



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Tecnología Superior en Electricidad

**Repotenciación, mantenimiento y puesta en marcha de un sistema  
fotovoltaico aplicado a luminarias, Caso de estudio Unidad Educativa  
Nacional Galápagos**

Trabajo previo a la obtención del título de Tecnólogo/a Superior en Electricidad

**José Danilo Zurita López**

**Jhon Emanuel Carrilo Pingos**

Director: Ing. David Leonardo Galindo Toapanta

Cuenca-Ecuador

2026

## **Dedicatoria**

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesaria para alcanzar cada meta, ya que sin el nada sería posible.

Dedico este trabajo a mis hermanos, por su apoyo y amor incondicional en cada paso que doy. A mi madre, que, aunque ya no está conmigo, su amor y recuerdo siguen siendo mi mayor inspiración. este logro es también tuyo, mama Te extrañare siempre.

José Danilo Zurita López

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida

Jhon Emanuel Carrilo Pingos

## Agradecimientos

Agradezco a mis hermanos por su apoyo constante y amor incondicional. A mi madre, que, aunque ya no está presente, su legado y amor siguen guiándome. A Fundación un cambio por la vida, agradezco al vicerrector del colegio Galápagos por abrirnos las puertas para dar los mantenimientos correctivos.

A mis profesores y mentores, por su sabiduría y orientación. A todos los que de alguna manera contribuyeron a este logro, mi más sincero agradecimiento.

De manera especial, expreso mi agradecimiento al Ingeniero David Leonardo Galindo Toapanta Mgtr, director de la carrera, y al Ingeniero Diego Leonardo Mogrovejo Narvaez Mgtr Tutor de la carrera por su confianza, guía y respaldo en mi formación académica. Así mismo a todos los docentes ingenieros que a lo largo de mi trayectoria universitaria compartieron sus conocimientos y me impulsaron a crecer como profesional y como persona

José Danilo Zurita López

Este proyecto es el resultado de nuestro esfuerzo, Por esto agradezco a nuestro Tutor Diego Leonardo Mogrovejo Narvaez Mgtr y nuestro director Ingeniero David Leonardo Galindo Toapanta Mgtr, a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos en el desarrollo de este nuevo plan estratégico de energía renovable el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mi en todo momento y no dudaron de mis habilidades. A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Jhon Carrillo

## Resumen

El presente trabajo de titulación analiza el estado técnico y el proceso de repotenciación del sistema fotovoltaico instalado en el Colegio Nacional Galápagos, a partir de la inspección realizada el 23 de febrero de 2026. Durante dicha inspección se identificaron condiciones adversas que comprometían el rendimiento y la estabilidad de la instalación: acumulación de polvo y telarañas en los componentes, cables sueltos y deteriorados, depósitos de salobridad sobre los módulos solares, y obstrucción del tendido de cables por vegetación en el área de postes de iluminación de la cancha deportiva. Mediante inspecciones técnicas y pruebas de funcionamiento, se cuantificó el impacto de estos factores en la generación y estabilidad del sistema. Como parte de la solución, se ejecutaron acciones correctivas que comprendieron la limpieza integral de la instalación incluyendo paneles solares, baterías, inversores y controlador de carga MPPT, la reorganización del cableado y la reconexión de conductores sueltos y deteriorados, así como la reestructuración del tablero eléctrico y la caja de distribución correspondiente al salón de informática del segundo piso. Complementariamente, se estableció un plan de mantenimiento preventivo. La evaluación posterior al proceso evidenció una mejora significativa en la eficiencia y confiabilidad operativa del sistema. Los resultados obtenidos demuestran que la repotenciación del sistema reduce costos operativos, garantiza mayor estabilidad energética y contribuye a disminuir el impacto ambiental en un ecosistema frágil, declarado Patrimonio Natural de la Humanidad. Del mismo modo, este trabajo refuerza la transición hacia un modelo energético sostenible y demuestra que la repotenciación de sistemas fotovoltaicos es técnica y económicamente factible, constituyéndose como una alternativa replicable en otras instituciones educativas. Finalmente, este documento resalta la importancia del mantenimiento adecuado en sistemas fotovoltaicos híbridos, considerando los riesgos inherentes a este tipo de instalaciones, y propone lineamientos técnicos orientados a garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

**Palabras clave:** Sistema de iluminación, Energía solar fotovoltaica, Repotenciación, puesta en marcha, Unidad Educativa Nacional Galápagos.

## Abstract

This thesis analyzes the technical condition and repowering process of the photovoltaic system installed at the Galápagos National School, based on an inspection carried out on February 23, 2026. During this inspection, adverse conditions were identified that compromised the performance and stability of the installation: accumulation of dust and cobwebs on the components, loose and deteriorated cables, salt deposits on the solar modules, and obstruction of the cable runs by vegetation in the area of the sports field's lighting poles. Through technical inspections and functional tests, the impact of these factors on the system's generation and stability was quantified. As part of the solution, corrective actions were implemented, including a comprehensive cleaning of the installation, encompassing solar panels, batteries, inverters, and the MPPT charge controller; reorganization of the wiring and reconnection of loose and deteriorated conductors; and restructuring of the electrical panel and distribution box corresponding to the second-floor computer lab. Additionally, a preventive maintenance plan was initiated. The post-process evaluation reveals a significant improvement in the system's operational efficiency and reliability. The results demonstrate that the system upgrade reduces operating costs, ensures greater energy stability, and contributes to lessening the environmental impact on a fragile ecosystem, declared a World Heritage Site. Likewise, this energy project reinforces the transition to a sustainable model and demonstrates that upgrading photovoltaic systems is technically and economically feasible, making it a replicable alternative for other educational institutions.

Finally, this document highlights the importance of proper maintenance in hybrid photovoltaic systems, considering the inherent risks of these types of installations, and proposes technical guidelines aimed at ensuring their correct operation and extending their lifespan.

**Keywords:** Lighting system, Photovoltaic solar energy, Repowering, commissioning, Galapagos National Educational Unit.

