.

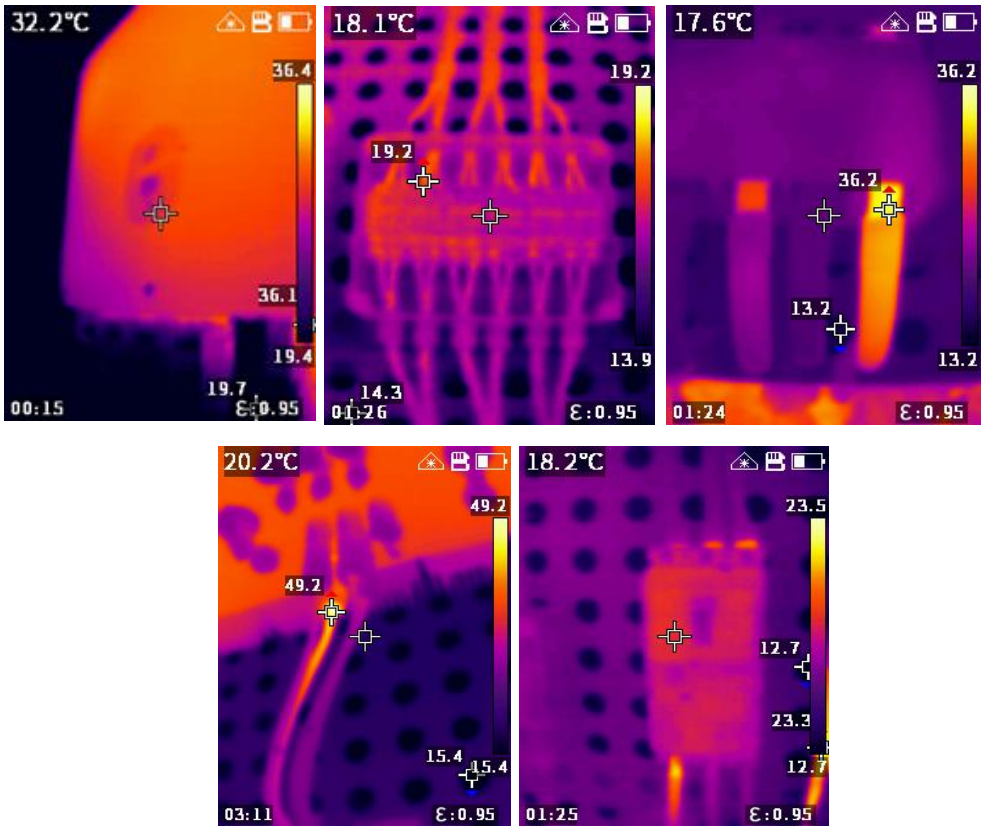


Figura 66 Mediciones termográficas Aulario

Tabla 43 Evaluación termográfica del inversor de Dislab

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	24,3 °C	-25 a 60 °C	OK	Funcionamiento estable
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin anomalías
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin pérdidas térmicas
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Condición normal
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Sin puntos críticos

Los valores registrados indican un comportamiento térmico estable, sin anomalías que afecten la operación del sistema.

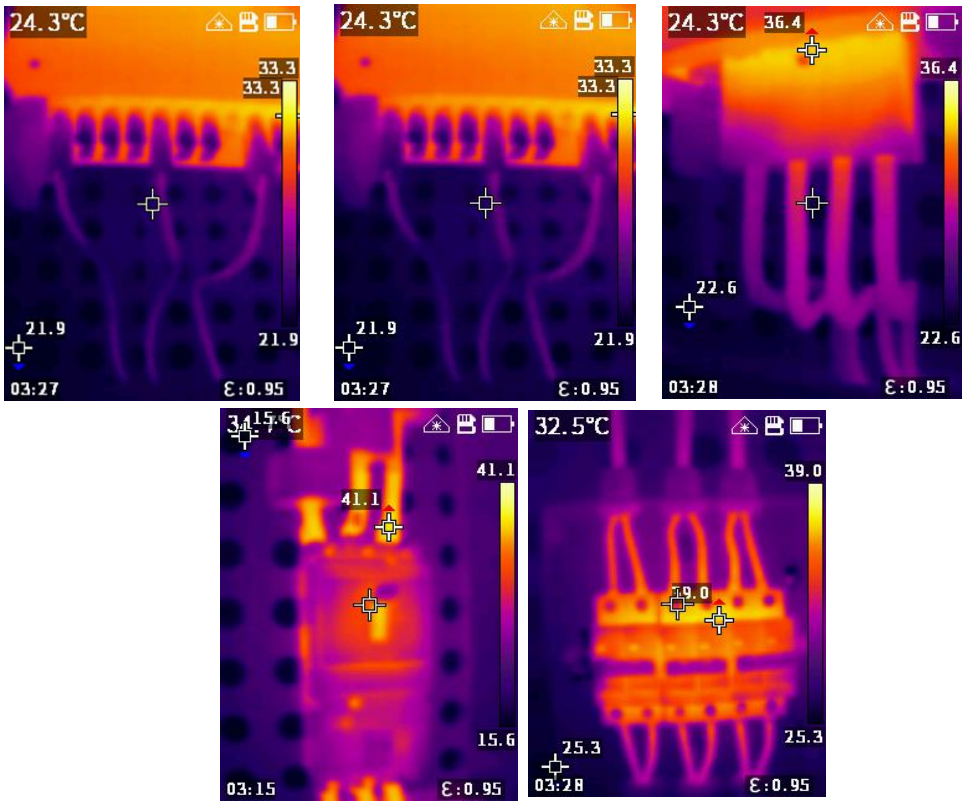


Figura 67 Mediciones termografías Dislab

Tabla 44 Evaluación termográfica del inversor de Filosofía

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	25,5 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación normal
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin sobrecalentamiento
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Condición adecuada
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin anomalías
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Funcionamiento correcto

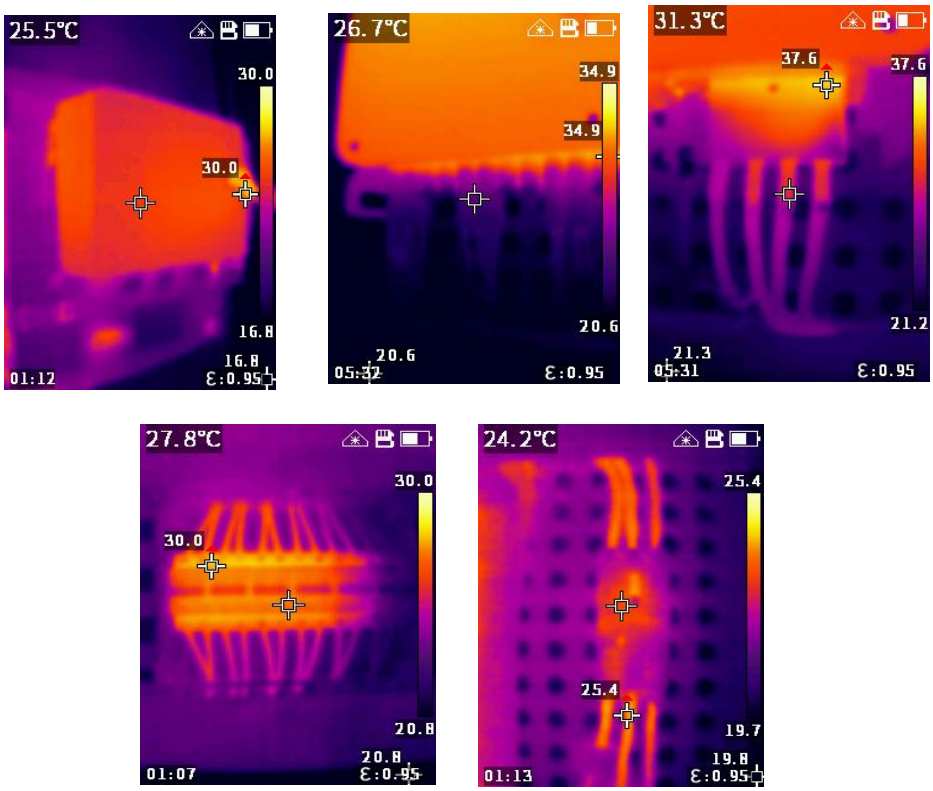


Figura 68 Mediciones termografías Filosofía

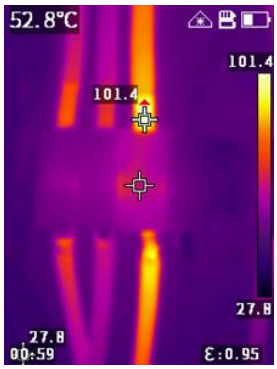


Figura 69 Presencia de puntos calientes inversor Filosofía

Se identificó un punto caliente en los terminales de conexión, registrando una temperatura de 101.4 °C, superior al límite permitido para los conductores. Esta condición evidencia una falla asociada a deficiencias en la conexión eléctrica, representando un riesgo de sobrecalentamiento y posible falla del sistema.

