



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Electromecánica

AUTORES:

Bryan Alexander Brito Sánchez

Leandro Julián Gómez Ushiña

TUTOR:

Ing. Freddy Rodrigo Romero Bedón Msc.

LA MANÁ – ECUADOR

MARZO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Brito Sánchez Bryan Alexander, con cédula de ciudadanía No. 1752363836, Gómez Ushiña Leandro Julián, con cédula de ciudadanía No. 1727327577 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”**, siendo el Ing. Ing. Freddy Rodrigo Romero Bedón Mg., Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

La Maná, marzo 16 del 2026



Brito Sánchez Bryan Alexander
C.C: 175236383-6



Gómez Ushiña Leandro Julián
C.C: 172732757-7

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”, de: Brito Sánchez Bryan Alexander y Gómez Ushiña Leandro Julián, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho informe investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, marzo 16 del 2026



Ing. MSc. Freddy Rodrigo Romero Bedón
CI: 050349964-2
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Proyecto de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Extensión La Maná, Carrera de Electromecánica; por cuanto los postulantes: Brito Sánchez Bryan Alexander y Gómez Ushiña Leandro Julián, con el título del Proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, 16 de marzo del 2026

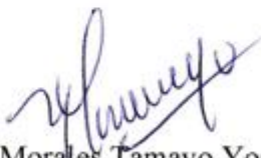
Para constancia firman:



Ing. Hidalgo Osorio William Armando
CI: 050265788-5
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Vázquez Carrera Paco Jovanni
CI: 050175876-7
LECTOR 2 (MIEMBRO)



PHD. Morales Tamayo Yoandrys
CI: 175695879-7
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, por habernos acogido con los brazos abiertos y brindarnos las herramientas necesarias para convertir nuestros sueños en realidad. Llegamos con incertidumbre, pero nos vamos con conocimiento, experiencias inolvidables y el corazón lleno de gratitud. A nuestros ingenieros, docentes y guías, gracias por compartir con nosotros no solo su sabiduría técnica, sino también su paciencia, exigencia y compromiso. Ustedes fueron quienes nos impulsaron a superar nuestros límites, a descubrir nuestras capacidades y a creer en nuestro potencial. Gracias por todo.

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo."

— Nelson Mandela

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación académica, incluso en los momentos de mayor dificultad. A mis padres, por su apoyo incondicional, su esfuerzo constante y por inculcarme valores fundamentales como la responsabilidad, la disciplina y el compromiso, los cuales han sido pilares esenciales a lo largo de mi vida personal y profesional. A mis docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, quienes, a través de sus conocimientos y experiencia, contribuyeron significativamente a mi formación académica y al desarrollo del presente proyecto de investigación. Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, formaron parte de este proceso y me acompañaron durante el desarrollo de esta tesis, siendo un apoyo fundamental para alcanzar este logro.

Bryan

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de titulación, fruto de
esfuerzo, constancia y aprendizaje, en
primer lugar, a mi familia, quienes han
sido mi mayor inspiración y sostén a lo
largo de mi formación. Su amor, sacrificio
y confianza en mí fueron el impulso que me
permitió superar cada desafío y avanzar
con determinación hacia esta meta.*

*A mis docentes, por su guía académica,
dedicación y compromiso con la
enseñanza, quienes no solo transmitieron
conocimientos técnicos, sino también
valores profesionales que marcarán mi
ejercicio como ingeniero.*

*Finalmente, a todas las personas que me
acompañaron y apoyaron durante este
proceso, brindándome ánimo y confianza
en los momentos más exigentes. Este logro
es también reflejo de su respaldo y
acompañamiento constante.*

Leandro

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”

Autores:

Bryan Alexander Brito Sánchez

Leandro Julián Gómez Ushiña

RESUMEN

El presente proyecto se implementó un sistema autónomo de generación fotovoltaica mediante un banco de baterías y demás equipos que permitiera el funcionamiento en modo isla del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, considerando la crisis energética que atraviesa el país. Se planteó así una solución para que la institución gozará de cierta autonomía energética, dotándola de un banco de baterías como reserva estratégica. Tras una evaluación exhaustiva y precisa, se compiló información referente a los requerimientos energéticos y la aptitud de la infraestructura existente, el mismo que mantuviera operativa la infraestructura crítica durante apagones inesperados. Se evaluaron alternativas para equilibrar el costo de inversión ante beneficios en el tiempo, ante un sistema eléctrico cuya confiabilidad es baja. De este modo, la propuesta, proyectada como un soporte al futuro de las instalaciones, trascendió la necesidad inmediata. La configuración del sistema de acumuladores no representó una solución provisional ante el apremio inmediato, sino que fue concebido como una unidad funcional interconectada, diseñada para satisfacer las necesidades de potencia, anticipando con claridad que tal exigencia podría comprometer la solidez si la infraestructura de apoyo carecía de la firmeza requerida. Tal previsión fomenta un uso responsable y una decisión astuta.

Palabras clave: Fotovoltaico, baterías, autonomía, diseño, sustentable.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

LA MANÁ EXTENSION

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A BATTERY BANK FOR THE SELF-SUSTAINABLE SYSTEM OF THE SYNTHETIC FIELD OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI, LA MANÁ EXTENSION”

Authors:

Bryan Alexander Brito Sánchez

Leandro Julián Gómez Ushiña

ABSTRACT

The innovation of an autonomous photovoltaic generation system, utilizing a battery bank and other equipment, would enable the existing photovoltaic system at the La Maná Extension of the Technical University of Cotopaxi to operate in island mode, addressing the country's energy crisis. This solution was proposed to provide the institution with a degree of energy independence by equipping it with a battery bank as a strategic reserve. After a thorough and precise evaluation, information was compiled regarding energy requirements and the suitability of the existing infrastructure, ensuring the continued operation of critical infrastructure during unexpected power outages. Alternatives were evaluated to balance the investment cost with long-term benefits, given the low reliability of the electrical system. Thus, the proposal, initially conceived as a future support for the facilities, transcended the immediate need. The battery storage system was not designed as a temporary solution to an immediate emergency, but rather as an interconnected, functional unit, engineered to meet power demands. It was clearly anticipated that such demands could compromise reliability if the supporting infrastructure lacked the necessary strength. This foresight fostered responsible use and a wise decision.

Keywords: Photovoltaics, batteries, autonomy, design, self-sustaining.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	2
1.1.	Justificación.....	2
1.2.	Beneficiarios del proyecto.....	3
1.3.	Problema de investigación	6
2.	OBJETIVOS	7
2.1.	Objetivo general	7
2.2.	Objetivos específicos	7
2.3.	Actividades y sistema de tareas relacionados con los objetivos planteados.....	7
3.	MARCO TEÓRICO	9
3.1.	Sistema fotovoltaico	9
3.2.	Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	10
3.3.	Comparación del sistema fotovoltaico conectado a red y del sistema fotovoltaico aislado	10
3.4.	Elementos de un sistema fotovoltaico.....	12
3.5.	Sistema fotovoltaico autónomo.	15
3.6.	Importancia del banco de baterías o del acumulador en el sistema fotovoltaico y su mantenimiento.	15
3.7.	Fundamentos de almacenamiento energético con baterías.....	16
3.8.	Tipos de baterías	16
3.9.	Tabla comparativa de baterías.	18
3.10.	Aplicaciones de un sistema fotovoltaico autónomo.....	20
3.11.	Ciclos (Vida útil)	20
3.12.	Dimensionamiento de un banco de baterías para un sistema fotovoltaico.	21
3.13.	Fórmulas para el dimensionamiento de un banco de baterías	22
3.14.	Condiciones técnicas y de seguridad	23
3.15.	Almacenamiento y regulación de energía	25
3.16.	Distribución eléctrica y sistemas de conectividad	26
3.17.	Condiciones de Seguridad.....	27
3.18.	Protección contra riesgos eléctricos:.....	29
3.19.	Seguridad para las personas	30
3.20.	Seguridad estructural y ambiental:	33
3.21.	Ventilación y temperatura ambiente	33
3.22.	Recomendaciones Técnicas.....	37
3.23.	Protección contra sobrecarga y sobredescarga	37
3.24.	Normativas eléctricas y recomendaciones del fabricante:.....	39

3.25.	Normativas eléctricas relevantes:	39
3.26.	Recomendaciones del fabricante:	40
3.27.	Integración con el sistema fotovoltaico:.....	41
3.28.	Selección de regulador adecuado:.....	44
4.	METODOLOGÍA	47
4.1.	Introducción Metodológica	47
4.2.	Tipo y Enfoque de Investigación	47
4.3.	Instrumentos de medida	48
4.4.	Estrategias de Validación y Análisis de Resultados	49
4.5.	Diseño experimental	49
4.6.	Etapas de Desarrollo	49
4.7.	Planificación del proyecto.....	51
5.	HOJA DE CÁLCULOS.....	52
5.1.	Especificaciones técnicas de las luminarias led seleccionadas.....	52
5.2.	Diseño y dimensionamiento del sistema	53
5.3.	Plano unifilar del sistema eléctrico fotovoltaico.....	53
5.4.	Circuito eléctrico	55
5.5.	Distribución lumínica.....	57
5.6.	Sistema de Protección Eléctrica Implementado	57
5.7.	Cálculo de dimensionamiento de protecciones.....	57
5.8.	Análisis de carga total del sistema	57
5.9.	Consumo energético del sistema led propuesto.....	57
5.10.	Cálculos de consumo energético sistema LED.....	58
5.11.	Dimensionamiento del banco de baterías.....	60
5.12.	Cálculo de la demanda energética.	60
5.13.	Consideración de perdidas.	64
5.14.	Prueba experimental de autonomía del sistema.....	72
5.15.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	73
6.	RESULTADO Y DISCUSIONES	75
6.1.	Resultados	75
6.2.	Discusiones.....	76
7.	CONCLUSIONES	76
8.	RECOMENDACIONES.....	77
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	78
10.	ANEXOS	83

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.	7
Tabla 2. Comparativa de los sistemas conectados a la red eléctrica y sistemas aislados.	11
Tabla 3. Ventajas – desventajas, sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica.	12
Tabla 4. Ventajas – desventajas de un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica.	12
Tabla 5. Los principales elementos de un sistema fotovoltaico.	13
Tabla 6. Tipos de baterías y su composición.	16
Tabla 7. Comparación de las diferentes baterías de almacenamiento fotovoltaico.	19
Tabla 8. Parámetros para un dimensionamiento de un banco de baterías.	22
Tabla 9. Especificaciones de los EPP para trabajos eléctricos.	32
Tabla 10. Condiciones técnicas de seguridad.	33
Tabla 11. Dispositivos y medidas recomendadas.	41
Tabla 12. Comparación entre un regulador PWM y MPPT.	46
Tabla 13. Cronograma de trabajo.	51
Tabla 14. Especificaciones técnicas de las luminarias LED seleccionadas de 400 W.	52
Tabla 15. Parámetros técnicos del panel solar y carga asociada.	59
Tabla 16. Parámetros técnicos del controlador de corriente.	59
Tabla 17. Parámetros técnicos del inversor de corriente.	59
Tabla 18. Parámetros técnicos de la batería.	60
Tabla 19. Rangos de operación según la norma NEC-690.	65
Tabla 20. Pérdidas de conductores conforme a criterios técnicos aceptables.	69
Tabla 21. Comparación entre parámetros de diseño y medición real del sistema implementado.	70
Tabla 22. Comparación metodológica con investigaciones similares.	71
Tabla 23. Validación final del diseño mediante comparación teórica y experimental.	72
Tabla 24. Resultados experimentales de autonomía.	73
Tabla 25. Presupuesto del proyecto	74

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Beneficiarios directos por genero de la UTC Extensión La Maná.	4
Figura 2. Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales.	5
Figura 3. Proporción de beneficiarios.	6
Figura 4. Sistema fotovoltaico.	10
Figura 5. Elementos que componen un sistema fotovoltaico.	14
Figura 6. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo.	15
Figura 7. Almacenamiento de energía generada por paneles solares.	17
Figura 8. Composición de diferentes tecnologías de baterías de Litio, Plomo- acido y Gel. [13]	18
Figura 9. Inclusión de un sistema de riego en plantas mediante un sistema fotovoltaico autónomo.	20
Figura 10. Etapas principales del proceso de carga de una batería.	21
Figura 11. Conexión en serie de baterías solares.	24
Figura 12. Conexión de paralelo de baterías solares.	24
Figura 13. Batería de iones de gel de 12V con su estructura interna y terminales de conexión.	25
Figura 14. Tabla de amperajes para cables de cobre AWG.	27
Figura 15. Sistema aislado de red.	28
Figura 16. Diagrama de conexión general de un sistema aislado de red.	28
Figura 17. Panel de protecciones eléctricas contra sobretensión.	30
Figura 18. EPP para trabajos eléctricos.	31
Figura 19. Posiciones del sol durante el día. [33].	34
Figura 20. Distribución espacial del recurso solar en el cantón La Maná.	35
Figura 21. Lectura de la distribución solar del cantón La Maná.	35
Figura 22. Perfil irradiación/temperatura del cantón La Maná.	36
Figura 23. Controlador de carga.	38
Figura 24. BMS Sistema de gestión de baterías.	38
Figura 25. Integración de un sistema fotovoltaico.	42
Figura 26. Conversión de onda cuadrada a sinusoidal mediante PWM.	43
Figura 27. Inversor Híbrido.	43
Figura 28. Inversor independiente de red.	44

Figura 29. Regulador de voltaje PWM.	45
Figura 30. Comportamiento del regulador de carga PWM.	46
Figura 31. Panel solar YLM-J.	48
Figura 32. Diseño unifilar.	54
Figura 33. Plano de distribución del sistema de iluminación LED en la cancha sintética, dimensiones: 42m × 25m, altura de montaje: 6.5m.	55
Figura 34. Circuito eléctrico del sistema fotovoltaico.	56

ÍNDICE ECUACIONES

La Ecuación 1. Es la fórmula básica para calcular la capacidad requerida del banco de baterías, tomada de [1].	22
La Ecuación 2. Es la fórmula para obtener la capacidad en amperios-hora (Ah), tomada de [1].	23
La Ecuación 3. Es la fórmula básica para determinar la capacidad del banco de baterías, tomada de [19].	23
La Ecuación 4. Es la fórmula que se utiliza para calcular la Capacidad de baterías, tomada de [2].	25
La Ecuación 5. Es la fórmula que se utiliza para el cálculo de la resistencia de cable, tomada de [2].	27
La Ecuación 6. Es la fórmula para calcular el consumo de energía de la iluminación, tomada de [2].	29
La Ecuación 7. Cálculo de la producción de energía fotovoltaica diaria, tomada de [36].	36
La Ecuación 8. Es la fórmula para calcular la potencia útil, tomada de [1].	42
La Ecuación 9. Es la fórmula de la demanda energética, tomada de [59]	60
La Ecuación 10. Es la fórmula para la eficiencia del sistema, tomada de [59]	61
La Ecuación 11. Es la fórmula para calcular la potencia fotovoltaica necesaria, tomada de [59]	61
La Ecuación 12, Es la fórmula para calcular el banco de baterías, tomada de [59]	61
La Ecuación 13. Es la fórmula para calcular el regulador de carga, tomada de [59]	62

Información general**Título del Proyecto:**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS PARA EL SISTEMA AUTOSUSTENTABLE DE LA CANCHA SINTÉTICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”

Fecha de inicio: octubre 2025

Fecha de finalización: marzo 2026

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:**Equipo de trabajo:**

Tutor del Proyecto: MSc. Freddy Rodrigo Romero Bedón

Postulantes: Sr. Brito Sánchez Bryan Alexander
Sr. Gómez Ushiña Leandro Julián

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables

Sub línea de investigación: Eficiencia energética y protección ambiental

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la generación de energías renovables propone una solución a la necesidad ineludible de energía eléctrica. El consumo de energía sigue subiendo, y eso se ha visto con el paso de los años en la industria. Esta situación hace pensar: ¿cómo se puede almacenar la energía de forma segura y estar listo justo cuando se necesita? Desde el punto de vista de la electromecánica, la respuesta que más convence son los bancos de baterías.