## Índice de contenido

|   |            |
|---|------------|
| <b>Dedicatoria</b> .....  | <b>ii</b>  |
| <b>Agradecimientos</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>Resumen</b> .....  | <b>iv</b>  |
| <b>Abstract</b> .....   | <b>v</b>   |
| <b>Introducción</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>Contexto</b> .....   | <b>1</b>   |
| <b>Problemática</b> .....   | <b>2</b>   |
| <b>Justificación</b> .....  | <b>2</b>   |
| <b>Marco teórico</b> .....  | <b>3</b>   |
| <b>Objetivos</b> .....  | <b>5</b>   |
| General.....  | 5          |
| Específicos.....  | 6          |
| Alcance.....  | 6          |
| <b>Materiales y métodos</b> .....   | <b>6</b>   |
| <b>Materiales</b> .....   | <b>6</b>   |
| <b>Procedimiento</b> .....  | <b>7</b>   |
| <b>Etapa 1: Diagnóstico y evaluación del sistema existente</b> .....  | <b>8</b>   |
| <b>Etapa 3: Repotenciación del sistema</b> .....  | <b>8</b>   |
| <b>Etapa 4: Implementación y mantenimiento</b> .....  | <b>9</b>   |
| <b>Etapa 5: Pruebas y validación del desempeño</b> .....  | <b>10</b>  |
| <b>Etapa 6: Análisis de resultados</b> .....  | <b>11</b>  |
| <b>Resultados</b> .....   | <b>16</b>  |
| <b>Un después de los mantenimientos fotovoltaicos</b> .....   | <b>16</b>  |
| <b>Comparación de niveles de iluminancia antes y después de la intervención en luminarias mediante medición con luxómetro</b> ..... | <b>17</b>  |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>Conclusiones.....</b>     | <b>19</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b> | <b>19</b> |
| <b>Referencias.....</b>      | <b>20</b> |
| <b>Anexos.....</b>           | <b>20</b> |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Clasificación de paneles solares .....  | 3  |
| Tabla 2. Componentes y características técnicas del sistema híbrido fotovoltaico. ....                                    | 3  |
| Tabla 3. Parámetros eléctricos y características técnicas de los paneles fotovoltaicos .....                              | 4  |
| Tabla 4 Parámetros eléctricos y características técnicas del módulo fotovoltaico .....                                    | 4  |
| Tabla 5 Característica técnicas del controlador de carga MPPT .....   | 4  |
| Tabla 6 Especificaciones técnicas del conductor eléctrico del sistema fotovoltaico .....                                  | 5  |
| Tabla 7 Especificaciones técnicas de las luminarias LED utilizadas en el sistema híbrido ...                              | 5  |
| Tabla 8 Descripción de métodos.....   | 7  |
| Tabla 9. Comparación de voltajes y corrientes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo ..... | 11 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Paneles solares ubicados en la losa del baño de mujeres. ....   | 2  |
| Figura 2. Inspección de los inversores.....   | 7  |
| Figura 3. Sistema Fotovoltaico en deterioro por falta de mantenimiento. ....  | 8  |
| Figura 4. Aislamiento de conductores con pérdida de recubrimiento en mal estado .....   | 9  |
| Figura 5. Detalles técnicos y estado físico del banco baterías.....   | 9  |
| Figura 6. Mantenimiento correctivo y limpieza de luminaria LED. ....  | 10 |
| Figura 7. Instalación de la fotocélula y ajuste de la orientación de la luminaria.....  | 11 |
| Figura 8. Comparación de voltajes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo .....   | 12 |
| Figura 9. Comparación de corrientes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo .....   | 13 |
| Figura 10. Curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo .....  | 14 |
| Figura 11. Comparación de la eficiencia de los paneles solares antes y después del mantenimiento .....  | 15 |
| Figura 12. Impacto del mantenimiento correctivo en la reducción de costos operativo mensual del sistema fotovoltaico.....   | 15 |
| Figura 13. Etapas del proceso de limpieza de paneles fotovoltaicos: sopleteado, lavado y secado .....   | 16 |
| Figura 14. Componentes del sistema fotovoltaico instalado en el Colegio Nacional Galápagos, con un inversor de 120V, controlador de carga MPPT, tablero eléctrico y banco de baterías de 12 V ..... | 17 |
| Figura 15. Comparación de niveles de iluminancia en luminarias LED antes y después del mantenimiento correctivo .....   | 18 |

## Índice de anexos

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| Anexo 2 Circuito de conexión ..... | 20 |
|------------------------------------|----|

## Introducción

### Contexto

En la actualidad, el uso de fuentes de energía renovable se ha convertido en una necesidad estratégica debido al incremento de la demanda energética, al aumento de los costos de la electricidad y a la urgencia de reducir el impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se posiciona como una de las alternativas más viables y sostenibles, gracias a su disponibilidad, bajo impacto ambiental y facilidad de implementación.

Los sistemas fotovoltaicos aplicados a la iluminación permiten transformar la radiación solar en energía eléctrica para abastecer luminarias de manera autónoma o híbrida. No obstante, su rendimiento depende en gran medida del mantenimiento adecuado de sus componentes, así como de las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos. Factores como la acumulación de polvo, la salinidad, la humedad, el deterioro de las conexiones eléctricas y la falta de mantenimiento periódico pueden provocar pérdidas significativas en la eficiencia del sistema.

En el ámbito educativo, la implementación de sistemas de iluminación fotovoltaica no solo contribuye a mejorar la seguridad y funcionalidad de los espacios, sino que también fomenta el uso de energías limpias y la conciencia ambiental en la comunidad estudiantil. Sin embargo, cuando estos sistemas no reciben el mantenimiento adecuado, su desempeño se ve comprometido, afectando directamente la calidad del servicio de iluminación.

El presente trabajo se enfoca en el diagnóstico, mantenimiento correctivo y repotenciación del sistema fotovoltaico instalado en la Unidad Educativa Nacional Galápagos. El objetivo principal es recuperar su eficiencia operativa mediante la identificación de fallas, la intervención técnica de sus componentes y la validación de su desempeño a través de mediciones eléctricas. De esta manera, se busca garantizar un sistema de iluminación confiable, eficiente y sostenible, así como generar una metodología replicable en otras instalaciones similares. (ver Figura 1).



*Figura 1. Paneles solares ubicados en la losa del baño de mujeres.*

### Problemática

La implementación de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas es crucial para promover la sostenibilidad y reducir costos energéticos. Sin embargo, en la “Unidad Educativa Nacional Galápagos”, existen oportunidades para mejorar la eficiencia energética mediante la repotenciación de equipos existentes.

La limitada participación de la energía solar hace imposible maximizar los beneficios ambientales, económicos y técnicos del sistema, afectando directamente los objetivos de sostenibilidad energética previstos para el archipiélago.

### Justificación

Este proyecto busca reducir costos de energía y promover la educación ambiental en la comunidad escolar, alineándose con políticas de sostenibilidad del país. Se trata de un avance tecnológico orientado a reducir las emisiones y riesgo de contaminación especialmente en una zona de alta sensibilidad ecológica, caracterizada por la presencia de biodiversidad endémica única.