Figura 70 Crimpado de terminales

Posterior a la intervención técnica, se evidencia una reducción significativa de la temperatura en la conexión evaluada, lo que confirma la efectividad de la corrección aplicada.

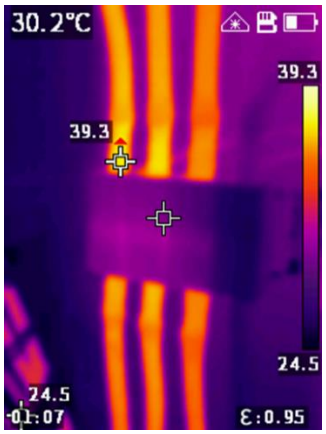


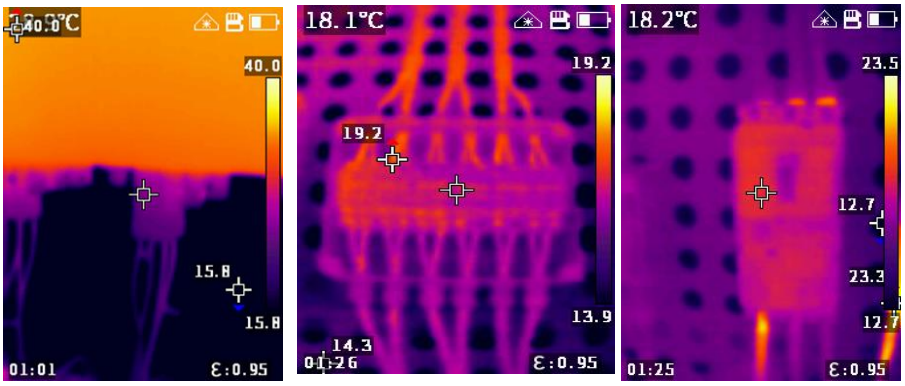
Figura 71 corrección de puntos calientes Filosofía

La evaluación termográfica permitió identificar un incremento de temperatura en un componente específico, evidenciando la presencia de un punto caliente. Esta condición puede estar asociada a un aumento de la resistencia de contacto, conexiones deficientes o problemas en el ajuste de los conductores. Este tipo de anomalía puede afectar el rendimiento del sistema y representa un riesgo potencial, por lo que se recomienda realizar una revisión técnica y ajuste de las conexiones involucradas.

Tabla 45 Evaluación termográfica del inversor de Auditorio

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	40 °C	-25 a 60 °C	OK	Dentro del rango operativo
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin incremento térmico
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Funcionamiento normal
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin sobrecalentamiento
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Operación estable

Los valores de temperatura registrados se encuentran dentro del rango esperado de operación, sin evidencia de anomalías térmicas.



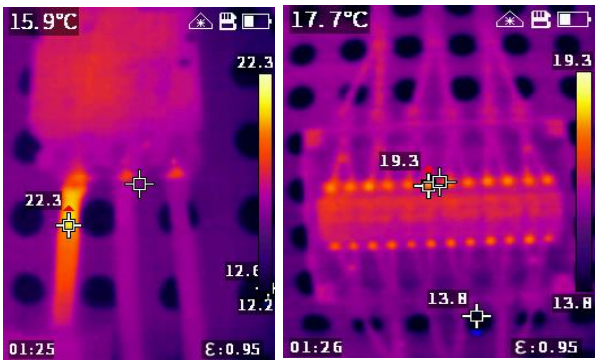
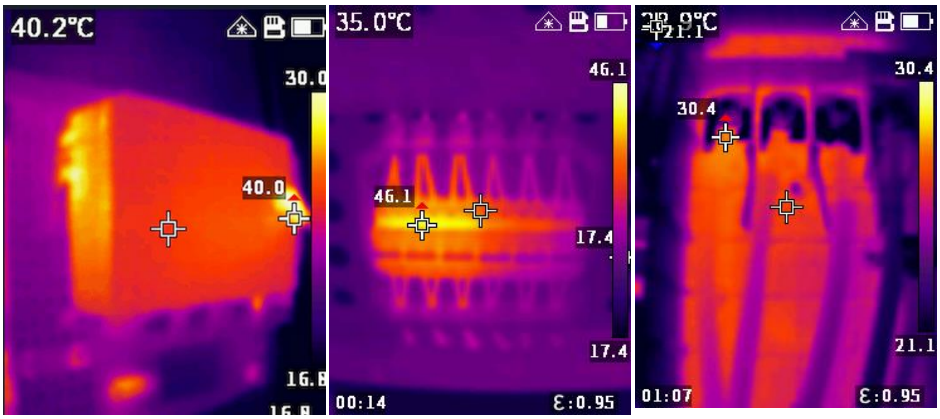


Figura 72 Mediciones termográficas auditorio

Tabla 46 Evaluación termografica del inversor de Biblioteca

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	40,2 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación dentro del rango
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin anomalías térmicas
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Condiciones normales
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin fallas térmicas
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Funcionamiento adecuado

Se presentan condiciones térmicas adecuadas en los componentes evaluados, sin indicios de sobrecalentamiento.



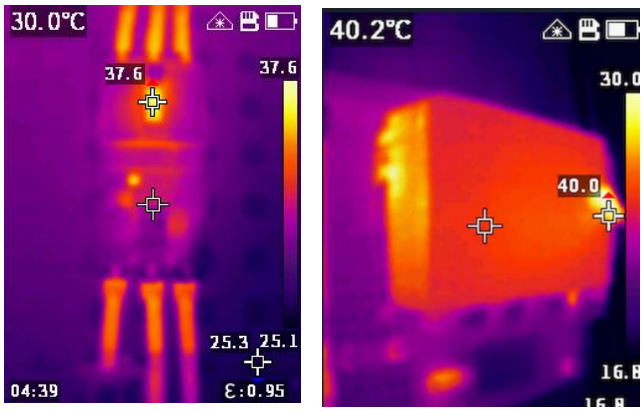
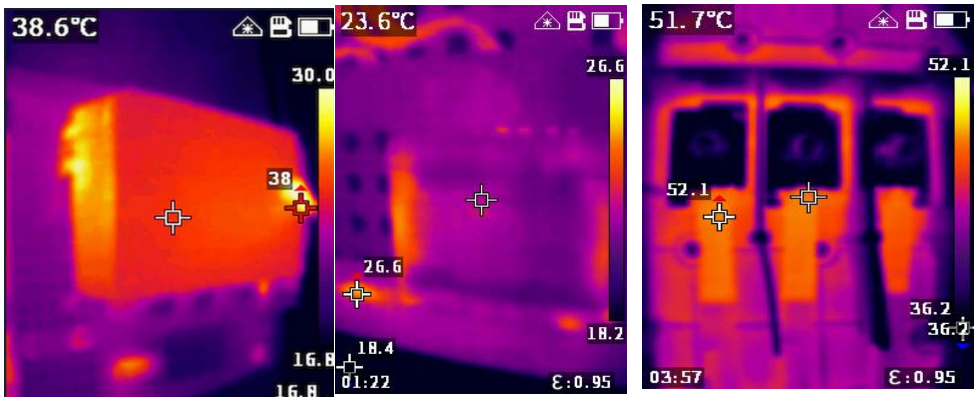


Figura 73 Mediciones termografías Biblioteca

Tabla 47 Evaluación termográfica del inversor de torre de reloj

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	38,6 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación estable
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin sobrecarga
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin pérdidas térmicas
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin anomalías
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Funcionamiento normal

Los valores registrados evidencian un comportamiento térmico estable en el sistema fotovoltaico.



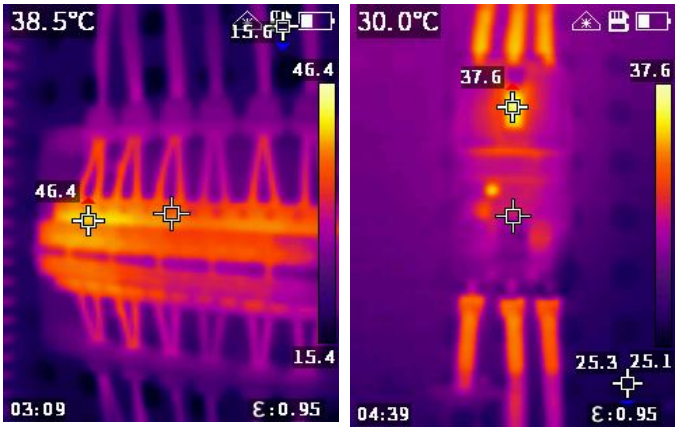
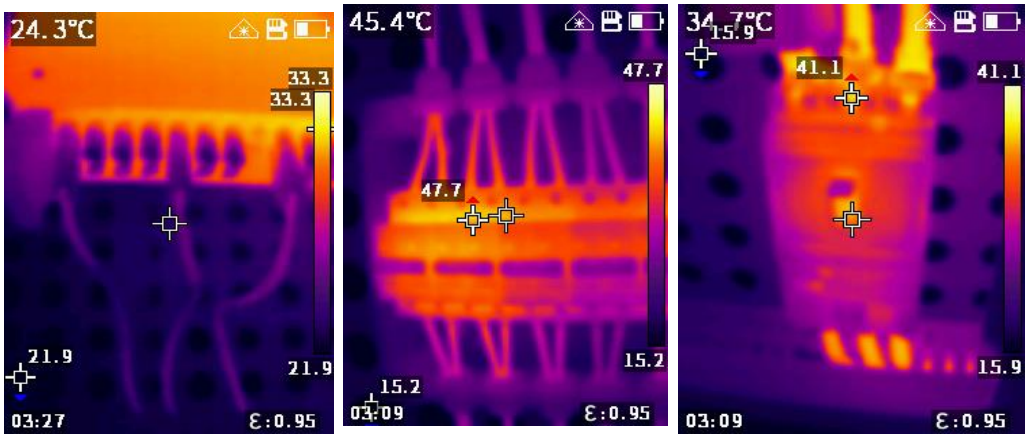