Para que quede claro, un banco de baterías no es solo un montón de pilas juntas. Al contrario, es todo un sistema de ingeniería. Cada componente cumple una función clave para garantizar que la electricidad llegue de forma continua y segura. Su trabajo es muy importante, no solo cuando no hay energía, sino también para poder usar más energía renovable y para que los procesos de las fábricas, que no puedan detenerse, sigan funcionando.

En este trabajo se presenta, tras un análisis profundo de estos sistemas, un documento que les sirva como guía práctica y fácil de entender. La idea es que explique cómo está diseñado un banco de baterías y cómo se utiliza en la vida real.

Para lograrlo, este estudio se enfoca en el diseño real y práctico de un banco de baterías para analizar qué ocurre cuando el sistema trabaja a su máximo. También se analizaron los detalles de su instalación: cuánto espacio ocupa, el peso que tendrá y cómo vamos a controlar la temperatura y asegurar que todo sea seguro. Y para que esto no se quede solo en el papel, todo el proyecto se basó en algo que existe de verdad: el campus de la UTC extensión La Maná. Así, se buscó demostrar, con un ejemplo que tenemos a la mano, cómo esta tecnología puede mejorar la gestión de energía y la seguridad en nuestro propio ambiente.

1.1. Justificación

La implementación de un banco de baterías para un sistema autosustentable en la UTC extensión La Maná propone una respuesta en la que los paneles solares fotovoltaicos ya dibujan siluetas de un futuro más sostenible en su existencia actual, ya que la institución no goza de una verdadera independencia energética fotovoltaica. Para el dimensionamiento de un banco de baterías en modo isla, reside en la necesidad de trascender la optimización para obtener una mejora en el área energética local, pues el dimensionamiento propuesto no es un acto de simple adición de componentes, sino la arquitectura de un ecosistema energético propio, donde el banco de baterías actúa como el reservorio vital, en sintonía con la intermitencia solar que produce entre 4.5 y 5.5 kWh/m² y la demanda fluctuante. Este proceso meticuloso difiere radicalmente de la aproximación superficial de simplemente añadir capacidad, implicando un tejido de cálculos finamente hilados, generación solar disponible y cálculo preciso de la reserva

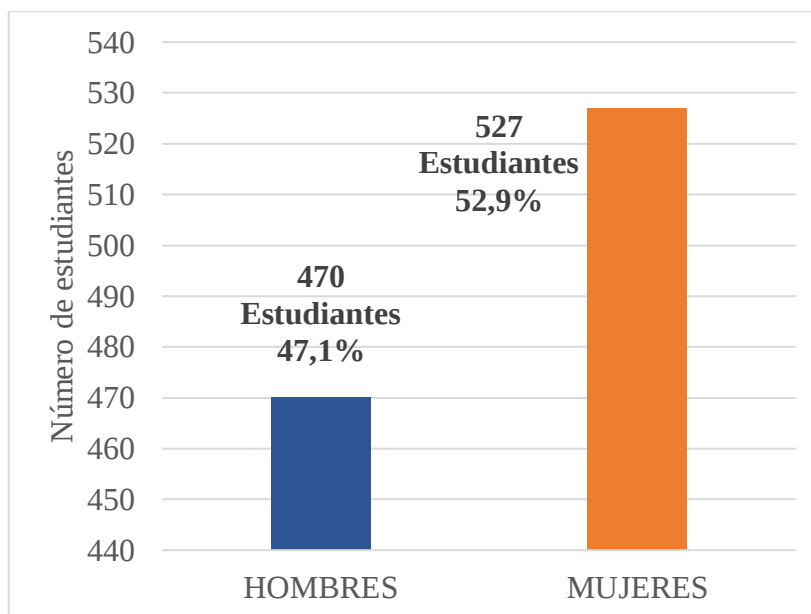
necesaria para que, cuando el sol se oculte, se nuble o la energía eléctrica no abastezca, el suministro eléctrico no se detenga de golpe. La idea de este dimensionamiento es garantizar la ayuda de la energía fotovoltaica del sistema en los momentos más críticos. El estudio detallado de las cargas pico, los perfiles de consumo y la estimación realista de la generación solar no es solo una labor académica, sino la carta de presentación ante el mundo, previendo así la problemática constante de la energía nacional y equipando al sistema con los equipos necesarios para afrontar futuras emergencias eléctricas, incluso cuando el generador primario esté ausente. Implementar un banco de baterías correctamente dimensionado fomenta una cultura energética proactiva que empodera a la institución, transformando la energía de un costo incontrolado en un recurso administrable. La autonomía que brinda esta implementación no solo recompensa una planificación rigurosa al demostrar que la verdadera seguridad se logra con una energía fotovoltaica confiable, sino que también mantiene la estabilidad del sistema. Como autores de esta tesis, estamos convencidos de que solo un dimensionamiento científicamente fundamentado puede convertir el potencial de los paneles existentes en una operación independiente y estable, validando que la inversión en análisis y cálculos detallados para el almacenamiento es el paso lógico e imprescindible para pasar de ser un punto de consumo en la red a convertirse en un nodo energético independiente.

1.2. Beneficiarios del proyecto

1.2.1. Beneficiarios principales

El proyecto de implementación del sistema de iluminación LED eficiente para la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná traerá beneficios directos para un total de 997 estudiantes que constituyen la matrícula activa de la institución, como se observa en la figura 1. Esta población estudiantil refleja una estructura de sexos equilibrada: el número de estudiantes femeninas asciende a 527 personas (52,9%) y el de los estudiantes masculinos a 470 (47,1%). Esta composición asegura que los beneficios del proyecto lleguen de forma equilibrada a ambos sexos de la comunidad universitaria. [1]

Figura 1. Beneficiarios directos por genero de la UTC Extensión La Maná.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

1.2.2. Beneficiarios secundarios

Los beneficiarios indirectos del proyecto se estiman en aproximadamente 300 personas, distribuidas estratégicamente en tres sectores principales, lo que evidencia un impacto social significativo y una proyección comunitaria amplia. Esta cifra no solo representa un número cuantitativo, sino también un alcance cualitativo en términos de integración social, fortalecimiento institucional y dinamización de actividades recreativas y deportivas en la región.

En la Figura 2 se presenta la distribución de estos beneficiarios mediante un gráfico de barras, donde se identifican claramente los grupos involucrados: el personal universitario, conformado por 120 personas; la comunidad local de La Maná, integrada por 150 personas; y el sector privado de la región, representado por 30 personas. Esta representación gráfica permite visualizar de manera comparativa la proporción de impacto en cada segmento, destacando la relevancia del proyecto dentro del entorno comunitario.

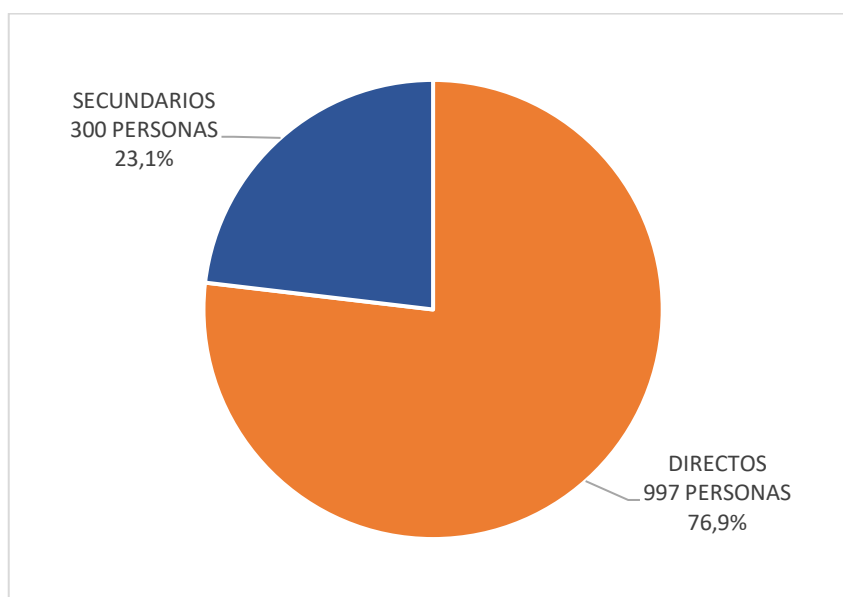
El grupo del personal universitario incluye docentes, personal administrativo y trabajadores de apoyo, quienes podrán hacer uso de las instalaciones o recursos implementados para el desarrollo de actividades académicas complementarias, jornadas deportivas internas, eventos institucionales y programas de integración. Esto contribuye al fortalecimiento del clima organizacional, la promoción del bienestar laboral y el sentido de pertenencia institucional.

Por su parte, la comunidad local de La Maná, que constituye el mayor porcentaje de beneficiarios indirectos, abarca familias de estudiantes, habitantes del sector, organizaciones barriales, agrupaciones juveniles y clubes deportivos. La inclusión de este grupo permite que el proyecto trascienda el ámbito académico, generando espacios de participación comunitaria, convivencia social y promoción de hábitos saludables mediante actividades recreativas y deportivas.

En cuanto al sector privado de la región, los 30 beneficiarios estimados comprenden entrenadores, directivos de organizaciones deportivas, pequeños emprendedores y representantes de entidades que podrían utilizar las instalaciones para competencias, eventos o actividades de carácter formativo.

En conjunto, la distribución de los beneficiarios indirectos demuestra que el proyecto no se limita a un impacto interno, sino que proyecta beneficios hacia el entorno social, educativo y económico de La Maná, consolidándose como una iniciativa con enfoque comunitario, inclusivo y sostenible. Esta ampliación del alcance social refuerza la pertinencia y justificación del proyecto dentro del marco de responsabilidad social universitaria y desarrollo territorial. [2]

Figura 2. Porcentaje de los beneficiarios secundarios y beneficiarios principales.



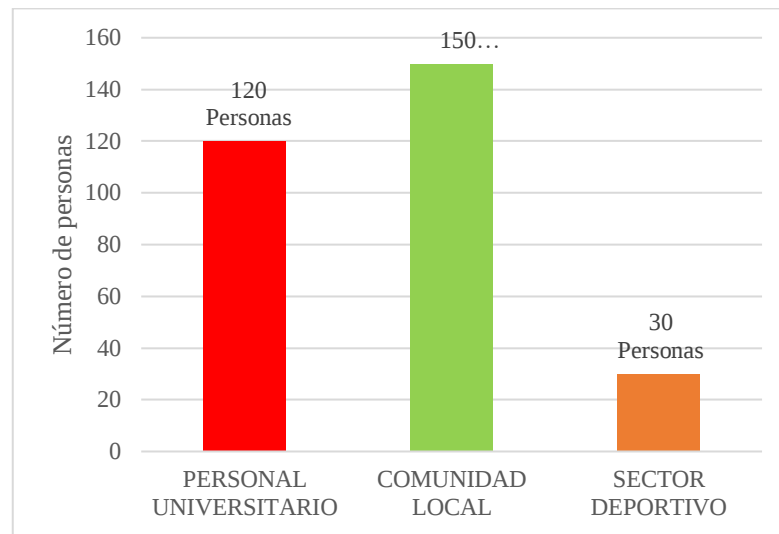
Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

1.2.3. Beneficiarios secundarios por categoría

La figura 3, un gráfico circular que indica un impacto total de 1.297 personas beneficiarias, representa el análisis de la proporción general. Los beneficiarios directos representan la mayoría, con 997 personas (76,9 %), mientras que los beneficiarios indirectos alcanzan a 300

personas adicionales (23,1 %). Esta distribución muestra que la intervención inicialmente considerará un impacto dentro del ámbito universitario, pero posteriormente generará un impacto adicional en el desarrollo social, económico y deportivo de la región, convirtiendo la cancha sintética en un espacio de actividades comunitarias que fortalecerá la relación entre la universidad y la comunidad. [2]

Figura 3. Proporción de beneficiarios.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

1.3. Problema de investigación

1.3.1. Problemática

Aunque la universidad dispone de una fuente de generación limpia y constante durante el día, su impacto se ve restringido por la imposibilidad de acumular y gestionar eficientemente la energía generada. Esta situación reduce el potencial de autonomía energética de la institución y evidencia una dependencia crítica de una red eléctrica nacional que ha demostrado ser inestable.

1.3.2. Problema

La Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, cuenta actualmente con un sistema fotovoltaico de 5 kW instalado con el objetivo de aprovechar una fuente de energía renovable y reducir su dependencia de la red eléctrica nacional. Sin embargo, este sistema solo permite aprovechar la energía generada durante las horas de sol debido a la ausencia de un sistema de almacenamiento que permita utilizarla durante la noche o en situaciones de emergencia, como los frecuentes apagones que afectan al país.

1.3.3. Planteamiento del problema

¿Cómo implementar un banco de baterías que permita continuar operando el sistema fotovoltaico existente en modo isla, asegurando el suministro energético continuo en la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B” especialmente durante la noche y en caso de interrupción del servicio eléctrico?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Implementar un banco de baterías que permita el funcionamiento en modo isla del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, asegurando el suministro eléctrico durante las interrupciones del servicio eléctrico nacional.

2.2. Objetivos específicos

- ❖ Dimensionar la demanda energética de la iluminación de la cancha sintética que se conectará al sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, y la capacidad actual del sistema fotovoltaico instalado.
- ❖ Diseñar el sistema de almacenamiento de energía de la fuente de generación fotovoltaica para el consumo de la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, en función de criterios técnicos, económicos y de seguridad.
- ❖ Implementar el sistema de almacenamiento de energía en modo isla del sistema de generación fotovoltaica, considerando las condiciones operativas y climáticas del entorno.

2.3. Actividades y sistema de tareas relacionados con los objetivos planteados

En la tabla 1 se muestran las actividades desarrolladas, teniendo en cuenta los objetivos planteados en el proyecto.

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.

Objetivos	Actividades	Resultado de las actividades	Metodología
Determinar la capacidad y la demanda energéticas de la infraestructura de una carga puntual	❖ Recolectar datos necesarios para los cálculos de capacidad y demanda energética de las cargas puntuales.	❖ Se creó una hoja de cálculos con la obtención de los parámetros eléctricos que	❖ Recolectar los datos necesarios mediante el uso correcto de los instrumentos y

que se conectará a nuestro sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”.	nos servirán equipos de para el sistema trabajo para los autónomo. cálculos correspondiente s y necesarios para la obtención de resultados de las cargas puntuales a realizarse, por ejemplo: Cancha Sintética.
Diseñar el sistema de almacenamiento de energía de la generación fotovoltaica para el consumo de las cargas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, en función de criterios técnicos, económicos y de seguridad.	❖ Establecer la ubicación correcta de la instalación en el centro de carga. ❖ Dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de la fuente de generación fotovoltaica. ❖ Elaborar la lista de materiales y equipos que deberán instalarse (Factura proforma). ❖ Se tomaron fotos del lugar donde se ubicará el proyecto. ❖ Obtención del plano, tanto en formato físico como virtual, con los componentes necesarios. ❖ Realizar una tabla comparativa de locales comerciales para tener el conocimiento ❖ Inspección en el lugar donde se va a colocar el proyecto; se tomarán medidas y se previsualizará el diseño final. ❖ Elaboración del proyecto mediante plataformas de dimensionamiento y visualización; trabajamos con AutoCAD.

				del presupuesto	❖	Realizar
				a invertir para	el	análisis
				la elaboración	técnico	
				del proyecto.	económico.	
Implementar el sistema almacenamiento de energía en modo isla del sistema de generación fotovoltaica considerando las condiciones operativas y climáticas del entorno.	❖	Instalación de los componentes eléctricos en modo isla, junto con el sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”.	❖	Nuestro resultado fue la obtención del sistema eléctrico independiente del sistema energético nacional.	❖	Establecer un sistema eléctrico en modo isla dependiente de la energía solar, beneficiando así a las oficinas establecidas.
	❖	Conexión a las cargas puntuales establecidas en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”.				
		❖	Entrega del proyecto a las autoridades de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná.			

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3. MARCO TEÓRICO

Los bancos de baterías o acumuladores son importantes para almacenar la energía generada por los paneles solares y así suministrarla cuando no hay luz solar, y para contar con un sistema autosustentable, independiente de la red eléctrica nacional, evitando así problemas de producción durante apagones.