Además, este trabajo permitirá generar conocimiento técnico aplicable en otras islas o comunidades fuera de la región continental del Ecuador. Teniendo en cuenta factores climáticos, técnicos y económicos, el uso de herramientas especializadas permitirá la identificación del escenario más sostenible y rentable

## Marco teórico

Los sistemas fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad mediante celdas solares. Su implementación en entornos educativos mejora la conciencia ambiental y reduce la huella de carbono (ver Tabla 1).

Tabla 1 Clasificación de paneles solares

| CAPA FINA (AMORFO)                                 | MONOCRISTALINO                   | POLICRISTALINO          |
|--|----------------------------------|-------------------------|
| Eficiencia muy baja                                | Eficiencia hasta el 21%          | Eficiencia hasta el 16% |
| Mas baratos  | Vida útil de 25 años             | Menor precio            |
| Son flexibles, se adaptan a diferentes superficies | Resistentes a altas temperaturas | Menor resistencia       |
| Se degradan más rápido                             | Funcionan con poca luz           | Ocupan más espacio      |

## Descripción del sistema

Este sistema se encuentra protegido bajo techo; sus estructuras son de pared cimentada y, para su ventilación, cuenta con dos ventanas de malla.

Ubicación del sistema fotovoltaico del colegio Galápagos.

| Nombre      | Sistema fotovoltaico Colegio Galápagos    |
|-------------|---|
| lugar       | Puerto Ayora, Santa Cruz, Islas Galápagos |
| coordenadas | -0°44'46.39652"S, -90°18'49.46003"W       |
| Altitud     | 5 metros sobre el nivel del mar           |

## Características técnicas del sistema híbrido fotovoltaico

El sistema fotovoltaico instalado en la Unidad Educativa Nacional Galápagos está compuesto por los siguientes elementos, cuyas características técnicas principales se detallan a continuación:

Tabla 2. Componentes y características técnicas del sistema híbrido fotovoltaico.

| Componente | Cantidad | Especificación clave |
|------------|----------|----------------------|
| Paneles    | 8        | 300W c/u             |
| Inversores | 1        | 3 kW híbrido         |
| MPPT       | 1        | 60-48v               |
| Baterías   | 4        | 12v-100 Ah           |

## Paneles solares fotovoltaicos

Tabla 3. Parámetros eléctricos y características técnicas de los paneles fotovoltaicos

| <b>Parámetro</b>                  | <b>Valor</b>   |
|-----------------------------------|----------------|
| Tipo de panel                     | Policristalino |
| Potencia nominal (Pm)             | 280-300W       |
| Voltaje en circuito abierto (Voc) | 36-40V         |
| Voltaje a máxima potencia (Vmp)   | 30-32V         |
| Corriente a máxima potencia (Imp) | 8-10A          |
| Eficiencia                        | 15%-17%        |
| Cantidad instalada                | 8 paneles      |
| Potencia total                    | = 2.3 kW       |

## Inversor

Tabla 4 Parámetros eléctricos y características técnicas del módulo fotovoltaico

| <b>Parámetro</b>   | <b>Valor</b>       |
|--------------------|--------------------|
| Tipo               | Inversor híbrido   |
| Potencia nominal   | 200-3000 W         |
| Voltaje de entrada | 12 – 24 - 48 V DC  |
| Voltaje de salida  | 120V AC            |
| Frecuencia         | 60 Hz              |
| Forma de onda      | Onda senoidal pura |
| Eficiencia         | >90%               |

## Controlador de carga MPPT

Tabla 5 Característica técnicas del controlador de carga MPPT

| <b>Parámetro</b>  | <b>Valor</b>                                 |
|-------------------|--|
| Tipo              | MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia) |
| Corriente nominal | 40 - 60A                                     |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Voltaje del sistema | 12V-24V-48 V                                   |
| Eficiencia          | >95%   |
| Protección          | Sobre carga, cortocircuitos, sobre temperatura |

El controlador de 60 A es adecuado para la potencia instalada de aproximadamente 2.3kW a48V, aunque se encuentra cercano al límite por lo que se consideró dentro de condiciones nominales de operación.

## Cable eléctrico

*Tabla 6 Especificaciones técnicas del conductor eléctrico del sistema fotovoltaico*

| Parámetro   | Valor                       |
|-------------|-----------------------------|
| Tipo        | Cable concéntrico           |
| Calibre     | 3 x 8 AWG                   |
| Material    | Cobre                       |
| Aislamiento | PVC resistente a intemperie |

El calibre del cable fue seleccionado considerando la corriente máxima del sistema y un factor de seguridad del 25% garantizando operación segura y mínima caída de tensión

## Luminarias

*Tabla 7 Especificaciones técnicas de las luminarias LED utilizadas en el sistema híbrido*

| Parámetro            | Valor            |
|----------------------|------------------|
| Tipo                 | LED              |
| Potencia             | 50-100W          |
| Voltaje de operación | 120 V AC         |
| Flujo luminoso       | 4000 – 9000 Lm   |
| Eficiencia           | Alta (>100 lm/W) |

Las características técnicas presentadas permiten garantizar un funcionamiento eficiente del sistema fotovoltaico, asegurando una adecuada generación, almacenamiento y utilización de la energía. La correcta selección de estos componentes es fundamental para optimizar el rendimiento energético, prolongar la vida útil del sistema y reducir pérdidas eléctricas.

## Objetivos

### General

Optimizar el desempeño del sistema de iluminación fotovoltaico de la Unidad Educativa Nacional Galápagos mediante actividades de diagnóstico técnico, mantenimiento correctivo y repotenciación, con el fin de garantizar un suministro eléctrico eficiente, continuo y confiable.

## Específicos

Evaluar el estado técnico y las condiciones de operación del sistema fotovoltaico, mediante inspecciones visuales y mediciones eléctricas de sus principales componentes.

Identificar fallas y riesgos eléctricos en la instalación, tales como conexiones defectuosas, sulfatación, deterioro del cableado y puntos de pérdidas energéticas.

Ejecutar actividades de mantenimiento correctivo y preventivo, orientadas a la recuperación del rendimiento del sistema y la optimización de sus condiciones operativas.

Validar el desempeño del sistema mediante pruebas eléctricas y un análisis comparativo de parámetros, antes y después de la intervención técnica.

## *Alcance*

El presente estudio se enfoca en el diagnóstico técnico, mantenimiento correctivo, repotenciación y validación del sistema fotovoltaico de iluminación de la Unidad Educativa Nacional Galápagos. Las actividades desarrolladas incluyen la inspección de componentes, la medición de parámetros eléctricos, la intervención técnica y el análisis de desempeño.