Figura 74 Mediciones termográficas Torre reloj

Tabla 48 Evaluación termográfica del inversor de Science Lab

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	24,3 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación dentro del rango térmico
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin evidencia de sobrecalentamiento
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Funcionamiento térmico adecuado
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Sin anomalías térmicas
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Operación normal

Los valores de temperatura se encuentran dentro de rangos normales, evidenciando un funcionamiento térmico adecuado del sistema.



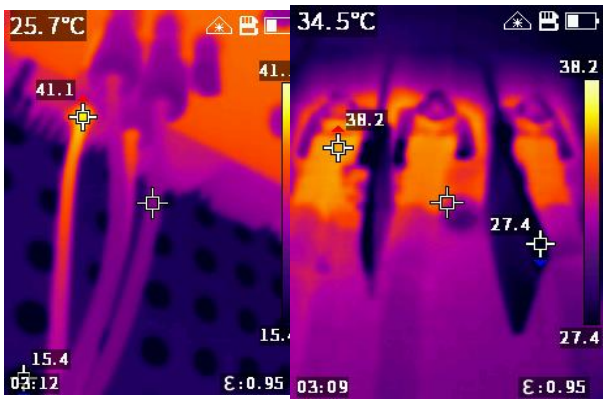
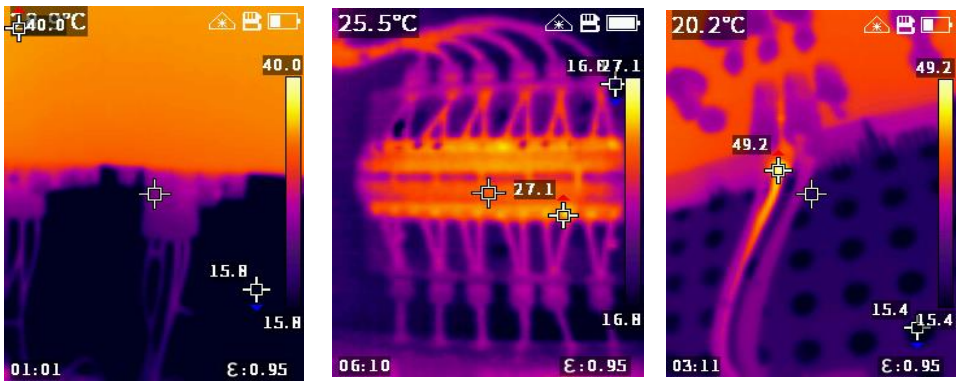


Figura 75 Mediciones termográficas Science Lab

Tabla 49 Evaluación termográfica del inversor de secretaria CCTT

Elemento evaluado	Temperatura registrada	Rango permitido	Estado	Observación
Inversor (superficie)	40 °C	-25 a 60 °C	OK	Operación dentro del rango térmico
Conductores DC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Sin sobrecarga ni incremento térmico
Conductores AC	< 90 °C	≤ 90 °C	OK	Condiciones normales de operación
Breakers DC	Dentro de rango	-30 a 70 °C	OK	Funcionamiento estable
Breaker diferencial AC	Dentro de rango	-25 a 70 °C	OK	Sin presencia de puntos calientes

Los valores registrados se mantienen dentro del rango permitido, sin presencia de anomalías térmicas en los componentes evaluados.



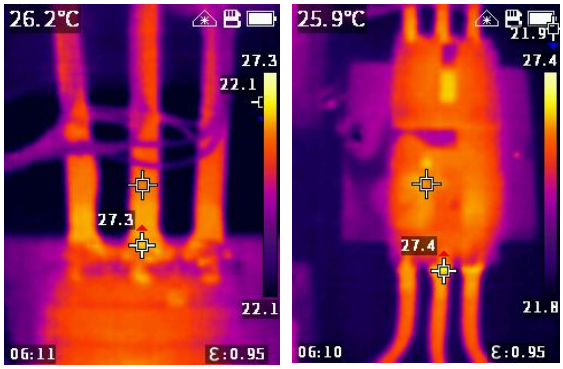


Figura 76 Mediciones termográficas secretaria CCTT

En general, la inspección termográfica permitió identificar que la mayoría de los sistemas evaluados no presentan anomalías térmicas significativas, evidenciando condiciones adecuadas de operación. Sin embargo, se detectaron incrementos de temperatura puntuales en ciertos componentes, asociados principalmente a deficiencias en conexiones eléctricas.

Estos resultados evidencian la importancia de la termografía como herramienta de diagnóstico dentro del mantenimiento preventivo, permitiendo detectar fallas incipientes antes de que generen problemas mayores en el sistema fotovoltaico.

4.5 Limpieza de módulos fotovoltaicos

Durante la ejecución del mantenimiento preventivo se realizó la limpieza de los módulos fotovoltaicos en las diferentes edificaciones del campus, con el objetivo de eliminar suciedad, polvo y residuos acumulados en la superficie de los paneles. La acumulación de material particulado sobre los módulos puede reducir la captación de radiación solar, afectando directamente la eficiencia del sistema fotovoltaico. Por esta razón, la limpieza constituye una actividad fundamental dentro del mantenimiento preventivo.

La limpieza de los módulos se realizó utilizando agua y materiales no abrasivos, con el fin de evitar daños en la superficie del vidrio. Se emplearon herramientas como paños suaves y escobillas diseñadas para la limpieza de paneles solares. El proceso inició con la verificación del estado de los módulos, seguido de la eliminación de suciedad superficial mediante agua. Posteriormente, se realizó la limpieza manual de la superficie, asegurando la remoción de residuos adheridos sin afectar la integridad del módulo. Finalmente, se verificó visualmente el estado de los paneles para confirmar la eliminación de suciedad y la correcta ejecución del procedimiento.

Durante la ejecución de estas actividades se aplicaron medidas de seguridad, incluyendo el uso de equipos de protección personal (EPP) como casco, guantes y arnés en trabajos en altura. Asimismo, se evitó la limpieza en condiciones de alta radiación solar para prevenir riesgos asociados a superficies calientes y posibles daños térmicos en los módulos.

Antes de la limpieza: Se evidenció acumulación de suciedad adherida a la superficie del vidrio y marcos de los módulos, lo cual puede afectar la captación de radiación solar.

Figura 77 Módulos antes de la limpieza vicerrectorado

Después de la limpieza: Se observa una superficie limpia y libre de residuos visibles, favoreciendo una mejor absorción de la radiación solar.

Figura 78 Módulos limpios vicerrectorado

Campus Tech

Antes de la limpieza: Se observó presencia de material particulado y suciedad superficial en los módulos fotovoltaicos, principalmente en el vidrio y los marcos.

Figura 79 Módulos sucios Campus Tech

Después de la limpieza: Los módulos presentan una superficie limpia, sin presencia de residuos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en la captación solar.

Figura 80 Módulos limpios Campus Tech

Dislab

Antes de la limpieza: Se identificó acumulación de polvo y suciedad en la superficie de los módulos, lo cual puede generar pérdidas de eficiencia.

Figura 81 Módulos sucios Dislab

Después de la limpieza: Se evidencia una superficie limpia y en condiciones adecuadas para la captación de radiación solar.

Figura 82 Módulos limpios Dislab

Aulario

Antes de la limpieza: Se evidenció presencia de suciedad adherida en el vidrio de los módulos y en sus marcos, asociada a condiciones ambientales.

Figura 83 Módulos sucios aulario

Después de la limpieza: Los módulos se encuentran libres de suciedad visible, mejorando las condiciones de operación del sistema.

Figura 84 Módulos limpios Aulario

Filosofía

Antes de la limpieza: Se observó acumulación de suciedad superficial en los módulos fotovoltaicos, lo cual puede afectar su desempeño energético.

Figura 85 Módulos sucios filosofía

Después de la limpieza: Se evidencia una superficie limpia y uniforme, permitiendo una adecuada captación de la radiación solar.