3.1. Sistema fotovoltaico

Es el conjunto de componentes diseñados para captar la energía del sol y transformarla en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. El proceso se lleva a cabo principalmente mediante paneles solares, que convierten la energía solar en corriente continua (CC), la cual puede

transformarse en corriente alterna (CA) para su uso en hogares, empresas, microempresas, etc. Se observa un conjunto de sistemas fotovoltaicos en la figura 4.[3]

3.2. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Los tipos de sistemas fotovoltaicos se componen de los siguientes puntos:

3.2.1. Conectados a red

Estos funcionan en paralelo con la red eléctrica, permitiendo así el autoconsumo y la venta de excedentes de energía. [4]

Figura 4. Sistema fotovoltaico.



Fuente: [4]

3.2.2. Que es un sistema Autónomo o aislado

Este sistema no dependerá de la red eléctrica y, generalmente, se utilizará un acumulador de energía o un banco de baterías para almacenar la energía generada por la radiación y asegurar el suministro en suministro de electricidad.

3.3. Comparación del sistema fotovoltaico conectado a red y del sistema fotovoltaico aislado

A continuación, se presenta la tabla 2 en la cual se presenta la comparación que tiene un sistema conectado a la red eléctrica y otro siendo un sistema aislado de la misma.[5]

Tabla 2. Comparativa de los sistemas conectados a la red eléctrica y sistemas aislados.

Característica	Conectado a red	Aislado (Off-Grid)
Conexión a red eléctrica	Integrado a la red publica	Funciona de manera independiente.
Almacenamiento (baterías)	No es necesario	Requiere baterías para su autonomía.
Autonomía energética	Baja	Alta
Flexibilidad de ubicación	Limitada a zonas de acceso a red	Alta, ideal para zonas remotas sin acceso a red.
Inversión inicial	Generalmente menor	Generalmente mayor
Mantenimiento	Bajo	Mayor, por gestión y reemplazo de baterías
Suministro en apagones	No funciona	Funcionamiento normal
Gestión de excedentes	Puede inyectar excedentes a la red y recibir pagos	No puede vender excedentes, solo autoconsumo
Complejidad de diseño	Menor, diseño más sencillo	Mayor, requiere dimensionamiento preciso de baterías
Rentabilidad económica	Alta, por compensación	Variable, depende del uso y apoyos disponibles
Aplicaciones típicas	Viviendas urbanas, empresas, zonas con red	Casas rurales, granjas, refugios, lugares remotos

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

Mediante esta tabla se pudieron identificar e interpretar las ventajas y desventajas de ambos sistemas fotovoltaicos.

❖ En la tabla 3, se muestran las ventajas y desventajas de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica nacional.

Tabla 3. Ventajas – desventajas, sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica.

Ventajas				Desventajas	
❖	Menor inversión inicial	y		❖	No garantiza suministro en caso de fallos en la red pública.
❖	Posibilidades de inyectar excedentes y recibir compensación económica.			❖	Dependencia total de la red.
❖	Suministro eléctrico continuo gracias al respaldo de la red.			❖	Menor autonomía energética.

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

❖ A continuación, se presentan las ventajas y desventajas del sistema fotovoltaico asilado como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Ventajas – desventajas de un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica.

Ventajas				Desventajas	
❖	Total, independencia de la red.			❖	Mayor inversión por componentes y mantenimientos.
❖	Suministro garantizado en cualquier ubicación.			❖	No puede vender excedentes de energía.
❖	Funcionamiento normal durante apagones y cortes de red.			❖	Limitación de energía por capacidad de almacenamiento.

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

Los sistemas fotovoltaicos ya mencionados dependerán de los factores como la ubicación, el presupuesto, la necesidad de autonomía y la posibilidad de acceso a la red eléctrica.[6]

3.4. Elementos de un sistema fotovoltaico

Conformado por varios componentes esenciales que, al trabajar en conjunto, captan la energía solar y la transforman en electricidad. [5]

En la tabla 5, se muestra los elementos de un sistema de almacenamiento fotovoltaico.

Tabla 5. Los principales elementos de un sistema fotovoltaico.

Elemento	Descripción
Paneles solares	Componente primordial del sistema, constituido por células solares que convierten la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. [7], [8]
Inversor	Dispositivo encargado de convertir la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), la cual es utilizada por la mayoría de los aparatos eléctricos. [7], [8]
Controlador de carga	Regula el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías y el sistema de consumo, evitando sobrecargas y sobredescargas que puedan afectar la vida útil del sistema. [7], [8]
Baterías (sistema fotovoltaico autónomo)	Almacenan la energía eléctrica generada para su uso posterior, especialmente durante períodos sin radiación solar.
Estructuras	Permiten la correcta fijación, inclinación y orientación de los paneles solares para maximizar la captación de radiación solar. [7], [8]
Cableado y conectores	Garantizan una conexión eléctrica segura, eficiente y confiable entre los diferentes componentes del sistema fotovoltaico. [7], [8]

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.4.1. Protecciones eléctricas y material de seguridad

Las protecciones eléctricas y el material de seguridad constituyen un componente fundamental dentro del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico, ya que garantizan la integridad de los equipos, la continuidad del servicio y, principalmente, la seguridad de las personas. Estos elementos incluyen dispositivos como fusibles, interruptores termomagnéticos, interruptores diferenciales, pararrayos, barras de puesta a tierra, así como equipos de protección personal tales como guantes dieléctricos, gafas de protección, señalética de riesgo eléctrico y extintores adecuados para fuegos de origen eléctrico.

Los fusibles cumplen la función de proteger los conductores y equipos frente a sobrecorrientes, interrumpiendo el circuito cuando la corriente supera el valor nominal establecido. Por su parte, los interruptores termomagnéticos brindan protección contra sobrecargas prolongadas (efecto térmico) y cortocircuitos (efecto magnético), asegurando una desconexión rápida ante fallas que podrían comprometer la instalación. Los interruptores diferenciales protegen frente a

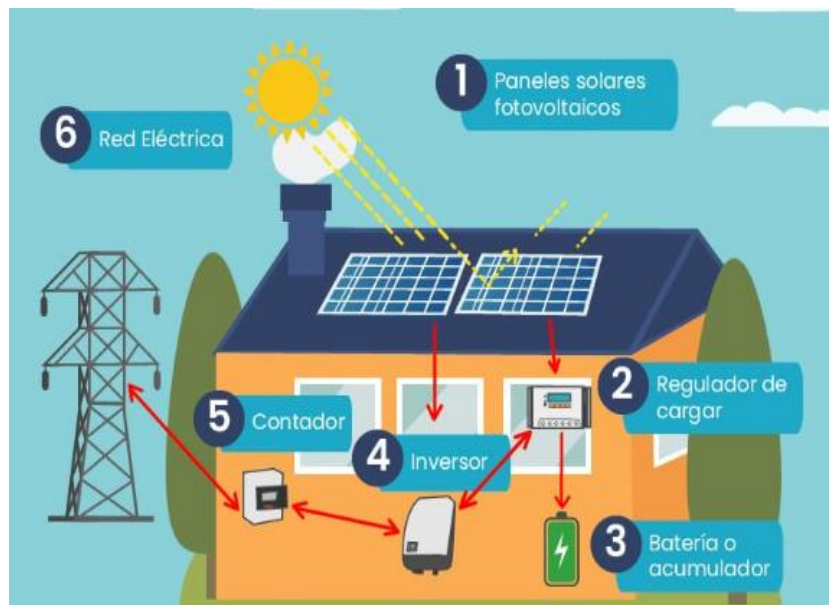
contactos directos e indirectos, detectando corrientes de fuga a tierra y desconectando el sistema cuando se supera el umbral de seguridad establecido, reduciendo significativamente el riesgo de electrocución [7], [8].

En sistemas fotovoltaicos, especialmente en instalaciones expuestas al ambiente, la incorporación de pararrayos y sistemas de puesta a tierra es indispensable. La puesta a tierra permite derivar corrientes de falla o descargas atmosféricas hacia el suelo, estabilizando el potencial eléctrico del sistema y protegiendo tanto los equipos como a los usuarios. Asimismo, las barras de puesta a tierra garantizan una correcta equipotencialidad entre las estructuras metálicas, marcos de paneles e inversores, minimizando diferencias de potencial peligrosas.

Complementariamente, el uso de equipos de protección personal (EPP) como guantes dieléctricos y gafas de seguridad resulta esencial durante las labores de instalación y mantenimiento. La señalética de riesgo eléctrico cumple una función preventiva, alertando sobre la presencia de tensión eléctrica y restringiendo el acceso a personal no autorizado. Los extintores de clase C, diseñados para fuegos eléctricos, permiten actuar de manera inmediata ante un conato de incendio sin generar riesgos adicionales por conducción eléctrica [7], [8].

En la Figura 5 se aprecian los elementos que conforman el sistema fotovoltaico, incluyendo los dispositivos de protección y seguridad mencionados, lo que permite comprender de manera integral la estructura y disposición de sus componentes. [9].

Figura 5. Elementos que componen un sistema fotovoltaico.



Fuente: [7]

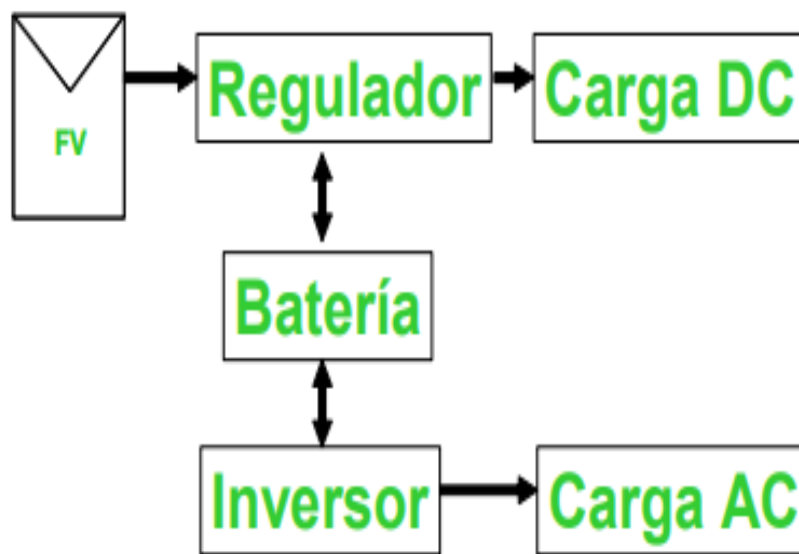
3.5. Sistema fotovoltaico autónomo.

Los sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados, también conocidos como sistemas fuera de la red (**off-grid**), son completamente independientes de la red eléctrica.[8].

Genera y almacena electricidad para su uso principalmente en viviendas, proporcionando energía en zonas remotas o aisladas donde el acceso a la red eléctrica no está disponible o es inestable. Mayoritariamente en viviendas sin acceso a la red eléctrica, pero también en sistemas de iluminación autónoma (farolas solares), vehículos eléctricos, bombeo mediante energía solar y misiones espaciales.[9]

En la figura 6 observamos el esquema de funcionamiento desde el panel solar hasta los distintos tipos de cargas AC y DC.[10]

Figura 6. Esquema general básico de un sistema fotovoltaico autónomo.



Fuente: [10]

3.6. Importancia del banco de baterías o del acumulador en el sistema fotovoltaico y su mantenimiento.

Su importancia radica en que es el componente encargado de almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares para su uso posterior. Dado que es una parte esencial del sistema fotovoltaico, debe mantenerse correctamente. Las baterías están sujetas y expuestas a desgastes naturales que pueden afectar su rendimiento con el paso del tiempo. Es importante

inspeccionarlas periódicamente y mantenerlas en buen estado para maximizar su eficiencia.[11], [12]

3.6.1. Un mantenimiento adecuado incluye:

- ❖ Comprobar los niveles de electrolito de las baterías de plomo-ácido abiertas.
- ❖ Controlar la tensión de circuito abierto a intervalos regulares mediante un tester o un multímetro que, además de detectar corriente alterna, también detecte corriente continua. [12]
- ❖ Asegurarse de que no haya signos de corrosión en los terminales de las baterías. [12]

3.7. Fundamentos de almacenamiento energético con baterías

Las baterías para paneles solares o para sistemas fotovoltaicos, mejor conocidas como sistemas de almacenamiento de energía por baterías (BESS, por sus siglas en inglés Battery Energy Storage System), son uno de los elementos más importantes de un sistema de energía solar; independientemente de si son aisladas o están interconectadas a la red, ya que son las encargadas de almacenar la energía que se genera a través de los paneles solares, como se muestra en la figura 7. [11]

3.8. Tipos de baterías

Existen varios tipos de baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos, cada una con sus características, aplicaciones y ventajas. Las más usuales o comunes son las baterías de plomo-ácido, baterías de litio, baterías de gel y baterías estacionarias. Como se presenta a continuación en la tabla 6. [13]

Tabla 6. Tipos de baterías y su composición.

Tipo de batería	Componentes principales y descripción
Litio	Está compuesta por un ánodo, que actúa como material negativo liberando electrones durante la descarga; un cátodo, que funciona como material positivo receptor de electrones; un electrolito de litio, encargado del transporte de iones entre los electrodos; y un separador, cuya función es evitar el contacto directo entre ánodo y cátodo, previniendo cortocircuitos.
Gel	Conformada por placas positivas y negativas que actúan como materiales activos en la generación de corriente eléctrica; un gel de sílice que inmoviliza el electrolito, evitando derrames y

mejorando la seguridad; y separadores que aíslan las placas para prevenir cortocircuitos internos.

Plomo-ácido Constituida por placas de plomo (Pb) que funcionan como electrodos mediante reacciones químicas para producir electricidad; ácido sulfúrico (H_2SO_4) como electrolito líquido que permite el flujo de iones; y separadores que impiden el contacto directo entre placas de polaridad opuesta.

***Fuente:** Brito B. & Gómez L. (2026)*

En la figura 7 se observa la implementación física del sistema de almacenamiento. El banco está constituido por cuatro baterías de [indicar capacidad, ej. 200Ah] conectadas en un arreglo [serie/paralelo] para alcanzar un voltaje de bus DC de [indicar voltaje, ej. 24V]. Se utilizaron conductores de calibre [indicar calibre] para minimizar las caídas de tensión por efecto Joule, considerando las corrientes de descarga máximas exigidas por el sistema de iluminación de la cancha sintética.

Figura 7. Almacenamiento de energía generada por paneles solares.

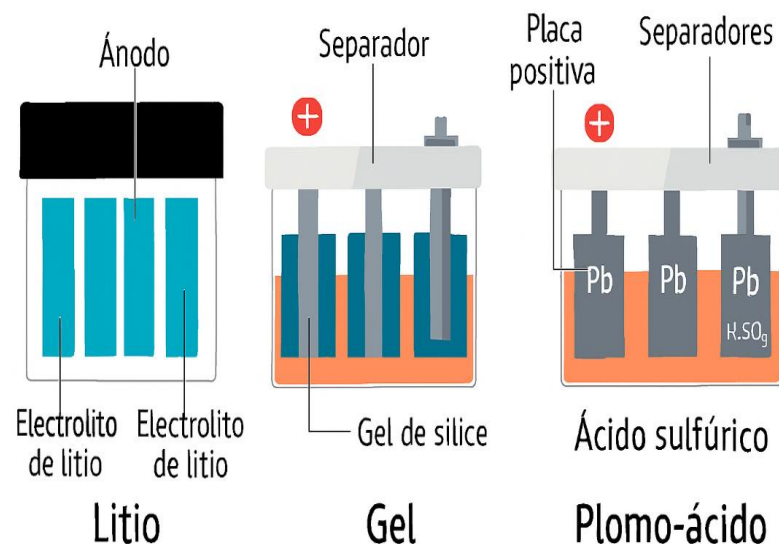


***Fuente:** Brito B. & Gómez L. (2026)*

Como se ilustra en la figura 8, las tecnologías de almacenamiento presentan diferencias químicas críticas. Para el sistema implementado en la cancha sintética, se seleccionó la tecnología de gel debido a su electrolito inmovilizado (gel de sílice), el cual ofrece una mayor

resistencia a las vibraciones y, fundamentalmente, un mejor desempeño ante las altas temperaturas promedio de La Maná (27°C) en comparación con las baterías de Plomo-ácido convencionales, reduciendo el riesgo de gasificación y pérdida de electrolito.