No se consideran dentro del alcance del proyecto las obras civiles, las modificaciones estructurales ni las ampliaciones del sistema; estas se plantean como recomendaciones para futuras intervenciones. El estudio se limita a optimizar la infraestructura existente con los recursos disponibles, priorizando la eficiencia energética y la confiabilidad operativa.

## **Materiales y métodos**

Se realiza un análisis técnico del sistema híbrido fotovoltaico actualmente en operación, a partir de la recopilación de datos operativos de consumo energético y ambientales.

La metodología incluirá además un análisis comparativo de los resultados desde una perspectiva técnica, económica y ambiental, que permita seleccionar la configuración más factible y sostenible. Esta aproximación facilitará el desarrollo de una técnica reproducible, alineada con los objetivos de sostenibilidad del archipiélago de Galápagos.

## **Materiales**

- Paneles solares fotovoltaicos de alta eficiencia
- Inversor solar con tecnología de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT)
- Baterías de almacenamiento de Energía
- Estructura de soporte y anclaje para paneles
- Cableado y conectores eléctricos
- Sistema de monitoreo (ver Tabla 8)

Tabla 8 Descripción de métodos

| Evaluación inicial                        | Repotenciación                                     | Pruebas y validación                                |
|---|--|---|
| Inspección visual y mediciones eléctricas | Reemplazo de componentes y ajuste de pernos flojos | Medición de rendimiento y análisis de datos tomados |

### Procedimiento

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo optimizar el desempeño de un sistema de iluminación alimentado mediante energía solar fotovoltaica instalado en la Unidad Educativa Nacional Galápagos. La investigación se fundamenta en el diagnóstico técnico realizado al sistema existente, en el cual se identificaron diversas fallas que afectaban su rendimiento, tales como acumulación de suciedad en los módulos fotovoltaicos, sulfatación en los terminales de las baterías, conexiones eléctricas defectuosas y deterioro del cableado. A partir de este análisis, se ejecutaron actividades de mantenimiento correctivo y preventivo que incluyeron la limpieza integral de los componentes, la rehabilitación de conexiones eléctricas, el ajuste de elementos mecánicos y la reorganización del sistema de distribución. Asimismo, se implementaron pruebas de funcionamiento y mediciones eléctricas para validar el desempeño del sistema posterior a la intervención.

Los resultados obtenidos evidencian una mejora significativa en los parámetros eléctricos y energéticos del sistema, destacándose un incremento en la potencia generada de 700 W a 1100 W, así como una mejora en la eficiencia global del sistema del 65 % al 88 %. De igual manera, se logró una reducción considerable en los costos operativos, optimizando el uso de la energía disponible.

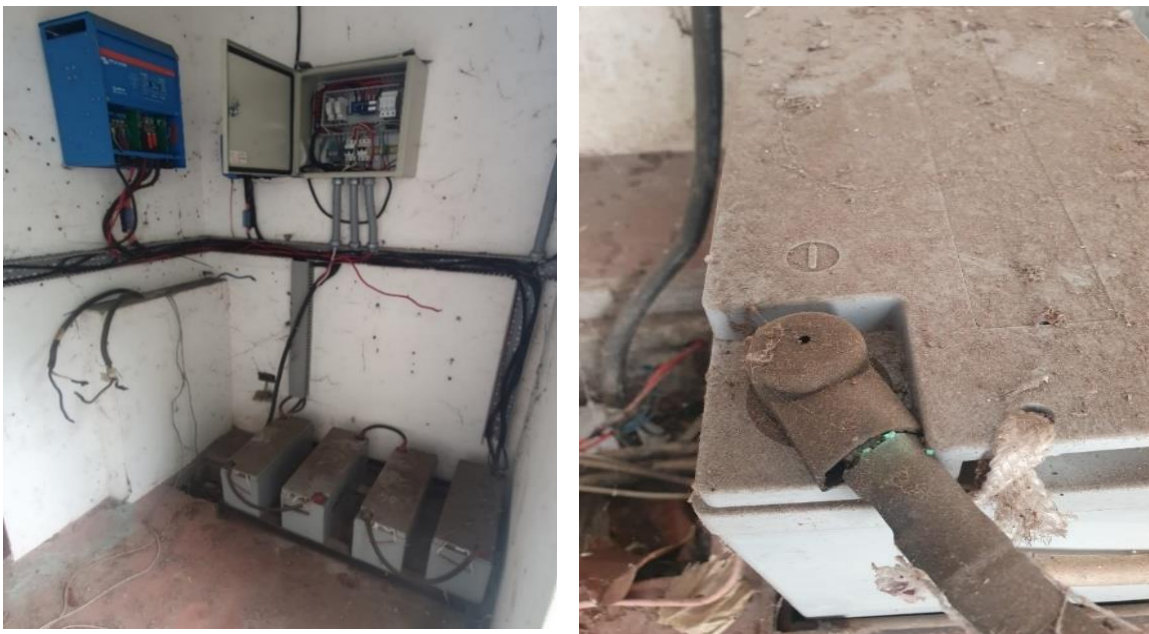
Se concluye que la repotenciación de sistemas fotovoltaicos constituye una alternativa técnica viable, económicamente rentable y ambientalmente sostenible, especialmente en contextos donde las condiciones ambientales afectan el desempeño de las instalaciones. Este estudio demuestra además la importancia del mantenimiento periódico como factor clave para garantizar la eficiencia, confiabilidad y vida útil de los sistemas fotovoltaicos. (Planells, 2019)



Figura 2. Inspección de los inversores

### Etapa 1: Diagnóstico y evaluación del sistema existente

Inicialmente se realizó una inspección técnica del sistema fotovoltaico instalado, verificando el estado físico y eléctrico de sus componentes principales, tales como paneles solares, baterías, controladores de carga, luminarias, conductores y protecciones. Se efectuarán mediciones de voltaje, corriente, potencia y niveles de carga utilizando multímetro de medición eléctrica. Asimismo, se identificó que el sistema estaba lleno de polvo, tierra en las baterías telarañas por todo el sistema se observó fallas, pérdidas energéticas, conexiones defectuosas y elementos deteriorados que afectaba el rendimiento del sistema.



*Figura 3. Sistema Fotovoltaico en deterioro por falta de mantenimiento.*

### Etapa 3: Repotenciación del sistema

Se procedió a desconectar el sistema seccionando los breakers y desconectando las baterías para realizar su respectivo mantenimiento, con toda la seguridad se hizo la limpieza de las baterías quitando la corrosión y el óxido de los terminales Equipos de protección personal.