Figura 86 Módulos limpios Filosofía

Auditorio

Antes de la limpieza: Se identificó presencia de polvo y suciedad adherida en la superficie de los módulos fotovoltaicos.

Figura 87 Módulos sucios auditorio

Después de la limpieza: Se observa que los módulos se encuentran limpios y libres de residuos, mejorando las condiciones de funcionamiento.

Figura 88 Módulos limpios auditorio

Biblioteca

Antes de la limpieza: Se evidenció acumulación de material particulado en la superficie de los módulos, principalmente en el vidrio.

Figura 89 Módulos sucios biblioteca

Después de la limpieza: La superficie de los módulos se encuentra limpia, favoreciendo una mayor eficiencia en la captación de energía solar.

Figura 90 Módulos limpios biblioteca

Torre de reloj

Antes de la limpieza: Se observó presencia de suciedad adherida al vidrio de los módulos, producto de la exposición a condiciones ambientales.

Figura 91 Módulos sucios torre de reloj

Después de la limpieza: Se evidencia una superficie limpia, lo que contribuye a mejorar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Figura 92 Módulos limpios torre de reloj

Science Lab

Antes de la limpieza: Se identificó acumulación de polvo y suciedad en los módulos fotovoltaicos, lo cual puede afectar su eficiencia.

Figura 93 Módulos sucios Scienca Lab

Después de la limpieza: Los módulos presentan una superficie limpia y libre de residuos, permitiendo condiciones óptimas de operación.

Figura 94 Módulos limpios sicence lab

Secretaria CCTT

Antes de la limpieza: Se evidenció suciedad superficial adherida al vidrio y marcos de los módulos fotovoltaicos.

Figura 95 Módulos sucios secretaria

Después de la limpieza: Se observa una superficie limpia y sin presencia de residuos, mejorando la captación de radiación solar.

Figura 96 Modulo limpia secretaria

En general, la limpieza de los módulos fotovoltaicos permitió mejorar las condiciones de operación del sistema, al eliminar factores que afectan la captación de radiación solar. Esta actividad contribuye a mantener el rendimiento energético y resalta la importancia del mantenimiento preventivo periódico.

4.6 Limpieza de inversores

Durante las actividades de mantenimiento preventivo se realizó la limpieza de los inversores instalados en las diferentes edificaciones del campus, con el objetivo de eliminar polvo y suciedad acumulada en superficies externas, ventiladores y rejillas de ventilación.
La acumulación de partículas en estos componentes puede afectar la disipación térmica del equipo, incrementando la temperatura de operación y reduciendo su eficiencia, por lo que su limpieza es fundamental para garantizar un funcionamiento adecuado.

El proceso de limpieza inició con el aislamiento del equipo del equipo, asegurando condiciones seguras para la intervención. Posteriormente, se realizó una inspección visual del inversor para identificar acumulación de polvo en las rejillas de ventilación y en la superficie externa.
La limpieza se efectuó utilizando herramientas adecuadas, como brochas de cerdas suaves y aire comprimido, con el fin de remover el polvo sin afectar los componentes internos. En las superficies externas se emplearon paños secos, evitando el uso de líquidos que puedan comprometer el funcionamiento del equipo. Finalmente, se verificó el estado general del inversor, comprobando la correcta limpieza de los sistemas de ventilación y la ausencia de residuos que puedan afectar su operación.

Durante la ejecución de estas actividades se aplicaron medidas de seguridad eléctrica, incluyendo el asilamiento previo del equipo y el uso de equipos de protección personal (EPP), tales como guantes dieléctricos y herramientas aisladas. Estas medidas permitieron reducir el riesgo de contacto eléctrico y garantizar una intervención segura durante el mantenimiento del inversor.

Antes de la limpieza: De manera general, se evidenció acumulación de polvo y suciedad en la carcasa de los inversores, así como en las rejillas y sistemas de ventilación, lo que puede afectar la correcta disipación térmica de los equipos.

Figura 98 Limpieza inversores Campus Tech

Figura 97 Limpieza inversores Aulario

Figura 100 Limpieza inversor Dislab

Figura 99 Limpieza Inversor Auditorio

Después de la limpieza: Posterior a la intervención, se observan superficies limpias y sistemas de ventilación libres de obstrucciones, lo que favorece una adecuada circulación de aire y mejora las condiciones de operación de los inversores.

Figura 102 Limpieza Inversor Torre de reloj

Figura 101 Limpieza inversor Science Lab

En general, la limpieza de los inversores permitió mejorar las condiciones de disipación térmica de los equipos, reduciendo la acumulación de calor y favoreciendo su funcionamiento eficiente. Esta actividad resalta la importancia del mantenimiento preventivo periódico en sistemas fotovoltaicos.

4.7 Ajustes y verificación de conexiones

Como parte de las actividades de mantenimiento preventivo, se realizó la verificación y ajuste de las conexiones eléctricas en los inversores y tableros asociados al sistema fotovoltaico. Estas conexiones, tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), son fundamentales para garantizar una adecuada conducción de energía dentro del sistema.

Un ajuste mecánico deficiente en los terminales puede generar incrementos en la resistencia de contacto, lo que provoca pérdidas de energía por efecto Joule, elevación de temperatura y riesgo de fallas eléctricas. Por esta razón, la revisión y ajuste de conexiones constituye una actividad clave para asegurar la eficiencia, confiabilidad y seguridad del sistema fotovoltaico.

Figura 104 Ajuste mecánico terminales DC inversor vicerrectorado

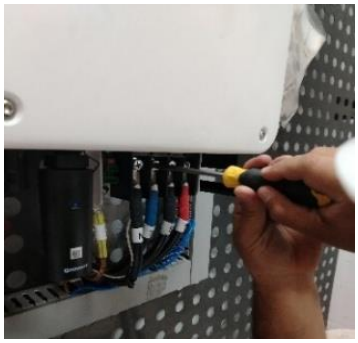


Figura 103 Ajuste mecánico terminales AC inversor vicerrectorado

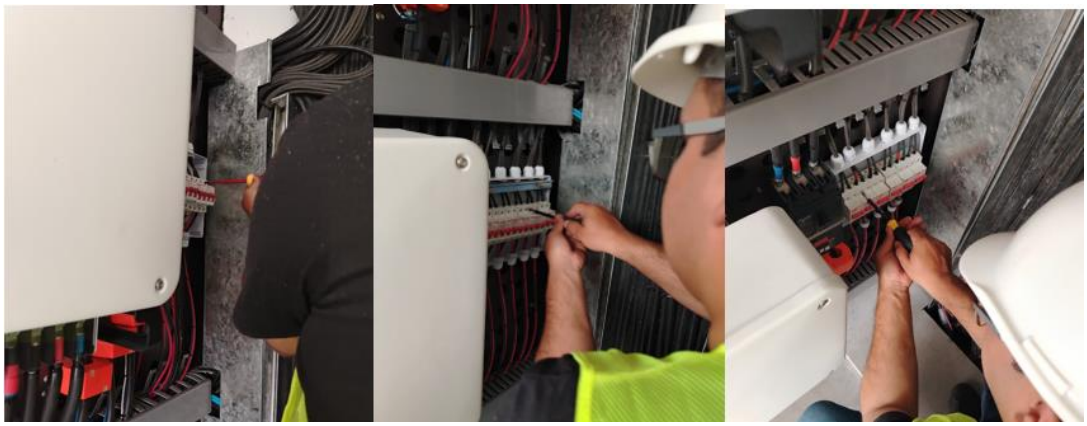


Figura 105 Ajustes mecánicos terminales DC-Campus Tech

Figura 106 Ajustes mecánicos terminales AC Inversores-Campus Tech

El procedimiento inició con la inspección de las conexiones eléctricas, identificando posibles deficiencias mediante revisión visual y análisis termográfico. Se evaluó el estado de los conductores, terminales y puntos de conexión, verificando la presencia de aflojamiento, desgaste o deterioro.

Posteriormente, se realizó el ajuste mecánico de los terminales en conexiones AC y DC, asegurando un torque de apriete adecuado que garantice un contacto firme y una correcta conductividad eléctrica. Para ello, se emplearon herramientas apropiadas que permiten evitar daños en los conductores o en los bornes de conexión. En los casos donde se identificaron condiciones anómalas, se realizó la limpieza de contactos o el reacondicionamiento de las conexiones, con el fin de mejorar la continuidad eléctrica y reducir pérdidas por resistencia.

Las intervenciones realizadas permitieron corregir condiciones asociadas a contactos deficientes, reduciendo la generación de calor en los puntos de conexión y mejorando el comportamiento eléctrico del sistema.