Figura 8. Composición de diferentes tecnologías de baterías de Litio, Plomo-ácido y Gel. [13]



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.9. Tabla comparativa de baterías.

Como se observa en la tabla 7, aunque las baterías de Litio ofrecen una vida útil superior (>6000 ciclos), se seleccionó la tecnología de gel para el proyecto en la cancha sintética. Esta decisión se fundamenta en su equilibrio entre costo medio y bajo mantenimiento, siendo una solución robusta para las condiciones climáticas de La Maná, donde la humedad relativa es alta y se requiere un sistema que no emita gases corrosivos en espacios con ventilación limitada. por tres razones fundamentales:

- ❖ **Resiliencia Térmica y Seguridad:** A diferencia de las baterías de plomo-ácido abiertas, las baterías de GEL utilizan un electrolito inmovilizado que impide la estratificación del ácido y minimiza la gasificación. En el entorno de La Maná, caracterizado por temperaturas promedio de 27°C y alta humedad, esta característica es vital para evitar el mantenimiento frecuente (relleno de agua destilada) y garantizar la seguridad en el gabinete de control, el cual carece de ventilación forzada activa.
- ❖ **Optimización del Ciclo de Vida:** Aunque las baterías de Litio (LiFePO₄) presentan una profundidad de descarga (DoD) superior y una vida útil significativamente más larga (>6000

ciclos), su costo inicial superaba el presupuesto asignado para este proyecto social. La tecnología de GEL, con una vida útil de hasta 1200 ciclos al 50-60% de descarga, ofrece un tiempo de amortización coherente con la vida útil proyectada de las luminarias LED de la cancha.

❖ **Rendimiento en Modo Isla:** Dado que el objetivo primordial es operar en modo isla, el sistema requiere una reserva de energía capaz de soportar la intermitencia solar típica de la zona. La capacidad de recuperación de las baterías de GEL tras descargas profundas accidentales y su baja tasa de autodescarga aseguran que, incluso tras varios días de baja irradiación (días nublados en Cotopaxi), el sistema mantenga la integridad química de sus celdas.

Tabla 7. Comparación de las diferentes baterías de almacenamiento fotovoltaico.

Tipo de batería	Mantenimiento	Vida útil (ciclos)	Profundidad de descarga	Costo	Aplicaciones principales
Plomo-ácido abierta	Alto	300-500	60%	Bajo	Pequeñas, bajo presupuesto
AGM	Bajo	500-1000	60%	Medio	Exigentes, móviles, caravanas
GEL	Bajo	800-1200	60%	Medio	Consumo bajo, espacios sin ventilación
Estacionarias OPzS/OPzV	Variable	3000+	80%	Alto	Grandes, uso intensivo, aisladas
Litio	Nulo	6000+	80-100%	Alto	Exigentes, domésticas, industriales

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.10. Aplicaciones de un sistema fotovoltaico autónomo

Sus aplicaciones son muy variadas y resultan especialmente valiosas en zonas remotas o donde el acceso a la red eléctrica resulta difícil o costoso.

Entre sus aplicaciones contamos con las más comunes:[14]

- ❖ Iluminación pública en zonas rurales.[14]
- ❖ Electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica.[14]
- ❖ Aplicaciones agrícolas, como el bombeo de agua y los sistemas de riego.[14]

Se puede apreciar el uso más frecuente de este sistema en la Figura 9.[15]

Figura 9. Inclusión de un sistema de riego en plantas mediante un sistema fotovoltaico autónomo.



Fuente: [15]

3.11. Ciclos (Vida útil)

Se refiere al proceso completo de descarga y posterior carga de una batería, fundamental para su funcionamiento en sistemas fotovoltaicos. Un ciclo abarca desde que la batería suministra energía (descarga) hasta que se recarga por completo.[11]

Se puede determinar la carga en el ciclado de la batería por etapas:

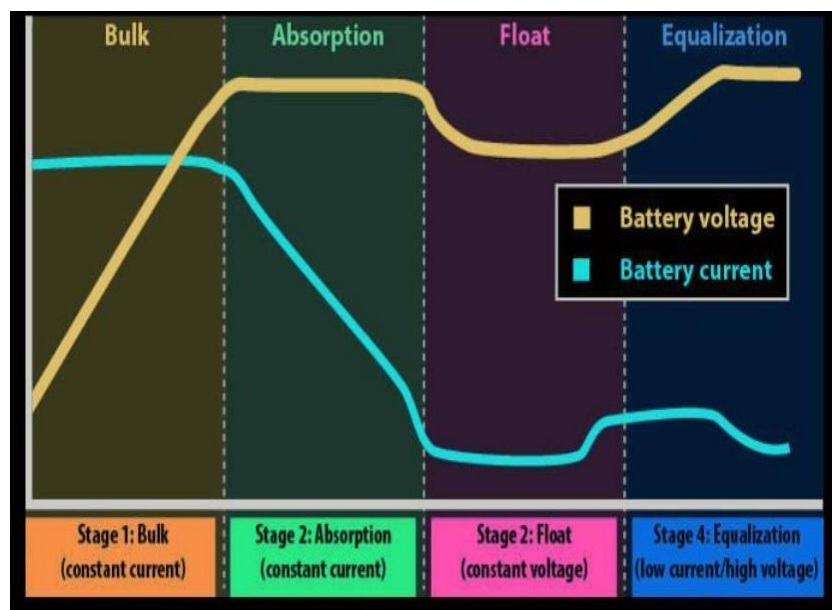
- ❖ **Carga inicial (Bulk):** En esta fase, se aplica la máxima corriente constante que la batería puede aceptar, lo que hace que su voltaje aumente rápidamente hasta alcanzar un límite preestablecido (voltaje de absorción).

- ❖ **Absorción:** Una vez alcanzado el voltaje de absorción, este se mantiene constante, mientras que la corriente comienza a disminuir gradualmente a medida que la batería se acerca a su carga completa (aproximadamente 100%).
- ❖ **Flotación:** La batería está completamente cargada. Se reduce el voltaje a un nivel más bajo y constante, proporcionando solo la corriente necesaria para compensar la autodescarga y mantenerla al 100% de su capacidad.
- ❖ **Carga de ecualización (si corresponde):** Una etapa periódica utilizada para equilibrar los niveles de carga entre celdas individuales en baterías de plomo-ácido inundadas.[16]

3.12. Dimensionamiento de un banco de baterías para un sistema fotovoltaico.

Es fundamental para garantizar que el sistema fotovoltaico autónomo pueda almacenar suficiente energía para cubrir el consumo durante períodos sin generación solar, manteniendo así la vida útil de las baterías.

Figura 10. Etapas principales del proceso de carga de una batería.



Fuente: [17]

- ❖ En la tabla 8 se muestra una inspección técnica y verificación física integral del banco de baterías una vez concluida la fase de montaje. Este procedimiento permitió validar la integridad de los componentes, confirmando la ausencia de anomalías como sulfatación, humedad o corrosión en los terminales. Asimismo, se constató que la disposición física y el torque de las conexiones aseguran un contacto eléctrico óptimo, mitigando riesgos de caídas de tensión o puntos calientes antes de la puesta en marcha definitiva. [17]

Tabla 8. Parámetros para un dimensionamiento de un banco de baterías.

Parámetro	Descripción
Consumo energético diario	Energía total que se espera consumir en un día, expresada en Wh (vatios-hora) o kWh (kilovatios-hora).
Horas de autonomía	Número de días que el sistema debe operar sin generación solar, generalmente entre 2 y 5 días, con el fin de garantizar un respaldo energético adecuado.
Profundidad de descarga (DoD)	Porcentaje máximo de energía que puede extraerse de la batería sin afectar su vida útil; se recomienda no superar un 20 % de descarga diaria y un máximo estacional del 70 %.
Voltaje del sistema	Parámetro que define la configuración del banco de baterías, ya sea en serie para incrementar el voltaje o en paralelo para aumentar la capacidad.
Eficiencia del sistema	Considera las pérdidas asociadas a los procesos de carga, descarga y conversión de energía, con valores típicos cercanos al 90 %. [21], [22]

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.13. Fórmulas para el dimensionamiento de un banco de baterías

Utilizamos dos fórmulas que nos serán de utilidad para el dimensionamiento:[18]

3.13.1. Capacidad del banco de baterías

La Ecuación 1. Es la fórmula básica para calcular la capacidad requerida del banco de baterías, tomada de [1].

$$\text{Capacidad requerida (Wh)} = \frac{\text{Consumo diario (Wh)} * \text{Días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga} * \text{eficiencia}} \quad (1)$$

3.13.2. Capacidad en amperios-hora (Ah)

La Ecuación 2. Es la fórmula para obtener la capacidad en amperios-hora (Ah), tomada de [1].

$$\text{Capacidad (Ah)} = \frac{\text{Capacidad requerida (Wh)}}{\text{Voltaje del sistema (V)}} \quad (2)$$

3.14. Condiciones técnicas y de seguridad

Las condiciones técnicas y de seguridad en un banco de baterías de un sistema fotovoltaico autónomo son fundamentales para garantizar la eficiencia, la vida útil y la protección tanto del sistema como de los usuarios [19].

3.14.1. Condiciones Técnicas

Aborda el dimensionamiento y selección del banco de baterías para operar en modo isla. Para determinar la capacidad adecuada, es esencial analizar factores clave como el perfil de carga (consumo promedio diario), la radiación solar disponible y la temperatura del sitio.

3.14.2. Dimensionamiento y selección

Para implementar el banco de baterías, es necesario calcular la capacidad adecuada. Esto permite determinar el perfil de carga (consumo promedio diario), la radiación solar y la temperatura del sitio. Este cálculo se realiza considerando los días de autonomía y el límite de descarga permitido, que normalmente suele ser un máximo de 20% diario y 80% estacional para asegurar la vida útil de las baterías.[19]

La Ecuación 3. Es la fórmula básica para determinar la capacidad del banco de baterías, tomada de [19].

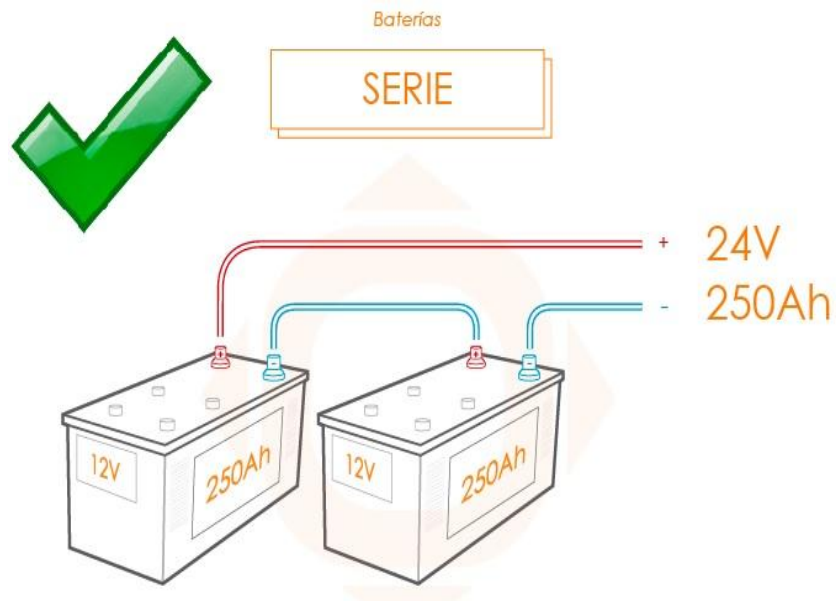
$$C_T = \frac{C_d \cdot D_a}{P_d} \cdot V \cdot f_s \quad (3)$$

Donde:

- **Ct:** Capacidad Total
- **Cs:** Consumo diario
- **Da:** Días de autonomía
- **Pd:** Profundidad de descarga
- **V:** Voltaje
- **Fs:** Factor de seguridad

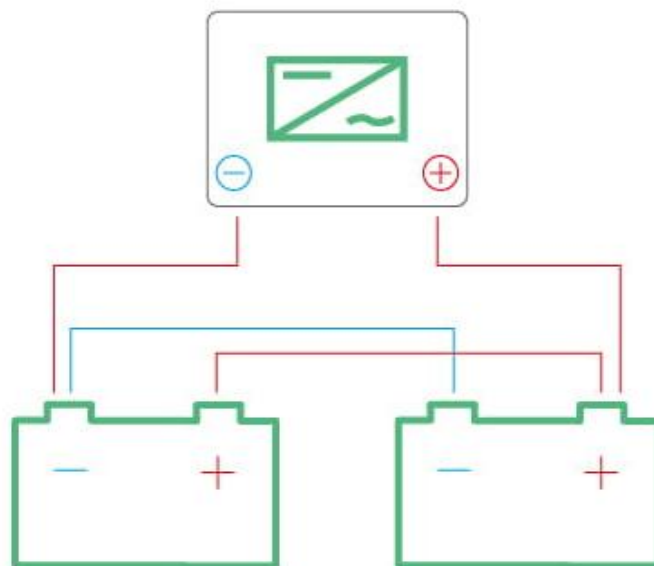
Estos cálculos permitieron determinar la capacidad nominal requerida en Amperios-hora. Este cálculo se fundamenta en la relación entre la demanda energética diaria y los días de autonomía previstos, ajustados por el voltaje nominal del sistema, como se indica en las figuras 11 y 12 [20] [21].

Figura 11. Conexión en serie de baterías solares.



Fuente: [20]

Figura 12. Conexión de paralelo de baterías solares.



Fuente: [21]

3.15. Almacenamiento y regulación de energía

3.15.1. Cálculo de la capacidad de la batería

El dimensionamiento del sistema de almacenamiento resulta crítico para garantizar el suministro continuo de energía durante períodos de baja o nula radiación solar. La capacidad requerida se determina mediante:

La Ecuación 4. Es la fórmula que se utiliza para calcular la Capacidad de baterías, tomada de [2].

$$C = \frac{E_{consumo} * N_{autonomía}}{V_{sistema} * DOD} \quad (4)$$

Donde:

C = Capacidad de la batería (Ah)

$E_{consumo}$ = Consumo energético diario (Wh)

$N_{autonomía}$ = Días de autonomía requeridos

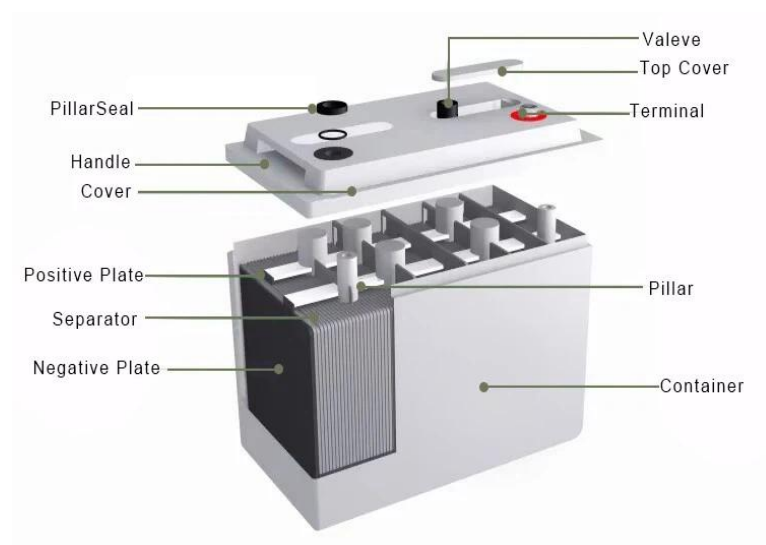
$V_{sistema}$ = Voltaje nominal del sistema (V)

DOD = Profundidad de descarga permisible (0.8 para batería de gel)

3.15.2. Composición de la batería

En la figura 13, se observa la composición de la batería de gel.

Figura 13. Batería de iones de gel de 12V con su estructura interna y terminales de conexión.



Fuente: [21]

3.15.3. Monitoreo de parámetros

Tener un monitoreo adecuado del banco de baterías es esencial para asegurar un óptimo rendimiento y prolongar su vida útil. Es importante tener en cuenta: el estado de carga, el voltaje, la temperatura, las corrientes de carga y descarga como también la resistencia interna. Esto nos va a ayudar a prevenir daños por sobrecargas o descargas profundas también nos ayuda a anticipar posibles fallos. Lo más ideal es usar sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real para que registren estos parámetros y alerten sobre cualquier condición fuera de los rangos seguros.[22]

3.15.4. Gestión de carga y descarga

Para lograr esto, se utilizan controladores de carga con algoritmos MPPT (Maximum Power Point Tracking). Estos controladores gestionan eficientemente los ciclos de carga en tres etapas. Este proceso nos garantiza que las baterías reciban la cantidad adecuada de energía, lo que previene daños.