*Figura 4. Aislamiento de conductores con pérdida de recubrimiento en mal estado*

#### Etapa 4: Implementación y mantenimiento

Se realizó el mantenimiento preventivo y correctivo, que incluyen limpieza de paneles, ajuste de conexiones limpieza de conectores de baterías instalación luminarias, Posteriormente, se integrarán los componentes repotenciados y se realizará la puesta en marcha del sistema, verificando su correcto funcionamiento.



*Figura 5. Detalles técnicos y estado físico del banco baterías*

### Etapa 5: Pruebas y validación del desempeño

El sistema se encuentra ya activado, se desarrollaron pruebas funcionales y mediciones de rendimiento para evaluar la generación de energía, autonomía, consumo y niveles de iluminación. Los resultados serán comparados con los valores de diseño para comprobar la mejora en la eficiencia energética y la confiabilidad del sistema. Se registrarán los datos obtenidos para su análisis técnico.



Corte de Árbol para llevar el cable del inversor a la lampara



Templando el cable 3x10 Concéntrico

Figura 6. Mantenimiento correctivo y limpieza de luminaria LED.



Figura 7. Instalación de la fotocélula y ajuste de la orientación de la luminaria.

#### Etapa 6: Análisis de resultados

Finalmente, se analizaron los datos recopilados y se evaluó el impacto de la repotenciación en términos de ahorro energético previniendo las fallas y mejora del servicio de iluminación.

Tabla 9. Comparación de voltajes y corrientes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo

| <b>Equipo</b> | <b>Voltajes Antes</b> | <b>Voltajes Después</b> | <b>Corrientes Antes</b> | <b>Corrientes Después</b> |
|---------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Paneles       | 27,6 V DC             | 32,0 V DC               | 7 A                     | 9 A                       |
| Baterías      | 52,1 V DC             | 54,4 V DC               | 3 A                     | 4 A                       |
| Inversor      | 119,9 V AC            | 130,9 V AC              | 2 A                     | 2 A                       |

*Nota.* Los valores fueron registrados en condiciones de irradiación solar similares para garantizar la comparabilidad de los datos.

El análisis de la Tabla 9 demuestra la efectividad del mantenimiento correctivo realizado al sistema fotovoltaico. En los paneles solares, el voltaje se incrementó de 27,6 V DC a 32,0 V DC, equivalente a una mejora del 15,9 %. La corriente también aumentó de 7 A a 9 A, lo que representa un 28,6 % adicional. Este incremento se atribuye directamente a la limpieza de los módulos y al ajuste de conexiones MC4, lo que redujo las pérdidas por resistencia de contacto y suciedad.

En el banco de baterías, el voltaje pasó de 52,1 V DC a 54,4 V DC, con un incremento del 4,4 %, mientras que la corriente subió de 3 A a 4 A, es decir, un 33,3 % más. Esta recuperación evidencia la eliminación de sulfatación en bornes y la correcta ecualización del banco, permitiendo una mejor capacidad de carga y descarga.

Respecto al inversor, el voltaje de salida AC se elevó de 119,9 V a 130,9 V, representando un 9,2 % de mejora. Este valor es crítico, ya que lo posiciona dentro del rango óptimo establecido por la norma NEC 2020, evitando problemas de bajo voltaje en las cargas conectadas. La corriente se mantuvo en 2 A, lo cual es esperado, dado que esta depende de la demanda de la carga y no de la generación del sistema.

En síntesis, los datos confirman que las acciones correctivas ejecutadas restauraron los parámetros eléctricos nominales del sistema, incrementando su eficiencia y garantizando una operación segura y estable.

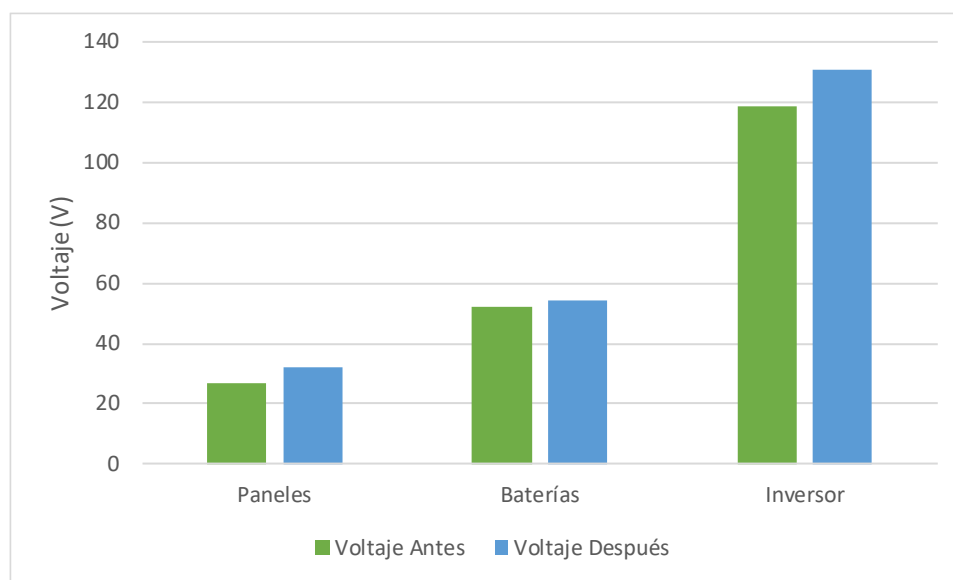


Figura 8. Comparación de voltajes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo

*Nota.* Se registraron los voltajes de paneles en V DC, baterías en V DC e inversor en V AC. El incremento del voltaje en paneles fue de 27,6 V a 32,0 V, equivalente a 15,9 %. En baterías aumentó de 52,1 V a 54,4 V, representando 4,4 %. En el inversor subió de 119,9 V a 130,9 V, con una mejora de 9,2 %. Estos resultados confirman la recuperación de la capacidad de generación tras el mantenimiento correctivo.