Figura 108 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor dislab

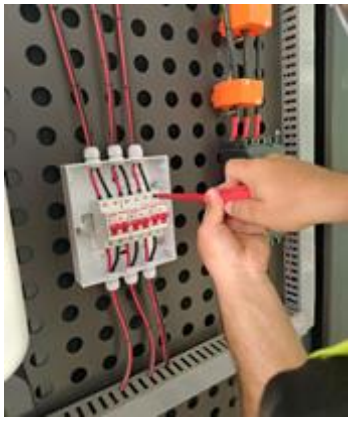


Figura 107 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor dislab

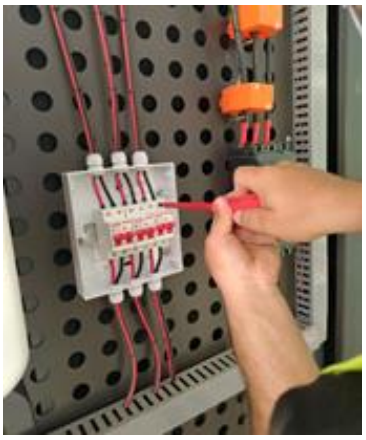


Figura 110 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Filosofía

Figura 109 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Filosofía

Figura 112 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Auditorio

Figura 111 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Auditorio

Figura 113 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Biblioteca

Figura 114 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor- Biblioteca

En algunos puntos del sistema, el ajuste de conexiones estuvo directamente relacionado con los resultados del análisis termográfico, donde se identificaron incrementos de temperatura asociados a contactos deficientes. La corrección de estas condiciones permitió reducir la temperatura en los puntos evaluados, mejorando la seguridad y el desempeño del sistema.

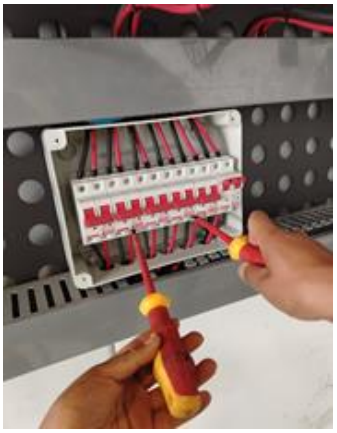


Figura 115 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Torre reloj

Figura 116 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Torre reloj

Figura 118 Ajuste mecánico de terminales DC Inversor Science Lab

Figura 117 Ajuste mecánico de terminales AC Inversor Science Lab

Figura 119 Ajustes mecánico de terminales DC inversor secretaria

Figura 120 Ajuste mecánico de terminales AC inversor secretaria

En general, el ajuste de conexiones eléctricas permitió mejorar la conductividad del sistema, reducir pérdidas energéticas y minimizar riesgos asociados a fallas eléctricas, evidenciando la importancia de realizar este tipo de intervenciones como parte del mantenimiento preventivo.

4.8 Anomalías detectadas en el sistema fotovoltaico

Durante la auditoría técnica y las actividades de mantenimiento realizadas en el sistema fotovoltaico, se identificaron diversas anomalías asociadas principalmente a deficiencias en conexiones eléctricas, errores de instalación y fallas en componentes.

Estas condiciones afectan directamente la eficiencia, seguridad y confiabilidad del sistema, ya que pueden generar pérdidas de energía, sobrecalentamientos, fallas operativas y riesgos eléctricos. Por esta razón, fue necesaria la ejecución de intervenciones correctivas orientadas a restablecer condiciones adecuadas de funcionamiento.

4.8.1Auditorio

Cambios conectores MC4

Durante la inspección del sistema fotovoltaico en el edificio Auditorio, se identificó un conector tipo MC4 en mal estado, el cual presentaba daño físico y una configuración inadecuada al tratarse de un conector doble innecesario para la instalación.

Figura 121 Conector MC4 roto

Esta condición puede generar pérdidas de contacto eléctrico, incremento de la resistencia en la conexión y riesgo de sobrecalentamiento, afectando la eficiencia y seguridad del sistema.

Figura 122 Cambio de conector doble por simple

Como medida correctiva, se realizó el reemplazo del conector por uno de tipo simple, asegurando una conexión adecuada y estable. Adicionalmente, se procedió a su correcta fijación, evitando contacto con el suelo y reduciendo riesgos mecánicos.

Figura 123 Conector simple

4.8.2 Edificio filosofía

Interruptor mal dimensionado

En el sistema fotovoltaico del edificio Filosofía se identificaron disparos recurrentes del interruptor termomagnético, asociados a un dimensionamiento inadecuado del dispositivo de protección.

Figura 124 Interruptor termográfico

El análisis de corriente evidenció que el valor máximo de operación alcanzaba los 173 A, el cual, al aplicar un factor de seguridad del 25%, requería una capacidad de aproximadamente 216A.

Figura 125 Interruptor termomagnético nuevo

Debido a esta condición, el interruptor instalado no cumplía con los criterios adecuados de operación, por lo que se procedió a su reemplazo por un interruptor de 225 A, garantizando una protección adecuada del sistema.

4.8.3 Edificio secretaria Vicerrectorado

Corrección de conexión entre arreglos fotovoltaicos

Durante la verificación de los arreglos fotovoltaicos en los edificios Secretaría y Vicerrectorado, se identificó una conexión incorrecta en los strings correspondientes a los arreglos 4 y 5, donde se encontraban invertidos los terminales positivo y negativo.

Figura 126 Medición de valor arrays 4-5

Esta condición generaba valores cercanos a cero en las mediciones, evidenciando un funcionamiento incorrecto del sistema.

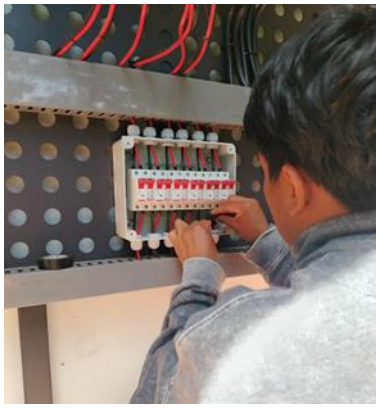


Figura 127 Cambio de polaridad

Como acción correctiva, se realizó la corrección de la polaridad, restableciendo la conexión adecuada. Adicionalmente, se efectuó un balanceo de las cadenas fotovoltaicas, agrupando aquellas con valores de voltaje similares en cada MPPT, con el fin de optimizar el rendimiento del inversor y reducir pérdidas de eficiencia.

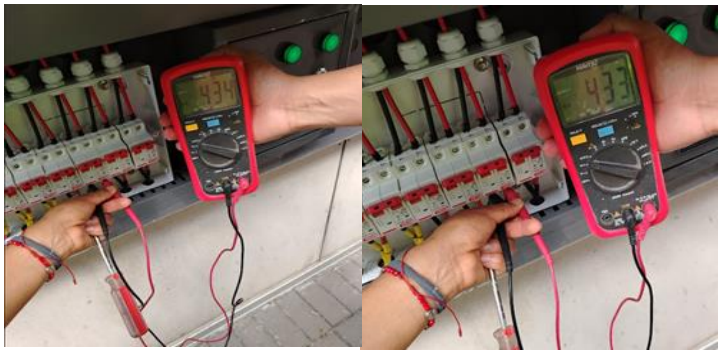


Figura 128 Corrección y balanceo de arrays 4-5

4.8.4 Edificio Filosofía

Cambio de paneles

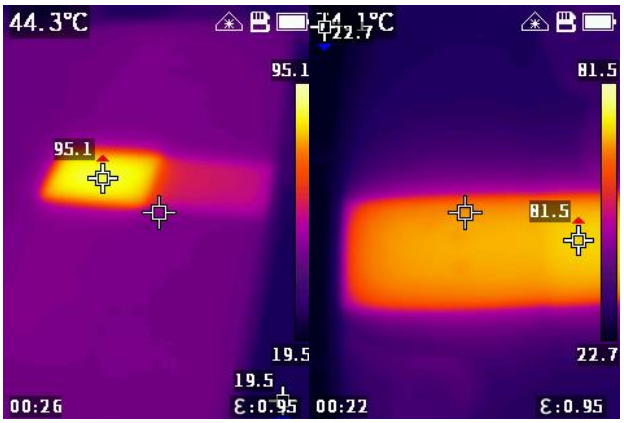


Figura 129 Aumento de temperatura en las celdas de los paneles.

Durante las actividades de mantenimiento en el edificio Filosofía, se identificó un incremento anómalo de temperatura en dos módulos fotovoltaicos, inicialmente detectado de forma manual y posteriormente confirmado mediante análisis termográfico.

Figura 130 Cambio de paneles

Esta condición indica una posible falla interna en las celdas del módulo, lo cual puede afectar el rendimiento del sistema y generar pérdidas energéticas.

Como medida correctiva, se procedió al reemplazo de los módulos afectados, restableciendo condiciones normales de operación.

En conjunto, las anomalías detectadas evidencian la importancia de realizar auditorías técnicas periódicas en sistemas fotovoltaicos, ya que permiten identificar fallas que no siempre son visibles durante la operación normal.

Las intervenciones correctivas realizadas contribuyeron a mejorar la seguridad eléctrica, optimizar el rendimiento energético y restablecer condiciones adecuadas de funcionamiento del sistema. Esto demuestra que una adecuada gestión del mantenimiento es fundamental para garantizar la continuidad operativa y prolongar la vida útil de los equipos.