Es fundamental que la carga y descarga de las baterías cumpla con las especificaciones del fabricante. Si no nos regimos a las indicaciones dadas por el fabricante puede provocar consecuencias a futuro cómo: ciclos de carga cortos o sobrecargas, lo que acortaría a vida útil de las baterías.[19]

3.15.5. Gestión energética

La gestión energética es crucial para maximizar la eficiencia y autonomía del banco de baterías, esto implica un equilibrio dinámico entre la generación de energía solar, el almacenamiento en las baterías y el consumo de los equipos. Contar con sistemas de supervisión y control es indispensable. Estos sistemas te permiten ajustar la carga y la descarga en tiempo real, mejorando así el uso de la energía almacenada y previniendo situaciones críticas que podrían dañar el sistema.[23]

3.16. Distribución eléctrica y sistemas de conectividad

3.16.1. Dimensionamiento del cableado

La distribución eléctrica debe minimizar las pérdidas resistivas mientras garantiza seguridad operacional. La resistencia de los conductores se calcula mediante:

La Ecuación 5. Es la fórmula que se utiliza para el cálculo de la resistencia de cable, tomada de [2].

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (5)$$

Donde:

R = Resistencia del cable (Ω)

ρ = Resistividad del material conductor ($1.68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ para cobre)

L = Longitud del cable (m)

A = Área de la sección transversal (mm^2)

Figura 14. Tabla de amperajes para cables de cobre AWG.

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Fuente: [24]

3.17. Condiciones de Seguridad

3.17.1. Seguridad en la instalación y mantenimiento:

Es importante seguir un orden estricto al conectar el banco de baterías, siempre y cuando tengamos en cuenta su polaridad para evitar cortocircuitos o daños irreversibles, tanto en las baterías como en el resto del sistema. Usar cables con el calibre recomendado para su funcionamiento, mantener todo limpio y libre de corrosión; así evitaremos pérdidas de eficiencia a futuro. Incluir protecciones automáticas para evitar daños por sobrecarga o descarga excesiva, lo que podría reducir la vida útil de las baterías.[25]

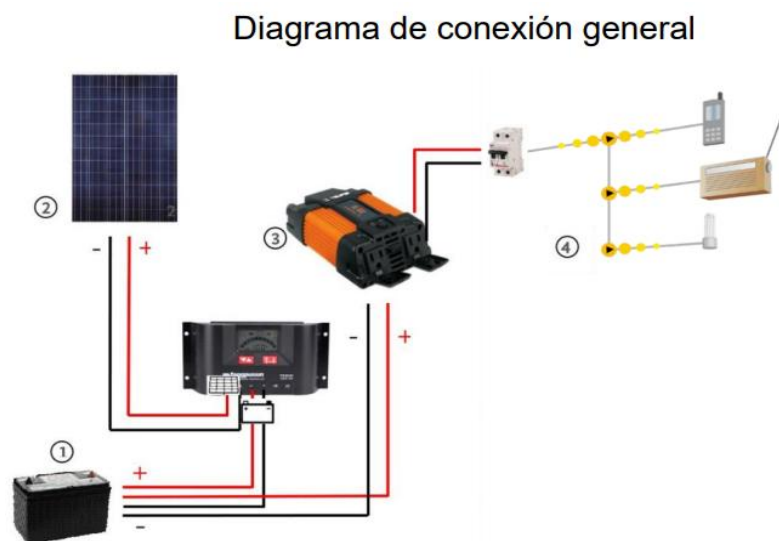
Figura 15. Sistema aislado de red.



Fuente: [25]

- ❖ En la figura 15 se observa cómo debe ser la conexión general de un sistema aislado.

Figura 16. Diagrama de conexión general de un sistema aislado de red.



Fuente: [26]

Se debe considerar que la instalación del banco de baterías debe realizarse en un lugar lo suficientemente ventilado como para evitar la acumulación de gases explosivos que pueden liberarse durante la carga. Utilizar señalización de emergencia para identificar y actuar con rapidez.[27]

3.17.2. Consumo de energía de las luminarias

La Ecuación 6. Es la fórmula para calcular el consumo de energía de la iluminación, tomada de [2].

$$E_{iluminacion} = P_{led} * t \quad (6)$$

Donde:

E iluminación = Energía consumida por iluminación (Wh)

P led = Potencia de los LEDs (W)

T = Tiempo de funcionamiento (h)

3.18. Protección contra riesgos eléctricos:

En el sistema del banco de baterías es recomendable implementar sistemas de apagado rápido. Estos dispositivos son muy importantes para reducir el riesgo de electrocución.[27]

Tener en cuenta que el sistema debe contar con un circuito de puesta a tierra que cumpla con las normativas de la NFPA 70 (National Fire Protection Association). Esta medida es fundamental para prevenir choques eléctricos por contacto indirecto, protegiendo tanto a las personas como al equipo [28].

3.18.1. Protección y seguridad del sistema

El sistema incorpora múltiples niveles de protección:

- ❖ Fusibles: Protección contra sobrecorrientes con valores calibrados al 125% de la corriente nominal.
- ❖ Disyuntores: Protección contra cortocircuitos con respuesta rápida (<1 segundo).
- ❖ Protección contra sobretensión: limitadores de tensión para proteger componentes electrónicos.
- ❖ Protección contra polaridad inversa: diodos de bloqueo para prevenir daños por conexiones incorrectas.

En la figura 17 se observa la composición de un panel de protección eléctrica.[29]

Figura 17. Panel de protecciones eléctricas contra sobretensión.



Fuente: [29]

3.19. Seguridad para las personas

Para garantizar un uso seguro y adecuado del sistema, es obligatorio que el personal técnico cuente con EPP (Equipo de Protección Personal) apropiado para trabajos eléctricos. La utilización de estos elementos no solo cumple con disposiciones normativas de seguridad ocupacional, sino que también reduce significativamente el riesgo de accidentes derivados de contactos eléctricos directos e indirectos. Entre los elementos esenciales se incluyen guantes aislantes dieléctricos, diseñados para soportar determinados niveles de tensión; calzado de seguridad con suela aislante, que evita la circulación de corriente a través del cuerpo hacia tierra; y el uso de herramientas con aislamiento certificado, que disminuyen la probabilidad de descargas durante maniobras de instalación, mantenimiento o verificación del sistema [29].

Los guantes aislantes deben cumplir con estándares específicos de resistencia eléctrica según la clase de tensión de trabajo, además de encontrarse en perfecto estado físico, libres de perforaciones o desgaste. De igual manera, el calzado debe poseer propiedades antideslizantes y dieléctricas, garantizando estabilidad y aislamiento simultáneamente. Las herramientas aisladas, por su parte, deben contar con certificación para trabajos eléctricos y estar claramente identificadas para evitar su sustitución por herramientas convencionales.

Adicionalmente, es imprescindible que el personal reciba capacitación continua en materia de seguridad eléctrica, considerando que los sistemas fotovoltaicos pueden generar tensión incluso en ausencia de suministro de red, debido a la radiación solar incidente sobre los módulos. La

formación debe abarcar el reconocimiento de riesgos eléctricos, procedimientos seguros de desconexión, manipulación y mantenimiento de baterías especialmente en lo relacionado con riesgos de cortocircuito, emisión de gases o derrame de electrolito y la aplicación de protocolos de emergencia en caso de descargas eléctricas, incendios o fallas del sistema [30].

La correcta preparación del personal no solo reduce la probabilidad de incidentes, sino que también fortalece la cultura de prevención dentro del entorno laboral. En la Figura 17 se representa el uso adecuado del equipo de protección y las prácticas seguras asociadas al manejo del sistema fotovoltaico [30].

A continuación, se presenta figura 18 y la Tabla 9, en la que se detallan las especificaciones técnicas que deben cumplir los EPP para trabajos eléctricos, incluyendo niveles de aislamiento, normativas de referencia, materiales de fabricación y criterios de inspección periódica.

Figura 18. EPP para trabajos eléctricos.



Fuente: [30]

Tabla 9. Especificaciones de los EPP para trabajos eléctricos.

EPP necesario en su carrera	Descripción	Función primordial	Requerimientos mínimos de seguridad	Leyes y reglamentos
Casco de seguridad	Protector rígido para la cabeza, ajustable.	Proteger el cráneo de impactos y objetos que caen.	Resistencia a impactos, dieléctrico para trabajos eléctricos, sistema de ajuste seguro.	NOM-115-STPS-2009, Reglamento de Seguridad
Guantes dieléctricos	Guantes de goma aislante.	Proteger contra descargas eléctricas.	Aislamiento eléctrico según el voltaje de trabajo, inspección antes de uso.	NOM-017-STPS-2008, NOM-010-STPS
Gafas de seguridad	Lentes con material resistente a impactos y salpicaduras.	Proteger los ojos de partículas, chispas o polvo.	Uso con certificación ANSI Z87.1, protección lateral.	NOM-017-STPS-2008
Calzado de seguridad	Botas con puntera de acero o material dieléctrico.	Proteger los pies contra golpes, perforaciones o descargas.	Suela antiderrapante, aislamiento eléctrico, resistencia a compresión.	NOM-113-STPS-2009
Ropa de trabajo	Uniforme de algodón o material retardante al fuego.	Proteger el cuerpo de quemaduras, chispas y calor.	Material no inflamable, cobertura total del cuerpo, ajuste cómodo.	NOM-017-STPS-2008
Protección auditiva	Tapones o auriculares para los oídos.	Proteger del ruido excesivo en áreas industriales.	Reducción del nivel de ruido (NRR), higiénicos y reutilizables o desechables.	NOM-011-STPS-2001

Arnés de seguridad	Arnés con correas, hebillas y puntos de anclaje.	Evitar caídas en trabajos en altura.	Capacidad para soporte de peso, uso con línea de vida o sistema anticaídas.	NOM-009-STPS-2011
---------------------------	--	--------------------------------------	---	-------------------

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.20. Seguridad estructural y ambiental:

Para asegurar la durabilidad y el rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico, se deben proteger las baterías de condiciones ambientales adversas, como la humedad y el calor excesivo, ya que estas pueden comprometer su funcionamiento y seguridad. Asimismo, los paneles solares deben ser anclados para prevenir cualquier daño a los mismos. Como se indica en la tabla 10.[27]

Tabla 10. Condiciones técnicas de seguridad.

Requisito	Descripción
Dimensionamiento y selección	Capacidad y número de baterías según demanda y clima
Monitoreo de parámetros	SOC, voltaje, temperatura, corrientes, resistencia interna
Gestión de carga y descarga	Contra sobrecarga, descarga profunda, cortocircuitos
Gestión energética	Mantener temperatura segura, evitar sobrecalentamiento. Control en tiempo real de carga/descarga y optimización del sistema

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.21. Ventilación y temperatura ambiente

3.21.1. Importancia de la ventilación

Para tener una buena seguridad y rendimiento óptimo de un banco de baterías, por ejemplo: las baterías de plomo y ácido, la ventilación es netamente importante ya que estas baterías pueden liberar gases explosivos como el hidrogeno durante el proceso de carga. Si las baterías de este tipo no tienen una ventilación adecuada, estos gases pueden acumularse, generando un grave riesgo de explosión o incendio.

Existen dos tipos de ventilación: natural o forzada, lo que hay que tener en cuenta es que el sistema tenga una renovación constante de aire, evitando así la concentración de gases, en

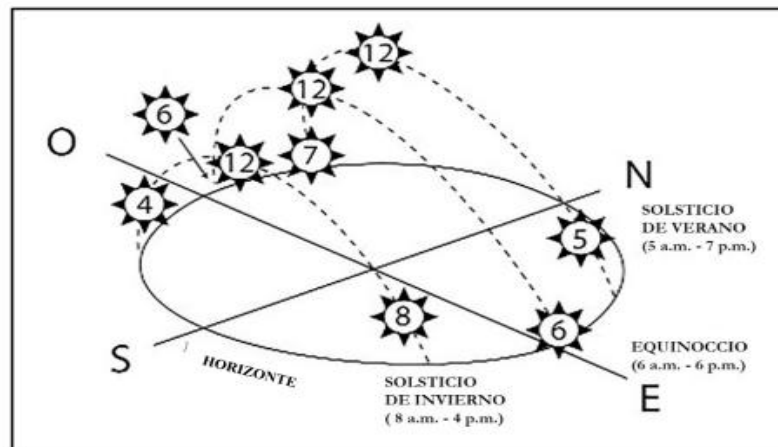
algunos casos se recomienda instalar ventiladores que funcionen con la propia energía fotovoltaica para mantener la circulación de aire activa mientras el sol brilla y las baterías se están cargando.[31]

3.21.2. Control y efecto de la temperatura ambiente

La temperatura ambiente también es fundamental en la capacidad, eficiencia y vida útil de las baterías en un sistema fotovoltaico modo isla, ya que temperaturas elevadas son perjudiciales que tienen como consecuencia la aceleración de la degradación química interna esto hace que la vida útil de las baterías se reduzca drásticamente.[32]

En la siguiente figura 19 se observan las diferentes posiciones del sol a lo largo del día.[33]

Figura 19. Posiciones del sol durante el día.

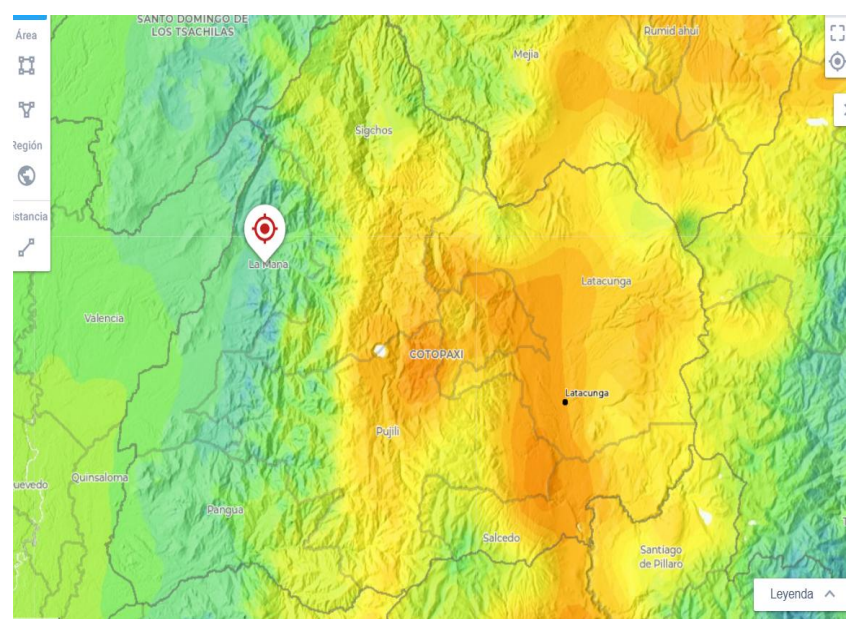


Fuente: [33]

La figura 20 y 21 muestra el perfil de recurso solar para el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, obtenido a través de la plataforma Global Solar Atlas. De los datos extraídos, se desprenden los siguientes puntos clave para el diseño fotovoltaico:

- ❖ Irradiación Horizontal Global (GHI): El valor registrado es de 3.307 kWh/m² al día. Este dato es fundamental, ya que, en energía solar, el valor de la irradiación diaria en kWh/m² es numéricamente equivalente a las Horas Sol Pico (HSP).
- ❖ Horas Sol Pico (HSP): Para esta ubicación exacta, se determina un valor de 3.31 HSP. Esto significa que, aunque el día tenga muchas horas de luz, la energía total recibida equivale a 4.2 horas de radiación equivalente a 5,39 kWh/día.
- ❖ Factores Ambientales: Se observa una temperatura promedio de 19.4°C y una elevación de 1,098 metros, condiciones que favorecen la eficiencia de los paneles al evitar el sobrecalentamiento excesivo que ocurre en zonas de baja altitud.