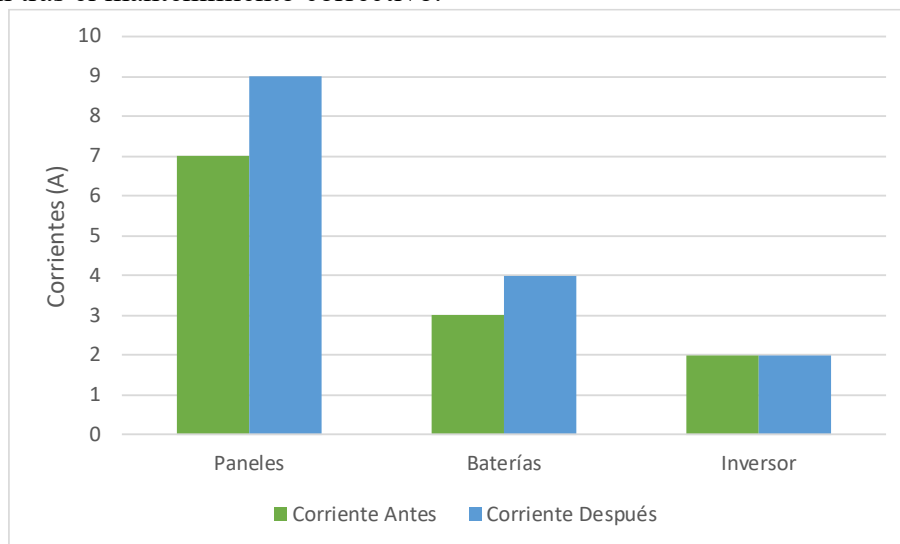


Figura 9. Comparación de corrientes del sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo

*Nota.* Se registraron las corrientes de operación en amperios (A). La corriente en paneles se incrementó de 7 A a 9 A, equivalente a 28,6 %. En baterías aumentó de 3 A a 4 A, representando 33,3 %. La corriente del inversor se mantuvo en 2 A, debido a que esta depende exclusivamente de la carga conectada y no de la capacidad de generación del sistema. Estos resultados confirman la reducción de pérdidas por resistencia de contacto y sulfatación tras el mantenimiento correctivo.

Para evaluar el impacto del mantenimiento correctivo sobre la capacidad de generación, se registró la curva de potencia diaria del sistema fotovoltaico antes y después de la intervención, en el intervalo de 6:00 a 18:00 horas. Los resultados se presentan en la Figura 11. Se observa que, tras el mantenimiento, la potencia generada se incrementó significativamente en todas las horas de operación. La potencia pico pasó de 700 W a 1100 W a las 12:00 horas, lo que representa una mejora de 57,1 %. Además, el sistema mantuvo niveles de potencia superiores a 900 W durante cuatro horas consecutivas, entre las 10:00 y 14:00 horas, mientras que antes del mantenimiento solo superaba los 600 W en ese mismo rango. Este aumento en el área bajo la curva confirma una mayor producción de energía diaria, producto de la reducción de pérdidas por suciedad en los paneles y la corrección de conexiones defectuosas.

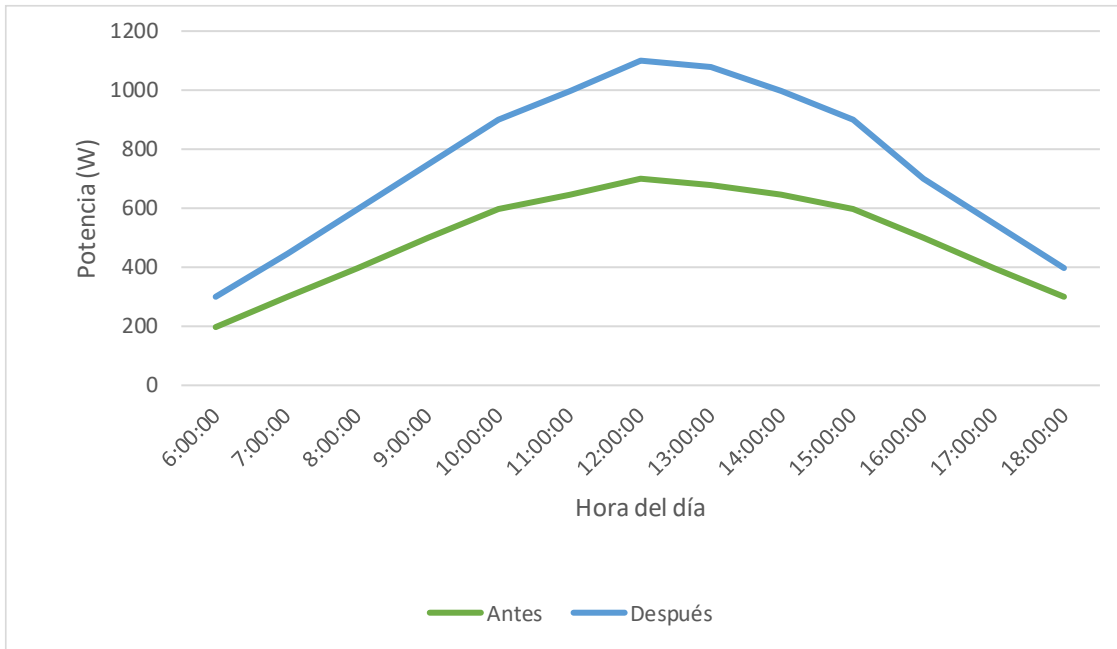


Figura 10. Curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico antes y después del mantenimiento correctivo

*Nota.* Se registró la potencia instantánea en vatios (W) desde las 6:00 hasta las 18:00 horas, bajo condiciones de irradiación solar similares. La curva "Después" alcanzó una potencia pico de 1100 W a las 12:00 horas, frente a los 700 W registrados en la curva "Antes". Esto representa un incremento de 57,1 % en la potencia máxima y confirma una mayor captación de radiación solar tras el mantenimiento correctivo realizado.

Desde un enfoque técnico, los resultados confirman que el mantenimiento correctivo es un factor crítico en sistemas fotovoltaicos, ya que la acumulación de suciedad y las conexiones defectuosas pueden reducir la eficiencia en porcentajes significativos. la eficiencia subió del 65 % a 88 %, lo que representa un incremento de 23 puntos porcentuales, equivalente a una mejora relativa de 35,4 % respecto al estado inicial.