5. Discusión

Los resultados obtenidos en la evaluación del sistema fotovoltaico evidencian que, en términos generales, el sistema presenta condiciones adecuadas de operación en la conversión de energía. Los valores de voltaje en corriente alterna (AC) se mantuvieron dentro del rango permitido (209–231 V) en todos los sistemas evaluados, lo que indica una correcta sincronización de los inversores con la red eléctrica y un comportamiento estable en la entrega de energía. Este resultado es consistente con lo establecido por la International Energy Agency (IEA, 2023), que señala que la estabilidad en la salida AC constituye un indicador del correcto funcionamiento del sistema de conversión en instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.

Sin embargo, el análisis de los parámetros eléctricos en corriente continua (DC) evidenció la presencia de desbalances entre las diferentes cadenas fotovoltaicas. Las variaciones observadas en los valores de Voc y Vmp reflejan un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica, lo cual puede estar asociado a factores como acumulación de suciedad en los módulos, variaciones en la irradiancia o deficiencias en las conexiones eléctricas. Estos resultados coinciden con lo reportado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL, 2019), donde se establece que los desbalances entre strings reducen la eficiencia global del sistema, ya que la producción energética se ve limitada por el módulo o cadena de menor rendimiento.

En sistemas como Science Lab y Torre del Reloj, donde se identificaron diferencias más marcadas entre cadenas, se evidencia un mayor nivel de afectación en la uniformidad del sistema, lo que puede traducirse en pérdidas energéticas acumulativas si no se corrigen oportunamente. De acuerdo con la International Renewable Energy Agency (IRENA, 2022), este tipo de desajustes constituye una de las principales fuentes de pérdida en sistemas fotovoltaicos, especialmente en instalaciones que no cuentan con un mantenimiento periódico adecuado.

Adicionalmente, se identificaron inconsistencias en las mediciones de corriente continua en ciertos sistemas, donde los valores de Vmp superaban a los de Voc, lo cual no es físicamente posible en condiciones normales de operación. Esta situación evidencia posibles errores en el procedimiento de medición o en la conexión de los instrumentos. Según la norma IEC 62446-1 (IEC, 2017), la correcta aplicación de protocolos de medición es fundamental para garantizar la confiabilidad de los datos en auditorías técnicas, lo que resalta la necesidad de fortalecer los procedimientos de verificación en campo.

En relación con las anomalías detectadas, se identificaron problemas asociados a conexiones eléctricas deficientes, inversión de polaridad, conectores en mal estado y dispositivos de protección mal dimensionados. Estas condiciones no solo afectan el rendimiento del sistema, sino que también representan riesgos para la seguridad eléctrica, debido a la posibilidad de generar sobrecalentamientos, fallas en los equipos o interrupciones en el servicio. En este contexto, la norma IEC 60364-7-712 (IEC, 2020) establece que una correcta instalación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es fundamental para garantizar condiciones seguras de operación.

El análisis termográfico permitió complementar la evaluación, evidenciando incrementos de temperatura asociados principalmente a deficiencias en las conexiones eléctricas. Estos puntos calientes son consecuencia del aumento de la resistencia de contacto, lo que genera pérdidas por efecto Joule y eleva la temperatura en los puntos críticos del sistema. Este comportamiento coincide con lo señalado por NREL (2019), donde se indica que las conexiones deficientes constituyen una de las principales causas de fallas térmicas en sistemas fotovoltaicos.

Las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo la limpieza de módulos, limpieza de inversores y ajuste de conexiones eléctricas, permitieron mejorar las condiciones de operación del sistema. La eliminación de suciedad en los módulos favorece una mayor captación de radiación solar, mientras que el ajuste de conexiones reduce la resistencia de contacto y la generación de calor en los puntos críticos. Estos resultados evidencian que el mantenimiento preventivo constituye una estrategia efectiva para optimizar el rendimiento energético y prolongar la vida útil del sistema, tal como lo indican las recomendaciones de la International Energy Agency (IEA, 2023).

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que, aunque el sistema fotovoltaico presenta un funcionamiento general adecuado, existen condiciones operativas que afectan su rendimiento y que requieren intervención técnica. La identificación de desbalances eléctricos, anomalías en conexiones y variaciones térmicas evidencia la importancia de realizar auditorías técnicas periódicas, las cuales permiten detectar fallas incipientes, mejorar la eficiencia del sistema y garantizar condiciones seguras de operación.

6. Manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico conectado a la red

6.1 Introducción

El presente Manual de Mantenimiento establece los procedimientos, frecuencias y responsabilidades para la correcta gestión del sistema fotovoltaico instalado, constituyéndose en una herramienta técnica fundamental para su operación segura y eficiente.

Este documento permite organizar de manera sistemática todas las actividades de mantenimiento, asegurando que las intervenciones se realicen de forma planificada, segura y conforme a los criterios técnicos previamente definidos por las normativas internacionales vigentes.

6.2 Objetivo del manual

El presente manual tiene como objetivo establecer los procedimientos técnicos, frecuencias de intervención, medidas de seguridad y responsabilidades necesarias para el mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento, optimizar su rendimiento energético y prolongar la vida útil de sus componentes.

6.3 Alcance

Este manual aplica a todos los componentes del sistema fotovoltaico instalados en las diferentes edificaciones del campus, incluyendo módulos fotovoltaicos, inversores, estructuras de soporte, cableado eléctrico, sistemas de protección y puesta a tierra.

6.4 Normativa Internacional Aplicable

El desarrollo, operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico se rigen por las siguientes normas técnicas internacionales:

Tabla 50 Normativas Aplicables

Norma	Organismo	Descripción
IEC 62446	IEC	Requisitos de documentación, inspección y pruebas en sistemas FV conectados a la red
IEC 61724	IEC	Monitoreo del desempeño: medición de parámetros eléctricos e indicadores de rendimiento
IEEE Std 1262	IEEE	Recomendaciones para inspección, verificación y gestión del mantenimiento en sistemas FV
Guía técnica NREL	NREL	Buenas prácticas para operación, limpieza e inspección de sistemas fotovoltaicos
Guía técnica IEA	IEA	Lineamientos para la planificación del mantenimiento preventivo y correctivo

6.5 Auditoria técnica del sistema

La auditoría técnica permite evaluar el estado general del sistema fotovoltaico mediante la inspección de sus principales componentes, con el fin de identificar posibles deficiencias, fallas incipientes o riesgos operativos que puedan afectar su funcionamiento y seguridad.

Este proceso constituye una evaluación sistemática que no se limita a la observación visual, sino que incluye la verificación del estado físico, eléctrico y operativo del sistema, así como el análisis de parámetros de funcionamiento y el cumplimiento de criterios técnicos y normativos (IEC, 2017).

6.5.1 Inspección de módulos fotovoltaicos

Durante la auditoría técnica se revisa el estado de los módulos fotovoltaicos considerando los siguientes aspectos:

Tabla 51 Inspección de módulos fotovoltaicos

Aspecto	Condición para verificar	Criterio de aceptación
Suciedad / polvo	Nivel de acumulación superficial	Sin acumulación visible que reduzca irradiancia
Daños físicos	Fisuras, roturas, deformaciones	Sin daños estructurales visibles
Sombras	Obstrucciones parciales o totales	Sin sombreado en horas de mayor producción
Fijación	Tornillería y anclajes	Correctamente apretados, sin holguras
Degradación	Decoloración, puntos calientes	Sin signos visibles de degradación acelerada

6.5.2 Inspección de estructuras de soporte

Las estructuras de soporte deben ser evaluadas para verificar su estabilidad mecánica, alineación y condiciones de corrosión, ya que deficiencias estructurales pueden comprometer tanto el rendimiento energético como la seguridad del sistema (NREL, 2019).

- Verificación de alineación y orientación de los módulos
- Inspección de soldaduras, tornillería y anclajes al soporte
- Revisión de condiciones de corrosión u oxidación
- Evaluación de la integridad estructural frente a cargas de viento

6.5.3 Inspección del sistema eléctrico

La auditoría eléctrica incluye la inspección del cableado, conexiones, protecciones contra sobre corriente y sistemas de puesta a tierra, asegurando que estos elementos cumplan con los requisitos de seguridad eléctrica aplicables (IEC, 2020; IEEE, 2001).

- Revisión visual de cableado CC y CA: estado del aislamiento, amarres y canaletas
- Verificación de conectores y terminales: apriete correcto y ausencia de corrosión
- Comprobación de fusibles, interruptores y protecciones diferenciales
- Verificación del sistema de puesta a tierra: resistencia y continuidad

6.5.4 Inspección de inversores

El análisis del funcionamiento de los inversores se realiza mediante la revisión de parámetros operativos, registros de fallas y alarmas, dado su papel clave en la conversión y calidad de la energía generada (IEC, 2020; IEEE, 2001).