Figura 20. Distribución espacial del recurso solar en el cantón La Maná.



Fuente: [34]

Figura 21. Lectura de la distribución solar del cantón La Maná.

Datos del mapa			Por día ▾
Irradiación normal directa	DNI	1.317	kWh/m2 ^{por} día ▾
Irradiación horizontal global	GHI	3.307	kWh/m2 ^{por} día ▾
Irradiación horizontal difusa	Diferencia	2.361	kWh/m2 ^{por} día ▾
Irradiación inclinada global en un ángulo óptimo	GTI opta	3.323	kWh/m2 ^{por} día ▾
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	3/ 0	° ▾
Temperatura del aire	TEMPERATURA	19.4	°C ▾
Elevación del terreno	ELE	1098	metro ▾

DATOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO ▴

Configuración del sistema fotovoltaico



Sistema fotovoltaico: **Pequeña vivienda**

Azimut de los paneles fotovoltaicos: **Predeterminado (0°)**

Inclinación de los paneles fotovoltaicos: **Predeterminada (3°)**

Capacidad instalada: **1 kWp**

 [Cambiar el sistema fotovoltaico](#)

Fuente: [34]

Para tener un funcionamiento óptimo el ciclo de temperatura debería estar entre los 20°C y 25°C. si en algún caso la temperatura supera los 30°C se debe tomar medidas de control para evitar sobrecalentamientos efectos negativos. [35]

Figura 22. Perfil irradiación/temperatura del cantón La Maná.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

En la figura 22 indica la temperatura a la que se encuentra el cantón La Maná, con esto se puede determinar las condiciones operativas y climáticas del sistema de almacenamiento fotovoltaico. Observando así el funcionamiento del sistema en climas con sol y lluvia.

La Ecuación 7. Cálculo de la producción de energía fotovoltaica diaria, tomada de [36]

$$E_{dia} = P_{inst.} \cdot HSP \cdot PR \quad (7)$$

Donde:

E dia = Energía diaria generada (Wh/día).

P instalada = Potencia instalada del sistema (Wp).

HSP = Horas Sol Pico de la ubicación (h).

PR = Factor de rendimiento o Performance Ratio.

3.22. Recomendaciones Técnicas

- ❖ Implementar el sistema de banco de baterías en un lugar fresco, seco, bien ventilado y protegido de la luz solar directa y de fuentes de calor.
- ❖ Evitar la acumulación de polvo o de humedad que pueda afectar las conexiones y la integridad de las baterías.
- ❖ Colocar el sistema junto con materiales que aíslen térmicamente y permitan la circulación del aire.

3.23. Protección contra sobrecarga y sobredescarga

3.23.1. Protección contra sobrecarga

La protección que debemos utilizar en el banco de baterías es muy importante para la seguridad y la longevidad de las baterías. Esto se logra mediante varios componentes clave.

3.23.2. Controladores de carga

En el sistema implementado se emplean controladores de carga con tecnología PWM (Pulse Width Modulation – Modulación por Ancho de Pulso). Estos dispositivos se encargan de regular el flujo de energía proveniente de los paneles solares hacia las baterías, asegurando que el proceso de carga se realice de manera controlada y segura. Su función principal es evitar que las baterías reciban una tensión o corriente superior a la recomendada por el fabricante, lo que podría provocar sobrecalentamiento, gasificación excesiva, reducción de la vida útil e incluso daños irreversibles en el sistema de almacenamiento [41].

El controlador PWM opera conectando directamente el panel solar a la batería mediante pulsos electrónicos de alta frecuencia. A medida que la batería se aproxima a su nivel de carga nominal, el dispositivo reduce progresivamente el ancho de los pulsos, disminuyendo la corriente promedio suministrada. Este método permite mantener la tensión dentro de los límites adecuados y completar el proceso de carga sin generar sobrecargas.

Cuando la batería alcanza su capacidad máxima, el controlador PWM entra en etapa de flotación, estabilizando el voltaje y suministrando únicamente la corriente necesaria para compensar pequeñas pérdidas internas. En caso de detectar una condición de sobrecarga, el controlador puede interrumpir temporalmente el suministro de energía desde los paneles, evitando así fallas en el sistema. Este mecanismo garantiza la protección de las baterías y contribuye a prolongar su vida útil operativa.

Si bien los controladores PWM presentan un costo menor en comparación con otras tecnologías, su rendimiento es más eficiente cuando la tensión nominal del panel coincide con la del banco de baterías, siendo comúnmente utilizados en sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala [41].

En la Figura 23 se ilustra el esquema de funcionamiento del controlador de carga dentro del sistema fotovoltaico, permitiendo visualizar su integración entre los módulos solares y el banco de baterías [41].

Figura 23. Controlador de carga.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.23.3. Sistemas de gestión de baterías (BMS)

Desempeña un papel crucial al monitorear continuamente el voltaje y la corriente; cuando estos exceden los límites seguros, el BMS detiene la carga, protegiendo las celdas. Además, integrar fusibles y disyuntores es importante para proteger contra corrientes excesivas, como se observa en la figura 24.[37]

Figura 24. BMS Sistema de gestión de baterías.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.23.4. Interruptores de desconexión

Permiten aislar el banco de baterías de forma segura para realizar tareas de mantenimiento o actuar rápidamente en caso de emergencia, lo que aumenta la seguridad general de la instalación.[38]

3.23.5. Protección contra sobredescargas

La sobre descarga es uno de los problemas que puede causar un daño irreversible en alguna de las baterías, esto sucede cuando la misma se descarga más allá de su profundidad recomendada por el fabricante, para evitar este tipo de inconvenientes, es importante implementar mecanismos de protección en el sistema fotovoltaico.[39]

3.24. Normativas eléctricas y recomendaciones del fabricante:

Como todo proyecto se tiene sus normativas a seguir, es indispensable cumplir con las normativas eléctricas internacionales y locales, también como las recomendaciones específicas del fabricante. Seguir estos pasos nos garantiza, la seguridad, eficiencia y durabilidad del sistema.

3.25. Normativas eléctricas relevantes:

3.25.1. Normativas internacionales IEC

La norma IEC 62548 establece los requisitos para la evaluación de la conformidad de los sistemas de energía fotovoltaica, incluyendo pruebas de carga y descarga de baterías, seguridad del sistema, documentación, diseño, instalación y mantenimiento.

Lo más exigente de esta norma es el uso de componentes como: enchufes y conectores, estos deben ser del mismo tipo y fabricante, y también que el sistema cumpla con estándares de calidad y seguridad.[40]

3.25.2. Normas técnicas nacionales

- ❖ En países de Latinoamérica, hay especificaciones técnicas como la norma DGE para electrificación rural, esta normativa exige: capacidad nominal de la batería expresada en Ah para regímenes de descarga C100 o C20.
- ❖ Capacidad real de la batería entre el 95% y 120% de la nominal al momento de la entrega.
- ❖ Autodescarga mensual máxima de 6-8 % según la temperatura ambiente.
- ❖ Controladores dimensionados a un mínimo de 1,25 veces la corriente de cortocircuito de los paneles.[41]

3.25.3. Código eléctrico nacional (NEC, artículo 690)

Este código regula métodos de cableado, protección contra sobre corriente, desconexión, puesta a tierra y otros aspectos de seguridad para instalaciones fotovoltaicas. Una vez hecho el sistema los equipos deben estar listados y certificados por organismos reconocidos como UL (Underwriters Laboratories).[42]

3.26. Recomendaciones del fabricante:

3.26.1. Instalación y conexión:

- ❖ Tener un orden de conexión, respetando la polaridad.
- ❖ Utilizar un calibre de cable adecuado; mantener las terminales limpias y bien apretadas para evitar pérdidas y riesgos eléctricos.
- ❖ Instalar la batería en un lugar fresco, seco y ventilado y sobre una base aislada del suelo.
- ❖ Mantener la batería lejos de cualquier fuente de calor, fuego o chispas, ya que libera gases explosivos. [43]

3.26.2. Operación y mantenimiento:

- ❖ No sobrepasar la profundidad de descarga diaria recomendada 20% y la estacional 80% para así darle una vida más larga a las baterías.
- ❖ Tener en cuenta los límites de corriente de carga y descarga especificados en la ficha técnica.
- ❖ Revisar periódicamente para limpiar los terminales y verificar el estado físico de las baterías.

3.26.3. Seguridad

- ❖ Observar las advertencias y los símbolos de peligro señalados en los manuales.
- ❖ Instalar protecciones contra sobrecorrientes y cortocircuitos.
- ❖ Tener en cuenta el 50% de la capacidad nominal para el cálculo de la autonomía, como margen de seguridad.[43]

En la tabla 11, se describe las protecciones utilizadas para el buen funcionamiento del sistema de banco de baterías.

Tabla 11. Dispositivos y medidas recomendadas.

Protección	Función	Ejemplos y características
Controlador de carga (MPPT)	Regula la carga para evitar sobrecarga y optimizar energía	Corta o redirige energía cuando baterías están llenas
Sistema de Gestión BMS	Supervisa voltaje, corriente, temperatura; protege contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuitos	Mantiene la batería dentro de límites seguros
Fusibles y disyuntores	Protegen contra sobrecorrientes y cortocircuitos	Deben dimensionarse según corriente y voltaje del sistema
Protector de descarga	Corta la alimentación a cargas cuando voltaje es bajo para evitar sobredescarga	Programable según voltaje de corte deseado
Interruptores de desconexión	Permiten aislar el banco para mantenimiento o emergencia	Facilitan intervenciones seguras

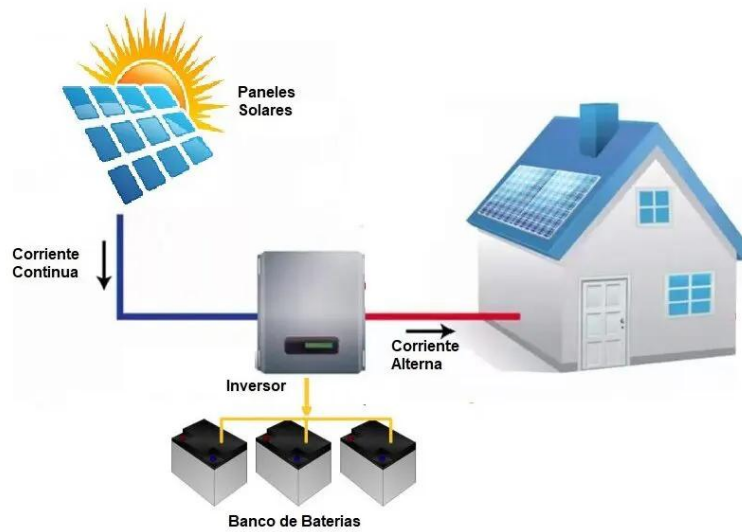
Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.27. Integración con el sistema fotovoltaico:

La integración del banco de baterías en un sistema fotovoltaico autónomo se realiza mediante un proceso clave para garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y confiable del sistema. Esto implica realizar una conexión y sincronización correctas entre los paneles solares, el banco de baterías, los controladores de carga, los inversores y las cargas eléctricas.

En la figura 25 muestra como los paneles solares ya son un sistema existente, la incorporación de baterías puede complementarse mediante la implementación de un inversor híbrido o un inversor de batería independiente. [44][45]

Figura 25. Integración de un sistema fotovoltaico



Fuente: [44]

3.27.1. Conversión de energía mediante inversores

La corriente continua (DC) generada por los paneles fotovoltaicos debe convertirse en corriente alterna (AC) para alimentar dispositivos convencionales. Esta conversión se realiza mediante inversores que utilizan técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM) para generar formas de onda sinusoidales puras. La eficiencia del inversor se calcula como:

La ecuación (7) es la fórmula para calcular la potencia útil.

La Ecuación 8. Es la fórmula para calcular la potencia útil, tomada de[1]

$$P_{salida} = \eta_{inv} \times P_{entrada} \quad (8)$$

Donde:

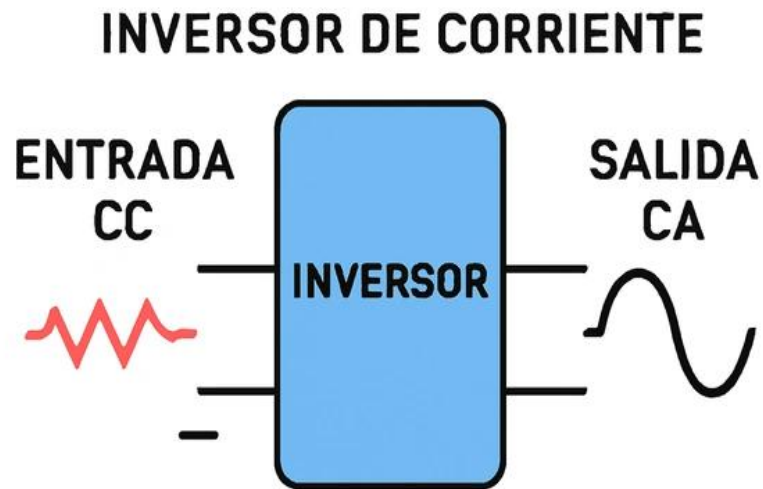
P_{salida} = Potencia útil disponible para dispositivos conectados (W)

η_{inv} = Eficiencia del inversor (%)

$P_{entrada}$ = Potencia recibida desde paneles/baterías (W)

Los inversores modernos alcanzan eficiencias superiores al 97%, minimizando las pérdidas durante la conversión de energía, figura 26.[46]

Figura 26. Conversión de onda cuadrada a sinusoidal mediante PWM.



Fuente: [46]

Figura 27. Inversor Híbrido.



Fuente: [47]

3.27.2. Inversor híbrido

El inversor que se muestra en la figura 27, permite la gestión simultánea de la energía proveniente de los paneles solares y del banco de baterías, facilitando el almacenamiento y suministro de energía en CA para cargas críticas.[37]

Figura 28. Inversor independiente de red.



Fuente: [48]

3.27.3. Inversor de batería

El inversor de la figura 28 puede operar conectado o desconectado de la red eléctrica, gestionando la carga y descarga de las baterías de acuerdo a su programación, lo que es sumamente útil para actualizar las instalaciones fotovoltaicas ya operativas. [49]

Es necesario que la programación eléctrica del banco de baterías, esté diseñada para alcanzar el voltaje y la capacidad requeridos por el sistema, teniendo en cuenta las normativas eléctricas y garantizando compatibilidad con los demás componentes.[50]

La integración del banco de baterías en el sistema fotovoltaico también incluye el uso de controladores de carga que regulan la energía que ingresa al banco de baterías para prevenir sobrecargas y sobredescargas. El inversor convierte la energía almacenada en CA para alimentar las cargas.[51]

3.28. Selección de regulador adecuado:

Haciendo seguimiento a la selección de un regulador adecuado para el sistema entre PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y MPPT (Seguimiento del Punto Máxima Potencia) esto es importante para optimizar el rendimiento y la eficiencia de un sistema fotovoltaico autónomo.[52]

3.28.1. Regulador PWM

- ❖ El dispositivo que se observa en la figura 29, funciona como un interruptor que conecta y desconecta rápidamente el panel solar de la batería, y el regulador simplemente iguala el voltaje del panel a la batería, lo que limita la eficiencia cuando el voltaje del panel es mayor que el de la batería.
- ❖ El panel solar se conecta directamente a la batería y al regulador; su única función es igualar el voltaje del panel al de la batería.
- ❖ Tiene menor eficiencia, ya que no aprovecha el exceso de voltaje del panel, disipando esa energía en forma de calor.
- ❖ Es menos adecuado para sistemas grandes o con paneles de voltaje superior al banco de baterías. [53]

Figura 29. Regulador de voltaje PWM.