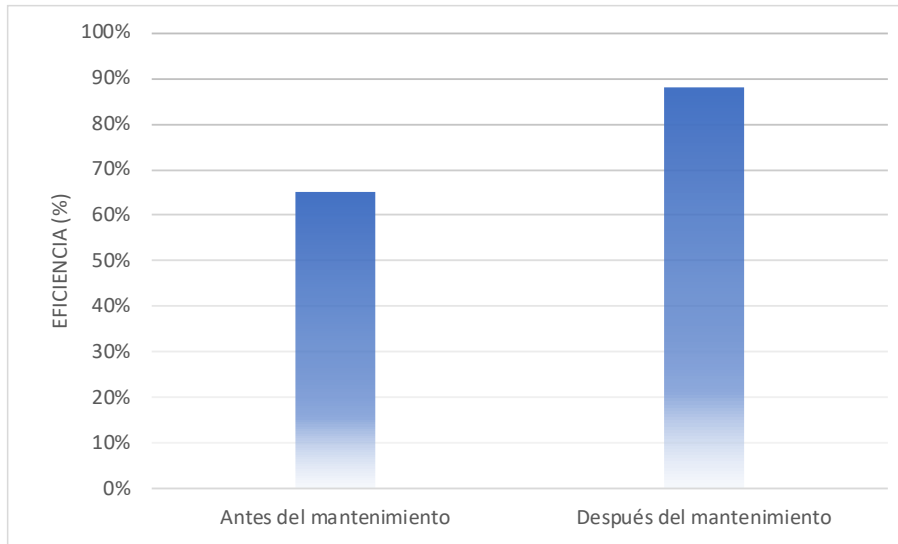


Figura 11. Comparación de la eficiencia de los paneles solares antes y después del mantenimiento

*Nota.* La eficiencia se calculó como la relación entre la potencia de salida real y la potencia nominal del arreglo fotovoltaico, bajo condiciones de irradiación estándar de 1000 W/m<sup>2</sup>.

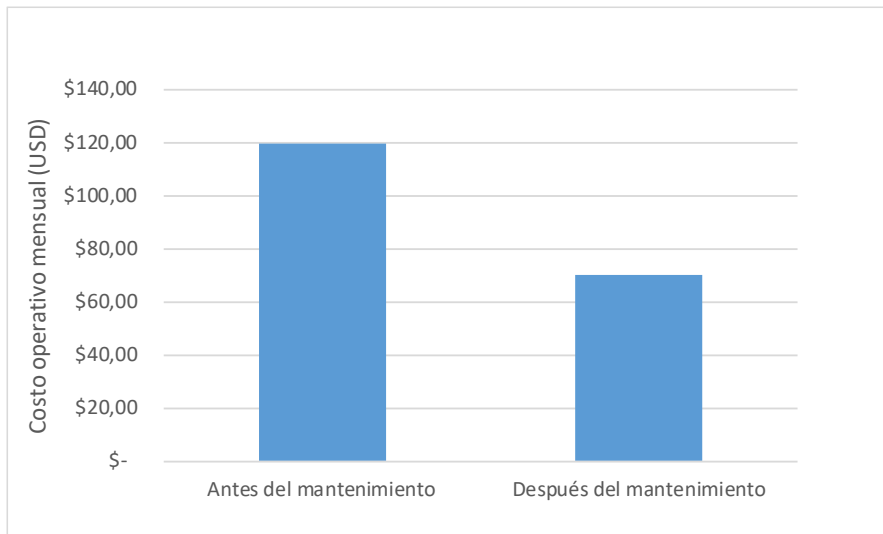


Figura 12. Impacto del mantenimiento correctivo en la reducción de costos operativo mensual del sistema fotovoltaico

*Nota.* El costo operativo mensual se redujo de \$ 120,00 a \$ 70,00 después del mantenimiento correctivo, generando un ahorro de \$ 50,00, equivalente al 41,6 % respecto al costo inicial. El costo operativo incluye gastos por consumo de energía de la red eléctrica debido a la baja generación del sistema antes del mantenimiento.

## Anexo 1.

Se muestra el procedimiento de limpieza de los paneles solares A. Cabe recalcar, en el paso f, se observa una limpieza total de los paneles quedando impecable libre de suciedad.



Figura 13. Proceso de limpieza de paneles fotovoltaicos de suciedad, lavado, secado y resultado final

Se describe como se procede a la limpieza de los paneles. El diagrama presenta la secuencia general del mantenimiento preventivo de los módulos fotovoltaicos, iniciando con la remoción de partículas sueltas mediante sopleteado, seguido del lavado con agua para eliminar suciedad adherida y finalizando con el secado para evitar residuos o manchas (Uzquiano et al., 2015).

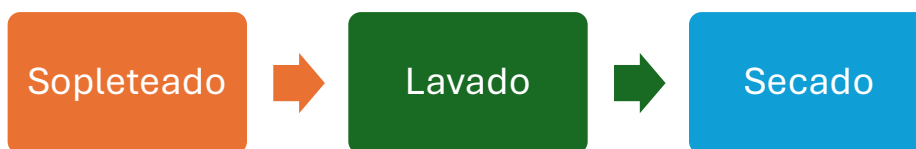


Figura 13. Etapas del proceso de limpieza de paneles fotovoltaicos: sopleteado, lavado y secado

## Resultados

Con la limpieza efectiva mediante las herramientas que estaban accesibles logramos realizar un mantenimiento practico y seguro.

### Un después de los mantenimientos fotovoltaicos

La imagen muestra la disposición física de los principales equipos del sistema fotovoltaico, incluyendo el inversor encargado de la conversión de energía, el controlador MPPT para la optimización de la carga, el tablero eléctrico para la distribución y protección, y el banco de baterías destinado al almacenamiento de energía

Eficiencia Energética (Junta de castilla y de león, 2004)



Figura 14. Componentes del sistema fotovoltaico instalado en el Colegio Nacional Galápagos, con un inversor de 120V, controlador de carga MPPT, tablero eléctrico y banco de baterías de 12 V

### Comparación de niveles de iluminancia antes y después de la intervención en luminarias mediante medición con luxómetro

A partir de las mediciones de iluminancia realizadas, se concluye que el sistema de alumbrado presentaba inicialmente una condición crítica de inoperatividad, evidenciada por valores prácticamente nulos (0,1 lux), lo cual imposibilitaba el uso seguro y funcional del

área intervenida. Tras la ejecución de las acciones correctivas, los niveles de iluminancia se incrementaron significativamente, alcanzando un rango entre 290 y 385 lux, lo que demuestra una recuperación efectiva del sistema.