Tabla 52 Inspección de inversores

Parámetro	**Valor esperado**	**Acción si hay desviación**
Tensión de entrada CC	Dentro del rango del fabricante	Revisar cadenas de módulos
Potencia de salida CA	Acorde a irradiancia disponible	Verificar alarmas activas
Temperatura de operación	< límite del fabricante	Revisar ventilación
Registro de alarmas	Sin alarmas activas	Documentar y escalar
Factor de potencia	Según configuración de red	Ajustar configuración

6.6 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo comprende un conjunto de actividades periódicas cuyo objetivo es prevenir fallas, mantener el rendimiento energético y garantizar condiciones de operación seguras. Es esencial para reducir la probabilidad de fallos inesperados y prolongar la vida útil de los componentes (NREL, 2019).

6.6.1 Actividades preventivas

Tabla 53 Programa de actividades preventivas

Actividad	Frecuencia	Responsable	Norma de referencia
Limpieza de módulos fotovoltaicos	Mensual / según lluvia	Técnico	IEA, 2023
Inspección visual módulos y estructuras	Trimestral	Técnico	NREL, 2019
Revisión de conexiones y cableado	Semestral	Electricista	IEC 62446
Verificación de protecciones eléctricas	Semestral	Electricista	IEC 61724
Revisión de inversores (parámetros)	Mensual	Técnico	IEEE, 2001
Verificación sistema de monitoreo	Mensual	Técnico	IEC 61724
Inspección de puesta a tierra	Anual	Electricista	IEC 62446
Auditoría técnica completa	Anual	Ing. especialista	IEC 62446

6.6.2 Limpieza de módulos

La limpieza de los módulos fotovoltaicos es una de las tareas más relevantes del mantenimiento preventivo, ya que la acumulación de polvo y suciedad puede reducir la eficiencia del sistema, especialmente en zonas con baja frecuencia de precipitaciones (IEA, 2023).

Procedimiento de limpieza:

- Realizar la limpieza en horas de baja irradiancia solar (mañana temprano o tarde)
- Desconectar el sistema si el procedimiento requiere contacto con terminales
- Utilizar agua limpia y paño suave o herramienta de limpieza aprobada
- Evitar el uso de detergentes abrasivos o herramientas que rayen la superficie
- Verificar visualmente la ausencia de daños luego de la limpieza
- Registrar la actividad en el formulario F-01

6.6.3 Inspección visual

La inspección visual de los módulos y estructuras permite identificar daños físicos, fisuras o corrosión, lo que contribuye a mantener la estabilidad estructural del sistema y prevenir fallas mayores (NREL, 2019).

6.6.4 Revisión Eléctrica

El mantenimiento preventivo eléctrico abarca la revisión de conexiones, cableado y protecciones eléctricas, asegurando que no existan conexiones flojas o sobrecalentamiento. Las normas internacionales recomiendan la verificación periódica de estos componentes para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema (IEC, 2020).

6.7 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo cuando se identifica una falla o anomalía que afecta el funcionamiento del sistema. Su objetivo principal es restablecer las condiciones de operación, garantizando la continuidad del servicio, la seguridad eléctrica y la integridad de los componentes (NREL, 2019).

6.7.1 Identificación de fallas

La identificación de fallas puede realizarse a través de auditorías técnicas, inspecciones periódicas o alertas del sistema de monitoreo (IEA, 2023). Las fallas más comunes incluyen:

Tabla 54 identificación de fallas

Tipo de falla	**Síntoma observable**	**Acción correctiva**
Módulo dañado	Caída de producción, fisura visible	Sustitución del módulo afectado
Conexión defectuosa	Sobrecalentamiento, alarma CC	Revisión y reapriete o sustitución
Fallo en inversor	Alarma activa, sin generación	Revisión de configuración o reemplazo
Protección disparada	Pérdida de generación parcial	Identificar causa y reponer
Falla en monitoreo	Sin datos en plataforma	Verificar comunicación y sensores

6.7.2 Procedimiento General de Intervención Correctiva

Las intervenciones de mantenimiento correctivo deben seguir procedimientos establecidos y respetar estrictamente las normas de seguridad eléctrica (IEC, 2020).

Tabla 55 Intervención correctiva

Paso	Acción	Responsable
1	Identificar y documentar la falla detectada	Técnico / Monitoreo
2	Evaluar el riesgo y planificar la intervención	Jefe técnico
3	Desconectar el sistema de forma segura (CC y CA)	Electricista
4	Verificar ausencia de tensión con equipos homologados	Electricista
5	Ejecutar la reparación o sustitución del componente	Técnico especialista
6	Verificar el correcto funcionamiento tras la intervención	Técnico / jefe técnico
7	Registrar la intervención en formulario F-02	Técnico
8	Actualizar historial de mantenimiento del sistema	Jefe técnico

6.8 Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo se basa en la monitorización continua y el análisis de datos operativos para anticipar fallas antes de que ocurran. Su principal objetivo es predecir problemas potenciales mediante el análisis de variables clave, minimizando los tiempos de inactividad y las intervenciones correctivas (NREL, 2019).

6.8.1 Análisis Termográfico

Una de las herramientas más comunes en el mantenimiento predictivo es el análisis termográfico, que permite detectar puntos calientes en los módulos fotovoltaicos y las

conexiones, lo que podría indicar un deterioro en los componentes o un riesgo de falla inminente. Este enfoque mejora la confiabilidad del sistema y permite una gestión más eficiente del mantenimiento (IEC, 2020).

6.9 Formularios de registro

Tabla 56 Registro de mantenimiento preventivo

Fecha	Actividad realizada	Componente	Responsable	Firma

Tabla 57 Registro de Mantenimiento Correctivo

Fecha	Falla detectada	Acción correctiva	Componente sustituido	Técnico

Tabla 58 Lista de Verificación General de Auditoría Técnica

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A
Módulos sin daños físicos visibles	☐	☐	☐
Módulos limpios y sin sombras	☐	☐	☐
Estructuras sin corrosión ni holguras	☐	☐	☐
Cableado en buen estado (aislamiento, amarres)	☐	☐	☐
Conexiones y terminales apretados	☐	☐	☐
Protecciones eléctricas operativas	☐	☐	☐
Puesta a tierra en condiciones correctas	☐	☐	☐
Inversor sin alarmas activas	☐	☐	☐
Sistema de monitoreo operativo	☐	☐	☐
Registros de mantenimiento actualizados	☐	☐	☐

Tabla 59 Lista de Verificación Detallada: Módulos Fotovoltaicos

Inspección visual y técnica de los módulos fotovoltaicos. Completar para cada string o fila de módulos según corresponda. Frecuencia: trimestral.

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
INSPECCIÓN VISUAL				
Superficie limpia, sin polvo ni suciedad acumulada	☐	☐	☐	
Sin fisuras, microgrietas o roturas en el vidrio	☐	☐	☐	
Sin decoloración, manchas o zonas quemadas	☐	☐	☐	
Sin delaminación o burbujas en el encapsulante	☐	☐	☐	
Marco sin deformaciones, golpes ni corrosión	☐	☐	☐	
Caja de conexiones del módulo sin daños ni humedad	☐	☐	☐	
Etiquetas de identificación legibles	☐	☐	☐	
SOMBRAS Y ORIENTACIÓN				
Sin sombreado por vegetación u objetos aledaños	☐	☐	☐	
Sin suciedad localizada que genere sombra parcial	☐	☐	☐	
Inclinación y orientación conforme al diseño	☐	☐	☐	
CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL MÓDULO				
Conectores MC4 correctamente enclavados, sin holgura	☐	☐	☐	

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
Cables de módulo sin daños en el aislamiento	☐	☐	☐	
Cables amarrados correctamente y sin tensión excesiva	☐	☐	☐	
Diodos de bypass accesibles y sin señales de calentamiento	☐	☐	☐	
ANÁLISIS TERMOGRÁFICO (anual)				
Sin puntos calientes (hot spots) detectados por termografía	☐	☐	☐	
Temperatura de celda dentro del rango normal (<85 °C)	☐	☐	☐	
Diferencia de temperatura entre módulos < 5 °C	☐	☐	☐	

Tabla 60 Lista de Verificación Detallada: Inversores

Inspección visual, operativa y de parámetros eléctricos de los inversores. Frecuencia: mensual (operativa) y semestral (completa).