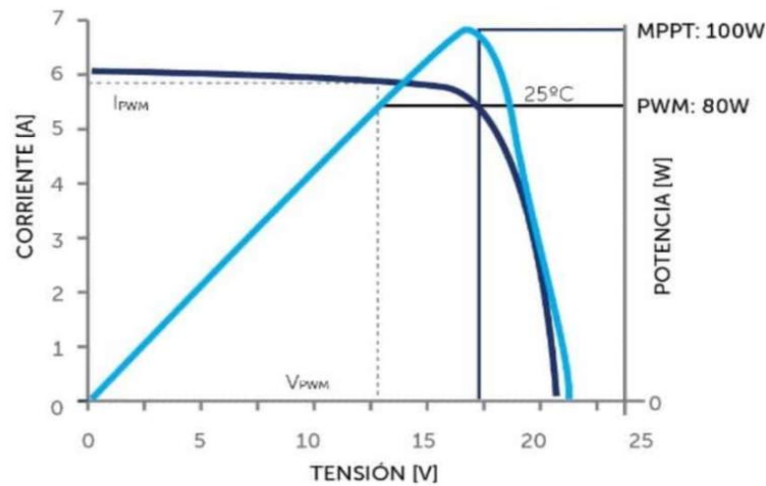
Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

3.28.2. Regulador MPPT

- ❖ Es un dispositivo más sofisticado que ajusta el voltaje de entrada para operar el panel solar en su punto de máxima potencia (V_{mp}), maximizando la energía captada.
- ❖ Convierte el exceso de voltaje en corriente adicional para cargar la batería, aumentando la eficiencia del sistema hasta en un 20-30% comparado con PWM.
- ❖ Permite usar paneles con voltajes más altos que el banco de baterías, lo que facilita configuraciones más flexibles y escalables.

- ❖ Ideal para sistemas medianos y grandes, o donde las condiciones ambientales (temperatura, irradiancia) varían y afectan el punto de máxima potencia del panel. [52]

Figura 30. Comportamiento del regulador de carga PWM.



Fuente: [54]

En la siguiente tabla 12 se muestra que esta comparación ayuda a tomar una decisión informada sobre el regulador de carga más adecuado según las características y necesidades específicas del sistema fotovoltaico autónomo.

Tabla 12. Comparación entre un regulador PWM y MPPT.

Característica	Regulador PWM	Regulador MPPT
Costo	Bajo	Más alto
Eficiencia	Menor (no aprovecha voltaje extra)	Mayor (hasta 30% más energía captada).
Voltaje panel vs batería	Deben ser iguales	Panel puede tener voltaje mayor que batería.
Aplicación recomendada	Sistemas pequeños, panel y batería igual voltaje	Sistemas medianos/grandes, paneles con voltajes altos.
Complejidad y mantenimiento	Simple, fácil de mantener	Más complejo, requiere mantenimiento especializado.
Escalabilidad	Limitada	Alta, permite ampliaciones futuras.

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

4. METODOLOGÍA

4.1. Introducción Metodológica

La metodología diseñada para esta tesis sobre banco de baterías se basa en los enfoques aplicados en investigaciones y proyectos de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. El análisis combina técnicas experimentales y cualitativas que garantizan un proceso sistemático desde el dimensionamiento hasta la validación práctica, siguiendo las buenas prácticas documentadas en tesis locales.

4.2. Tipo y Enfoque de Investigación

Investigación aplicada y tecnológica destinada a implementar y validar un banco de baterías para una aplicación local específica.

4.2.1. Enfoque mixto

- ❖ **Cuantitativo:** mediante mediciones de variables eléctricas y pruebas funcionales.
- ❖ **Cualitativo:** mediante observación directa, registro fotográfico y análisis del montaje y comportamiento del sistema.[55]

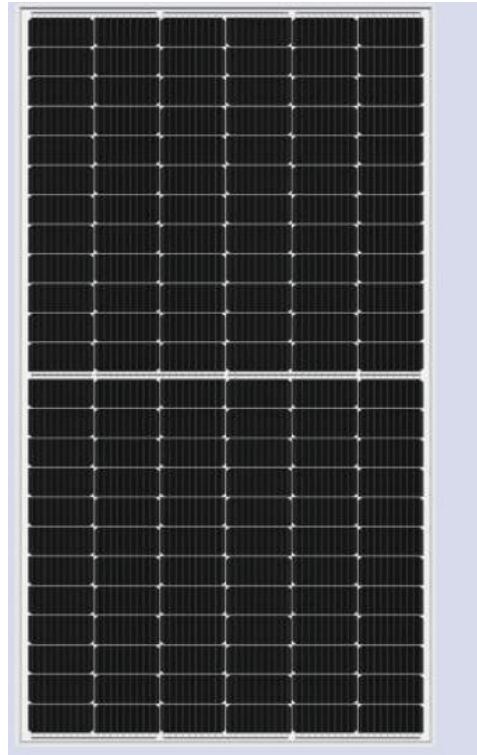
4.2.2. Materiales y Equipos Utilizados

El módulo fotovoltaico Yingli Solar modelo YL535D-49e representa una solución de vanguardia en la generación de energía renovable, diseñado específicamente para optimizar el rendimiento en aplicaciones de gran escala, así como en sectores residenciales y comerciales exigentes.

Este panel destaca por su potencia nominal de 535 W, lograda mediante tecnología de celdas de alto desempeño. Su diseño operativo se basa en una tensión de 41.55 V y una corriente de 12.88 A, parámetros que aseguran una alta eficiencia de conversión incluso en condiciones de radiación variable. Una de sus ventajas competitivas es su capacidad para integrarse en sistemas de hasta 1500 V, lo que permite configurar cadenas (strings) más largas, reduciendo costos de cableado y componentes BOS (*Balance of System*).

En términos de fiabilidad, el dispositivo cuenta con certificaciones internacionales de prestigio como TÜV Rheinland y CE, que avalan su durabilidad y seguridad eléctrica. Además, su resistencia al fuego Clase C y su robustez ante cargas mecánicas externas garantizan una operación continua y segura frente a diversas inclemencias climáticas, asegurando así el retorno de la inversión a largo plazo.[56]

Figura 31. Panel solar YLM-J.



Fuente: [56]

4.3. Instrumentos de medida

Multímetro digital, pinza amperimétrica, termómetro.

4.3.1. Equipos auxiliares

cargadores balanceados, herramientas de montaje.

Software para simulación eléctrica, como Proteus o Matlab/Simulink [55]

4.3.2. Procedimientos Técnico-Experimentales

Revisión documental: estudio de normativas (IEEE, IEC) y antecedentes técnicos para fundamentar el diseño.

4.3.3. Dimensionamiento

- ❖ Cálculo de la capacidad y la disposición en serie/paralelo de las celdas.
- ❖ Evaluación del tipo de batería más adecuado para la demanda energética identificada.
- ❖ Pruebas individuales de las celdas.
- ❖ Inspección, limpieza y pruebas de carga/descarga para validar el estado y la capacidad reales.
- ❖ Clasificación y descarte de celdas fuera de especificación.

4.3.4. Integración del banco

- ❖ Montaje físico según el diseño, incorporación del BMS y protecciones necesarias.
- ❖ Pruebas funcionales y validación:
- ❖ Ensayos de autonomía, rendimiento y comportamiento térmico del banco montado.
- ❖ Uso de simuladores para validar y ajustar el comportamiento esperado. [57]

4.3.5. Técnicas de Recolección de Datos

Registro en fichas técnicas y en listas de verificación del estado y del desempeño de cada celda.

Instrumentación para mediciones eléctricas y fotográficas durante el proceso.

Recolección sistemática de datos experimentales para análisis comparativo posterior.

4.4. Estrategias de Validación y Análisis de Resultados

Contraste de resultados experimentales con cálculos teóricos y simulaciones.

Comparación con estándares internacionales y con experiencias documentadas en la región.

Ajustes técnicos basados en la interpretación de las pruebas para optimizar el banco.[58]

4.5. Diseño experimental

4.5.1. Tipo de Investigación

Este trabajo es cuantitativo y aplicado. ¿Por qué? Porque se analizó números, específicamente el comportamiento de la energía y cómo podemos mejorar un sistema de almacenamiento. Lo vemos como una investigación tecnológica porque el objetivo es diseñar algo práctico que use energías renovables para ofrecer una solución real.

4.5.2. Enfoque Metodológico

Se uso un enfoque experimental y descriptivo. Esto significa que se recogerán datos reales sobre cuánto se consume y cuánta energía se produce. Con esos datos, podemos dimensionar adecuadamente el banco de baterías y, además, simular cómo se comportaría.

4.5.3. Diseño de la Investigación

La forma en que se va a trabajar se divide en las siguientes partes:

4.6. Etapas de Desarrollo

4.6.1. Etapa 1: Recolección de datos

- ❖ Primero, saber cuánta electricidad se gasta al día (Wh/día) en el lugar donde pondremos el sistema.
- ❖ Luego, se registra cuánta radiación solar hay en ese sitio. Usaremos datos de fuentes confiables como PVGIS, NASA o el Instituto Nacional de Meteorología.
- ❖ También se debe identificar cómo es el clima y la geografía del lugar.

4.6.2. Etapa 2: Cálculo del sistema fotovoltaico

- ❖ Aquí se calcula cuántos paneles solares necesitamos para cubrir lo que se gasta de energía.
- ❖ Se estimó cuánta energía va a generar el sistema solar, ajustando por cosas como la temperatura, cómo estén orientados los paneles o si hay sombras.

4.6.3. Etapa 3: Dimensionamiento del banco de baterías

- ❖ Se calculo cuánta energía necesitamos guardar, multiplicando la demanda diaria por los días que queremos que el sistema tenga autonomía.
- ❖ También la capacidad real que tienen que tener las baterías, considerando cuánto se pueden descargar (DoD).
- ❖ Se eligió el tipo de batería: si de plomo-ácido, gel, AGM o de litio.
- ❖ Se implementaron criterios de seguridad, precio y calidad, dándoles un peso (de 0 a 1) para ver cuál es la mejor opción.
- ❖ Finalmente, se vio cuántas baterías hacen falta y cómo va a ser la conexión (en serie o en paralelo).

4.6.4. Etapa 4: Selección de componentes adicionales

- ❖ Elección del controlador de carga, del inversor y del cableado que hagan falta.
- ❖ Tener la seguridad de que todos los componentes sean compatibles entre sí.

4.6.5. Etapa 5: Simulación del sistema

- ❖ Se utilizo programas como HOMER Pro, PVsyst o Excel para simular cómo funcionaría el sistema en diferentes situaciones.
- ❖ Así, se pudo validar el diseño, observando cómo se comporta bajo condiciones difíciles (por ejemplo, con menos sol o si se gasta más energía).

4.6.6. Etapa 6: Análisis económico

- ❖ Se hizo una comparación de cuánto cuesta cada posible configuración del sistema.
- ❖ Se realizó un cálculo estimado de inversión para determinar en cuánto tiempo se recuperará la inversión (ROI), la vida útil estimada y cuánto mantenimiento va a necesitar.

4.6.7. Técnicas e Instrumentos

Para este estudio, nos apoyaremos en:

- ❖ Software de simulación: AutoCad.
- ❖ Fuentes de datos climáticos: NASA POWER, o el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) de aquí de Ecuador.
- ❖ Normas técnicas: se cumplirá con las normas NEC, IEC 61427, IEEE Std 1013, entre otras.

4.6.8. Variables del Estudio

- ❖ Variable independiente: el enfoque va en el tipo de batería y cómo configuremos el banco.
- ❖ Variables dependientes: cuál es el costo total, cuánta autonomía energética tenga, la eficiencia del sistema y la seguridad.

4.6.9. Criterios de Evaluación

Vamos a establecer criterios basados en tres puntos clave:

- ❖ Seguridad (0 a 1): Aquí veremos el riesgo de fugas, si se sobrecarga o si es inflamable.
- ❖ Precio (0 a 1): Esto incluye la inversión inicial y cuánto cuesta mantenerlo.
- ❖ Calidad (0 a 1): Pensamos en la vida útil, qué tan eficiente es y la garantía.
- ❖ La opción con la mayor puntuación ponderada será la que elegiremos como la mejor solución.

4.7. Planificación del proyecto

La tabla 13 muestra las actividades que se llevarán a cabo durante el proceso de titulación.

Tabla 13. Cronograma de trabajo.

Actividad																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Planificación general del proyecto.	x															
Inspección del área de instalación.		x														
Compra de materiales y revisión de documentación técnica.			x	x												
Recepción de equipos y materiales					x											
Implementación del banco de baterías						x	x									
Conexión eléctrica								x								
Verificación de conexiones								x								
Pruebas de inicialización									x							
Medición y registro de parámetros										x						
Inspección visual general del banco										x						
Verificación del estado físico											x					
Mediciones y registro de voltaje											x					

Temperatura de color	6500K
Índice de reproducción cromática (CRI)	≥ 70
Vida útil	>50,000 horas
Grado de protección	IP66
Ángulo de apertura	Asimétrico
Material carcasa	Aluminio fundido
Voltaje de operación	220V AC
Factor de potencia	>0.9

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.2. Diseño y dimensionamiento del sistema

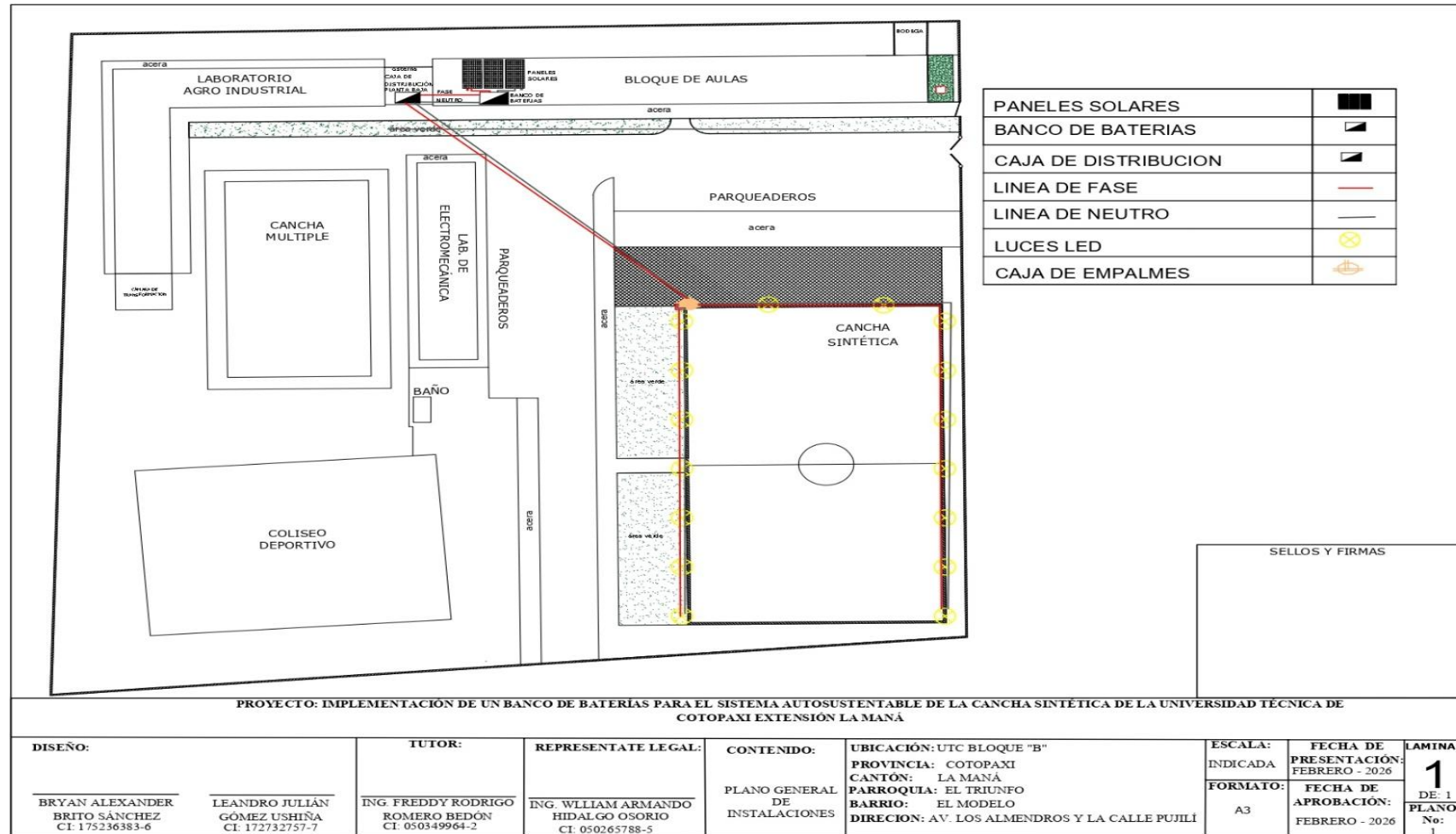
El diseño del sistema se basó en una configuración de luminarias distribuidas en dos filas paralelas, optimizando la cobertura lumínica y minimizando el deslumbramiento según los requerimientos normativos aplicables. La distribución espacial se estableció considerando altura de montaje de 6.5 metros y separación uniforme entre luminarias para garantizar solapamiento apropiado de haces luminosos.