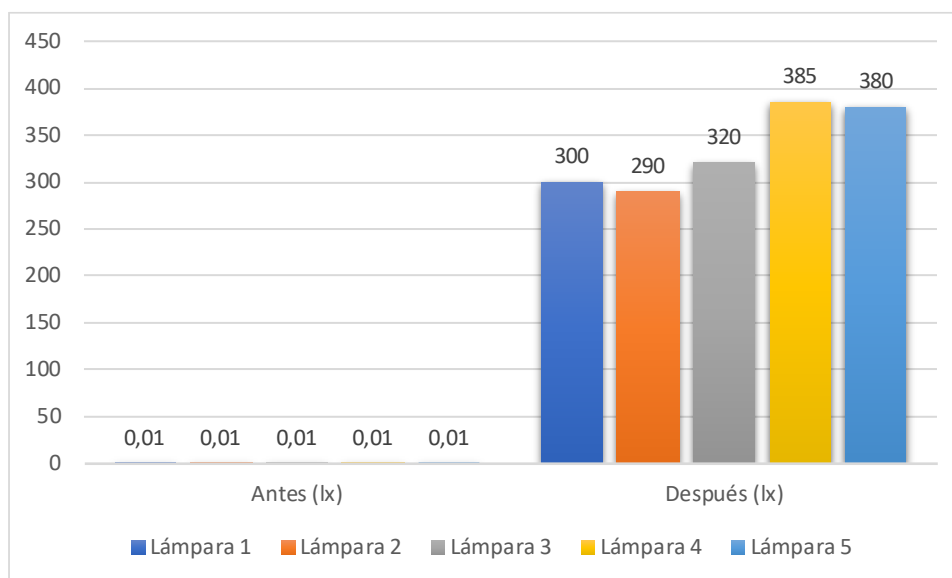


Figura 15. Comparación de niveles de iluminancia en luminarias LED antes y después del mantenimiento correctivo

*Nota:* Todas las luminarias se encuentran a 8,90 metros de altura. La iluminancia pasó de 0,01 lx a valores entre 290 lx y 385 lx, lo que representa un incremento superior a 30.000 veces. Esto evidencia que el mantenimiento fue correctivo, ya que las luminarias pasaron de un estado inoperativo a funcional.

En conclusión, la repotenciación no solo es una alternativa técnica viable, sino también una solución económicamente rentable y ambientalmente responsable alineada con los principios de desarrollo sostenible y eficiencia energética.

## Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo permitió demostrar que la repotenciación de sistemas fotovoltaicos constituye una solución técnica eficiente para recuperar y optimizar su rendimiento energético, especialmente en instalaciones afectadas por condiciones ambientales adversas y por la falta de mantenimiento.

A partir del diagnóstico inicial, se identificó que factores como la acumulación de suciedad, la sulfatación en terminales de baterías, las conexiones eléctricas deficientes y el deterioro del cableado incidían directamente en la disminución de la eficiencia del sistema. Estas condiciones provocaban pérdidas significativas de potencia y afectaban la estabilidad del suministro eléctrico.

La ejecución de actividades de mantenimiento correctivo y preventivo permitió restablecer las condiciones óptimas de funcionamiento del sistema, evidenciándose un incremento en la potencia generada, mejoras en los niveles de voltaje y de corriente, así como un aumento considerable en la eficiencia energética global.

El análisis comparativo de resultados confirmó la efectividad de la intervención técnica, logrando reducir pérdidas energéticas y mejorar la confiabilidad del sistema. Asimismo, se evidenció una reducción en los costos operativos, lo que demuestra la viabilidad económica de la repotenciación frente a la sustitución total del sistema.

Finalmente, se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento periódico es fundamental para garantizar la continuidad operativa, la eficiencia y la vida útil de los sistemas fotovoltaicos. La metodología aplicada en este estudio puede replicarse en otras instituciones con características similares, contribuyendo al fortalecimiento del uso de energías renovables en el sector educativo.

## Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y el análisis del sistema fotovoltaico intervenido, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a garantizar la sostenibilidad, eficiencia y confiabilidad del sistema a largo plazo:

Implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento periódico que incluya:

Limpieza de paneles solares al menos cada 2 a 3 meses, considerando las condiciones de salinidad y polvo propias de la región insular.

Inspección de conexiones eléctricas para evitar falsos contactos, sulfatación o pérdidas de energía.

Verificación del estado de baterías (niveles de carga, corrosión, voltaje).

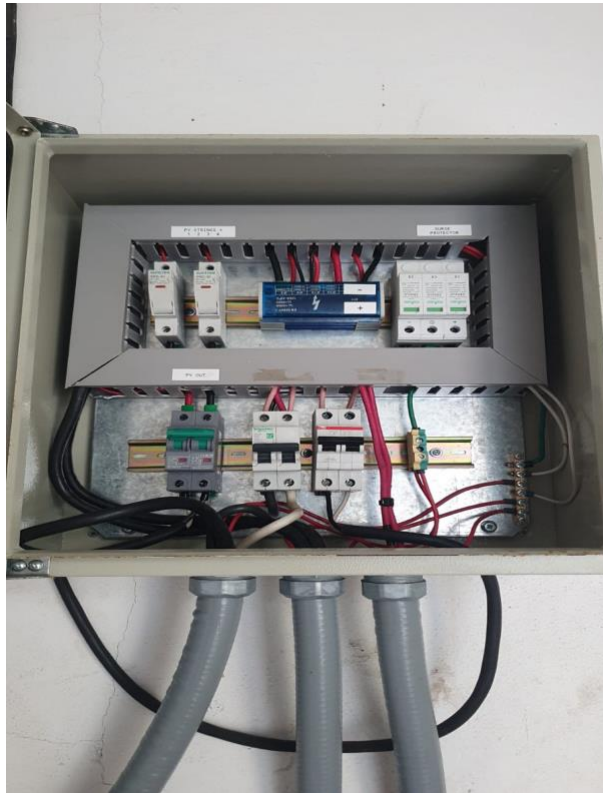
Esto permitirá mantener la eficiencia del sistema y prevenir fallas críticas.

La aplicación de estas recomendaciones permitirá no solo mantener el rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico, sino también garantizar su sostenibilidad técnica, económica y ambiental a largo plazo, consolidando su aporte al desarrollo energético sostenible en entornos de alta sensibilidad ecológica como las Islas Galápagos.

## Referencias

- Farhat, M., Barambones, O., Ramos, J. A., Duran, E., & Andujar, J. M. (2015). Design and Implementation of a Stable Control System based on Fuzzy Logic in order to optimize the performance of a Photovoltaic Generation System. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 12(4), 476–487.  
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.07.006>
- Junta de castilla y de leon. (2004). *Energia Solar Fotovoltaica Manual Del Instalador (Junta Castilla Y Leon)*.
- Planells, B. P. (2019). *TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LA ENERGÍA SOLAR 2.0* (Cristopher kikaid, Ed.). [www.academiaenergiasolar.com](http://www.academiaenergiasolar.com)
- Uzquiano, C., Sullivan, M., & Sandy, X. (2015). *Capacitación e Instalación de Sistemas Fotovoltaicos* (Wildlife Conservation Society (WCS), Ed.; 1era ed.).

## Anexos



*Anexo 1 Circuito de conexión*