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
INSPECCIÓN VISUAL Y FÍSICA				
Carcasa sin daños físicos, golpes ni corrosión	☐	☐	☐	
Ventilación sin obstrucciones (rejillas limpias)	☐	☐	☐	

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
Etiquetas de seguridad visibles y legibles	☐	☐	☐	
Display / pantalla operativa y sin errores visibles	☐	☐	☐	
Sin presencia de humedad, condensación o polvo interno	☐	☐	☐	
Temperatura ambiente del entorno dentro del rango admisible	☐	☐	☐	
ESTADO OPERATIVO Y ALARMAS				
Sin alarmas activas en el display o plataforma de monitoreo	☐	☐	☐	
Registro de errores históricos revisado y documentado	☐	☐	☐	
Modo de operación correcto (conectado a red / autónomo)	☐	☐	☐	
Función anti-islamiento verificada y operativa	☐	☐	☐	
Reloj interno con fecha y hora correctas	☐	☐	☐	
PARÁMETROS ELÉCTRICOS				
Tensión CC de entrada dentro del rango del fabricante	☐	☐	☐	
Corriente CC de entrada acorde a la irradiancia disponible	☐	☐	☐	
Tensión CA de salida dentro del rango de la red (230 V ±10%)	☐	☐	☐	

Ítem de verificación	Conforme	No conforme	N/A	Observaciones
Frecuencia de salida dentro del rango (50/60 Hz ±0.5 Hz)	☐	☐	☐	
Factor de potencia según configuración de red (≥ 0.95)	☐	☐	☐	
Potencia de salida acorde a la irradiancia disponible	☐	☐	☐	
Rendimiento del inversor dentro del valor nominal	☐	☐	☐	
CONEXIONES Y PROTECCIONES				
Borneras CC apretadas, sin holgura ni oxidación	☐	☐	☐	
Borneras CA apretadas, sin holgura ni oxidación	☐	☐	☐	
Seccionador CC accesible y operativo	☐	☐	☐	
Interruptor CA (AC breaker) operativo	☐	☐	☐	
Fusibles CC en buen estado (si aplica)	☐	☐	☐	
Puesta a tierra del inversor verificada	☐	☐	☐	

7. Conclusiones

7.1 Estado general del sistema

El sistema fotovoltaico instalado en la Universidad del Azuay presenta un funcionamiento adecuado en términos de conversión de energía, evidenciado por valores de voltaje en corriente alterna que se mantienen dentro del rango de operación permitido. Esto indica una correcta sincronización de los inversores con la red eléctrica y un desempeño estable en la entrega de energía.

7.2 Comportamiento en corriente continua (DC)

En el análisis de los parámetros eléctricos en corriente continua se identificaron desbalances entre las diferentes cadenas fotovoltaicas, reflejados en variaciones de los valores de Voc y Vmp. Estas condiciones evidencian un comportamiento no uniforme en la generación eléctrica, el cual se asocia principalmente a factores como acumulación de suciedad, variaciones en la irradiancia y deficiencias en las conexiones eléctricas, afectando el rendimiento global del sistema.

7.3 Identificación de anomalías

Durante la auditoría técnica se identificaron diversas anomalías en el sistema, incluyendo inversión de polaridad, conectores en mal estado, dispositivos de protección mal dimensionados y conexiones eléctricas deficientes. Estas condiciones representan riesgos para la seguridad eléctrica y la operación del sistema, además de generar pérdidas de eficiencia y posibles fallas en los equipos.

7.4 Importancia del análisis termográfico

La inspección termográfica permitió identificar incrementos de temperatura asociados principalmente a conexiones deficientes, evidenciando la presencia de puntos calientes en ciertos componentes. Esta técnica resultó fundamental para la detección de fallas incipientes que no son visibles mediante inspección convencional, permitiendo una intervención oportuna.

7.5 Sistemas puesta a tierra

La evaluación del sistema de puesta a tierra evidencio que la mayoría de los puntos cumplen con los valores establecidos por la normativa, sin embargo, se identificó un caso específico con valores superiores al límite permitido, lo que indica la necesidad de intervención para garantizar condiciones adecuadas de seguridad eléctrica.

7.6 Impacto de mantenimiento preventivo

Las actividades de mantenimiento preventivo, como la limpieza de módulos e inversores y el ajuste de conexiones eléctricas, permitieron mejorar las condiciones de operación del sistema fotovoltaico, reduciendo perdidas de eficiencia y optimizando la disipación térmica de los equipos.

7.7 Corrección de anomalías

Las intervenciones técnicas realizadas permitieron corregir las anomalías detectadas, restableciendo condiciones adecuadas de operación, mejorando la seguridad del sistema y contribuyendo a la continuidad operativa del sistema fotovoltaico.

7.8 Importancia del manual de mantenimiento

La elaboración del manual de mantenimiento constituye una herramienta técnica que permite estandarizar las actividades de inspección, mantenimiento y control del sistema fotovoltaico, facilitando su gestión, reduciendo la dependencia del conocimiento individual del personal y asegurando la ejecución adecuada de las intervenciones.

7.9 Aporte de la investigación

Este trabajo aporta con un diagnóstico técnico real del estado del sistema fotovoltaico de la Universidad del Azuay, así como un conjunto de lineamientos aplicables para su mantenimiento, los cuales puedes ser utilizadas como referencia para futuras intervenciones y para la gestión técnica de sistemas similares en entornos institucionales.

8. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en la auditoría técnica y las actividades de mantenimiento realizadas en el sistema fotovoltaico de la Universidad del Azuay, se presentan las siguientes recomendaciones:

8.1 Implementar un programa de mantenimiento periódico

Se recomienda la implementación de un programa de mantenimiento preventivo periódico para asegurar el funcionamiento eficiente del sistema fotovoltaico. Este programa debe incluir la limpieza regular de los módulos fotovoltaicos, la verificación de conexiones eléctricas y la inspección de componentes críticos, como los inversores, para garantizar su rendimiento y prolongar la vida útil del sistema.

8.2 Realizar inspecciones termográficas anuales

El análisis termográfico debe realizarse anualmente o en intervalos más cortos si se detectan anomalías. Este procedimiento permite identificar puntos calientes asociados a conexiones deficientes, pérdidas de eficiencia y riesgos de sobrecalentamiento, lo que facilita la detección temprana de fallas que pueden comprometer la operación del sistema.

8.3 Reforzar el sistema de puesta a tierra

Se recomienda realizar una revisión exhaustiva del sistema de puesta a tierra, especialmente en los puntos donde se detectaron valores fuera del rango permitido (104 Ω en el Vicerrectorado). La corrección de esta anomalía garantizará la seguridad eléctrica del sistema y la correcta disipación de corrientes de falla

8.4 Ajustar y revisar las conexiones eléctricas periódicamente

Se debe implementar un programa para verificar y ajustar las conexiones eléctricas del sistema, con el fin de evitar la acumulación de resistencia de contacto, que puede provocar sobrecalentamiento y fallas en el sistema. Este mantenimiento preventivo debe incluir tanto las conexiones de corriente continua como alterna.

8.5 Optimizar la configuración de los strings fotovoltaicos

Es importante revisar y corregir la configuración de los strings fotovoltaicos para evitar desbalances en la generación de energía. Las cadenas fotovoltaicas deben estar configuradas de manera uniforme para maximizar el rendimiento y evitar pérdidas de eficiencia debido a diferencias en la irradiancia o variaciones en las condiciones de los módulos.

8.6 Capacitación continua del personal encargado del mantenimiento

Se recomienda proporcionar capacitación continua a los técnicos encargados del mantenimiento del sistema fotovoltaico, con el fin de garantizar que estén actualizados con las mejores prácticas de mantenimiento y normativas internacionales. Esto garantizará que las intervenciones sean ejecutadas con un alto nivel técnico y de seguridad.

8.7 Actualización del manual de mantenimiento

El manual de mantenimiento debe actualizarse anualmente o cada vez que se realicen modificaciones importantes en el sistema fotovoltaico. Esto permitirá contar con una herramienta siempre vigente, que facilite la gestión y operación del sistema, garantizando la eficiencia y seguridad a largo plazo.

8.8 Monitoreo continuo del desempeño del sistema

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo del desempeño eléctrico del sistema fotovoltaico, que permita detectar desviaciones y realizar ajustes de manera proactiva. Este monitoreo permitirá optimizar el funcionamiento del sistema, reducir el tiempo de inactividad y maximizar la producción de energía.

9. Referencias

International Energy Agency (IEA). (2023). Solar PV global report. https://www.iea.org

International Energy Agency (IEA). (2023). Solar PV operation and maintenance: best practices. https://www.iea.org/reports/solar-pv-operation-and-maintenance

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Renewable power generation costs in 2022. https://www.irena.org/publications

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2019). Best practices for operation and maintenance of photovoltaic and energy storage systems. https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73822.pdf

International Electrotechnical Commission (IEC). (2017). IEC 62446-1: Grid connected photovoltaic systems – Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). IEC 60364-7-712: Low-voltage electrical installations – Solar photovoltaic power supply systems. IEC.

International Electrotechnical Commission (IEC). (2020). IEC 61724-1: Photovoltaic system performance – Monitoring. IEC.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2001). IEEE recommended practice for maintenance of photovoltaic power systems (IEEE Std 1526-2001). IEEE Standards Association.

Universidad del Azuay. (2025). Universidad del Azuay logra autonomía energética con sistema fotovoltaico. https://www.uazuay.edu.ec/prensa/universidad-del-azuay-logra-autonomia-energetica-con-sistema-fotovoltai

Universidad Internacional SEK. (s. f.). Diseño de un sistema de energía fotovoltaica para la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK [Tesis de grado].

Universidad Politécnica Salesiana. (s. f.). Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico [Tesis de grado].