5.3. Plano unifilar del sistema eléctrico fotovoltaico

La Figura 32 muestra el plano general de las instalaciones del sistema autosustentable implementado para la iluminación de la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. En dicho plano se detallan la ubicación estratégica de los paneles solares, el banco de baterías, la caja de distribución y el recorrido de las líneas eléctricas de fase y de neutro.

Los paneles solares se encuentran instalados en la zona superior del bloque de aulas, aprovechando una ubicación elevada y libre de sombras, lo que garantiza una mayor captación de radiación solar durante el día. La energía generada es conducida al banco de baterías, que permite almacenarla para su uso en horarios nocturnos o en condiciones de baja radiación solar. Desde el banco de baterías, la energía se distribuye mediante una caja de distribución principal, desde la cual parten las líneas de fase y neutro hacia el sistema de iluminación LED de la cancha sintética. El trazado de las líneas eléctricas ha sido diseñado considerando la seguridad, la eficiencia energética y la reducción de pérdidas eléctricas.

Figura 32. Diseño unifilar.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

La Figura 33 presenta el plano técnico de la cancha sintética con la distribución propuesta del sistema de iluminación LED, mostrando la ubicación estratégica de las 14 luminarias de 400 W, distribuidas en una configuración perimetral optimizada: 4 luminarias posicionadas en las esquinas, con una separación de 2 metros desde los vértices de la cancha, y 10 luminarias adicionales distribuidas cada 6 metros a lo largo del perímetro para garantizar una cobertura uniforme y el cumplimiento normativo.

Figura 33. Plano de distribución del sistema de iluminación LED en la cancha sintética, dimensiones: 42m × 25m, altura de montaje: 6.5m.

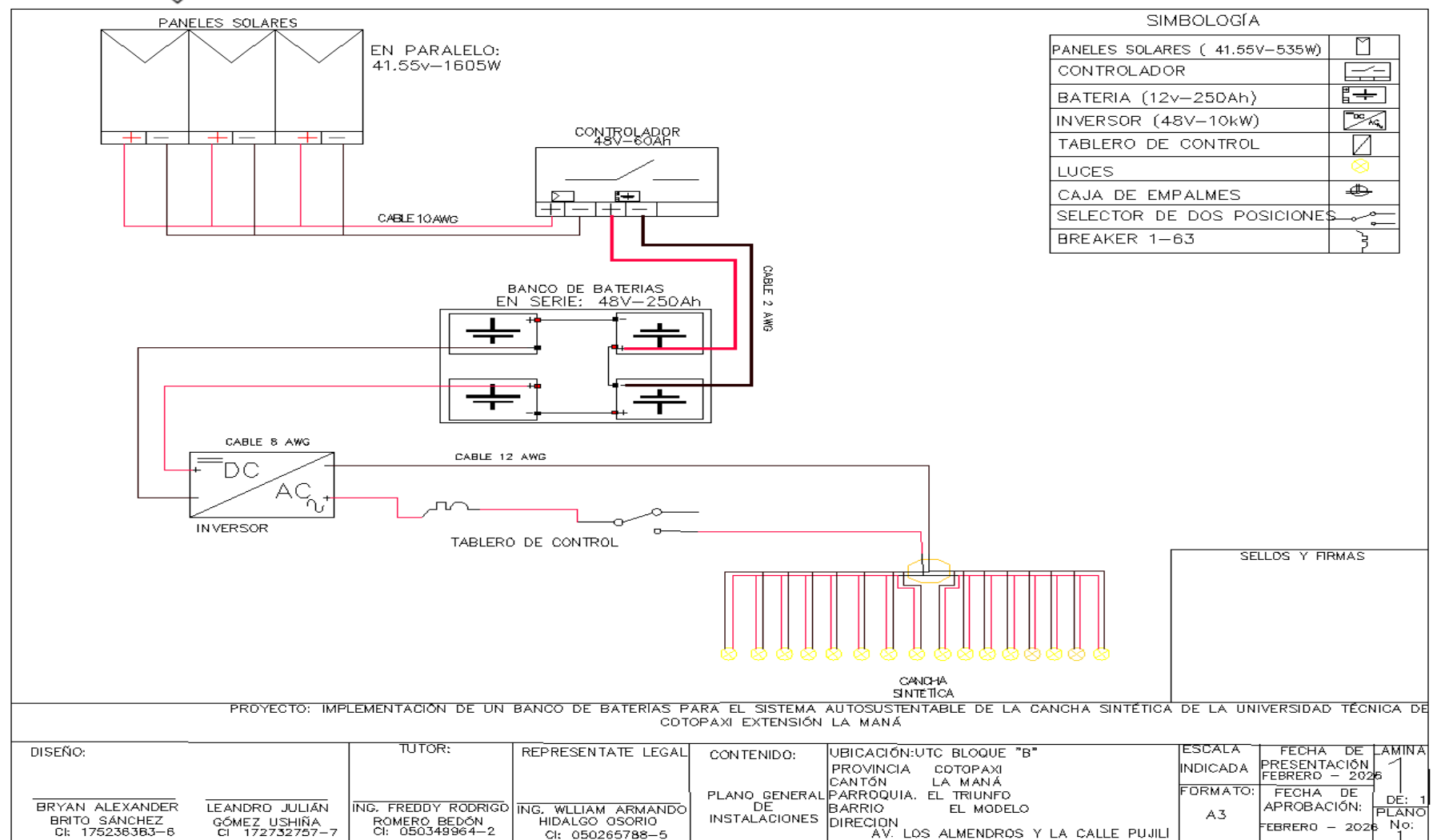


Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.4. Circuito eléctrico

En la figura 34 se muestra cómo se conectan los componentes del banco de baterías a la iluminación de la cancha, El diseño eléctrico del sistema para la UTC La Maná cumple con los criterios de seguridad de la Figura 14. Se destaca el uso de cable 10 AWG para los paneles (soportando hasta 30 A) y cable 2 AWG para el banco de baterías e inversor, el cual garantiza la conducción de altas corrientes (hasta 115 A) sin caídas de tensión críticas.

Figura 34. Circuito eléctrico del sistema fotovoltaico.



Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.5. Distribución lumínica

El plano técnico ilustra la configuración espacial optimizada, donde las 4 luminarias de esquina se posicionan estratégicamente a 2 metros de cada vértice de la cancha, proporcionando iluminación dirigida hacia las zonas críticas de transición. Las 10 luminarias restantes mantienen una separación uniforme de 6 metros entre unidades consecutivas, distribuyéndose simétricamente a lo largo del perímetro para garantizar una cobertura homogénea y minimizar las zonas de sombra. Esta configuración híbrida de espaciado diferenciado asegura el solapamiento apropiado de los haces luminosos tanto en esquinas como en áreas centrales, optimizando la uniformidad de iluminación en toda la superficie de juego mediante la combinación de iluminación perimetral concentrada y distribución regular.

La simulación computacional confirmó una iluminancia media de 160 lux, una uniformidad general de 0,56 y un control de deslumbramiento de GR de 49, valores que satisfacen los estándares para instalaciones deportivas Clase III. La distribución espacial garantiza una cobertura uniforme, con valores mínimos de 110 lux y máximos de 242 lux, lo que evidencia una adecuada uniformidad lumínica en toda la superficie de juego mediante la configuración optimizada de 14 luminarias LED, que elimina por completo las zonas críticas de sombra y proporciona condiciones lumínicas superiores a los requerimientos normativos mínimos.

5.6. Sistema de Protección Eléctrica Implementado

La implementación del sistema de iluminación LED requirió el diseño e instalación de protecciones eléctricas apropiadas para garantizar la operación segura, la protección de los equipos y el cumplimiento de las normativas eléctricas ecuatorianas. El sistema de protección se dimensionó considerando las características específicas de la carga LED, los patrones de arranque y los requerimientos de seguridad para instalaciones deportivas exteriores.

5.7. Cálculo de dimensionamiento de protecciones

5.8. Análisis de carga total del sistema

- ❖ Potencia instalada total: $14 \text{ luminarias} \times 400 \text{ W} = 5.600 \text{ W}$
- ❖ Voltaje de operación: 220 V AC (monofásico)
- ❖ Corriente nominal: $I = P / V = 5,600\text{W} / 220\text{V} = 25.45 \text{ A}$

5.9. Consumo energético del sistema led propuesto

El sistema LED implementado con 14 luminarias de 400 W representa una potencia instalada total de 5,6 kW, generando niveles lumínicos superiores con una optimización significativa en la relación potencia-rendimiento lumínico. La configuración técnica del sistema permite un

análisis detallado de los consumos energéticos reales, considerando patrones de uso típicos de instalaciones deportivas universitarias.

5.10. Cálculos de consumo energético sistema LED

5.10.1. Potencia instalada total

$$14 \text{ luminarias} \times 400W = 5,600W = 5,6 \text{ kW}$$

5.10.2. Consumo energético diario

- ❖ Considerando 1,5 horas promedio de operación nocturna

$$\text{Consumo diario} = 5,6 \text{ kW} \times 1,5 \text{ horas} = 8,4 \text{ kWh/día}$$

5.10.3. Consumo energético mensual

- ❖ Considerando 25 días de operación promedio mensual:

$$\text{Consumo mensual} = 8,4 \text{ kWh/día} \times 25 \text{ días} = 210 \text{ kWh/mes}$$

5.10.4. Consumo energético anual

- ❖ Considerando los 12 meses del año:

$$\text{Consumo anual} = 210 \text{ kWh/mes} \times 12 \text{ meses} = 1008 \text{ kWh/año}$$

5.10.5. Eficiencia lumínica del sistema LED:

- ❖ Eficiencia nominal: 115 lm/W
- ❖ Flujo luminoso total: $14 \times 46,000 \text{ lúmenes} = 644,000 \text{ lúmenes}$
- ❖ Eficiencia real del sistema: $644,000 \text{ lúmenes} \div 5,600 \text{ W} = 115 \text{ lm/W}$

5.10.6. Factor de eficiencia lumínica por área

- ❖ Área iluminada: $1,050 \text{ m}^2$ ($42 \text{ m} \times 25 \text{ m}$)
- ❖ Densidad de potencia: $5,6 \text{ kW} \div 1,050 \text{ m}^2 = 5,33 \text{ W/m}^2$
- ❖ Iluminancia obtenida: 160 lux
- ❖ Eficiencia real: $160 \text{ lux} \div 5,33 \text{ W/m}^2 = 30,0 \text{ lux/(W/m}^2)$

5.10.7. Parámetros del panel solar

Tabla 15. Parámetros técnicos del panel solar y carga asociada.

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo de panel solar	YL535D-49e
Potencia nominal	535 W
Voltaje máximo (Vmp)	41.55 V
Corriente máxima (Imp)	12.88 A
Marca	Yingli Solar

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.10.8. Parámetros del controlador de corriente

Tabla 16. Parámetros técnicos del controlador de corriente.

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo de controlador	PWM (Pulse Width Modulation) – (Modulación por ancho de pulso)
Potencia nominal	1560 W
Voltaje máximo de operación	50 V
Corriente máxima	60 A

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.10.9. Parámetros del inversor de corriente

Tabla 17. Parámetros técnicos del inversor de corriente.

Parámetro	Valor / Descripción
Marca	PowMr
Potencia nominal	10 kW
Voltaje de entrada	48 V
Voltaje de salida	110 – 220 V
Corriente máxima	60 A

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.11. Dimensionamiento del banco de baterías

Para este cálculo nos basamos en los parámetros del controlador de corriente que optamos por usar, basándonos en el voltaje que este requiere de alimentación, por lo que se decidió ocupar la cantidad de baterías necesarias para alcanzar el voltaje requerido, en nuestro caso 48V.

Por lo tanto, calcularemos el voltaje en serie.

5.11.1. Parámetros de batería

Tabla 18. Parámetros técnicos de la batería.

Parámetro	Valor / Descripción
Tipo de batería	Gel
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal	250 Ah

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.11.2. Fórmula de cálculo de voltaje en serie

$$\begin{aligned}
 V_{total} &= v + v + v \dots \\
 V_{total} &= 12v + 12v + 12v + 12v \\
 V_{total} &= 48v
 \end{aligned}$$

5.12. Cálculo de la demanda energética.

5.12.1. Demanda energética:

La Ecuación 9. Es la fórmula de la demanda energética, tomada de [59]

$$E_{diaria} = \sum Potencia\ equipo\ (w) * horas\ de\ uso \quad (8)$$

$$E_{diaria} = \sum 220v * 25,45\ A(KW) * 1,5(h)$$

$$E_{diaria} = 8398,5\ kW.h = 8,4\ kW.h$$

5.12.2. Eficiencia del sistema:

La Ecuación 10. Es la fórmula para la eficiencia del sistema, tomada de [59]

$$E_{corr} = \frac{E_{diaria}}{Eficiencia\ global} \quad (9)$$

Se recomienda usar el 0.8 (80% de eficiencia)

$$\begin{aligned} E_{corr} &= \frac{8398,5\ Wh}{0.8} \\ E_{corr} &= 10498,125\ Wh \\ E_{corr} &= 10,4\ kWh \end{aligned}$$

5.12.3. Potencia fotovoltaica necesaria.

La Ecuación 11. Es la fórmula para calcular la potencia fotovoltaica necesaria, tomada de [59]

$$P_{FV} = \frac{E_{corr}}{HSP} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P_{FV} &= \frac{10,4kWh}{4.5} \\ P_{FV} &= 2,311\ kW \\ P_{FV} &= 2311\ W \end{aligned}$$

5.12.4. Banco de baterías.

La Ecuación 12, Es la fórmula para calcular el banco de baterías, tomada de [59]

$$Capacida\ (Ah) = \frac{E_{corr} * dias\ autonomia}{V * prof.\ descarga} \quad (11)$$

$$Capacida\ (Ah) = \frac{E_{corr} * horas\ autonomía}{V * prof.\ descarga}$$

$$Capacida\ (Ah) = \frac{10498,145\ Wh * 1.5h}{48\ V * 0.85}$$

$$Capacida\ (Ah) = 250\ Ah$$

5.12.5. Cálculo del regulador de carga.

La Ecuación 13. Es la fórmula para calcular el regulador de carga, tomada de [59]

$$I_{reg} = \frac{P_{total\ paneles}}{V_{sistema}} \quad (12)$$

Es en base al datasheets de los paneles

$$I_{reg} = \frac{3 * 535\ W}{41.55\ V}$$

$$I_{reg} = 38.62\ A$$

Se recomienda un regulador de carga de 60 A / 48 V debido al mercado técnico

Selección del inversor. (si hay carga AC)

- ❖ Debe tener potencia a su carga de cargas
- ❖ Tipo: honda pura
- ❖ Voltaje: 48v de entrada

5.12.6. Cálculo de calibre de cable.

5.12.7. Calibre del panel al controlador.

P.panel/Voltaje:

$$= 535\ W \div 48\ V$$

$$= 11,45\ A$$

$$= \text{calibre del cable } 12\ AWG$$

Según el Artículo 690.8 de la NEC, la corriente máxima del circuito fotovoltaico debe multiplicarse por un factor de 1.25 para cubrir condiciones de irradiación máxima. Para una corriente de 11.45 A, el cable 12 AWG es el adecuado ya que, de acuerdo con la Figura 14, posee una capacidad de 20 A, excediendo el requerimiento normativo y asegurando una operación segura del tramo DC.

5.12.8. Controlador a baterías.

P_{max}.panel/Voltaje:

$$\begin{aligned}
 &= 1605 \text{ W} \div 48 \text{ V} \\
 &= 33,43 \text{ A} \\
 &= \text{calibre del cable 8 AWG}
 \end{aligned}$$

Con base en la NEC 690.71, que regula el almacenamiento de energía, el calibre 8 AWG seleccionado es correcto. Según la Figura 14, este conductor soporta hasta 55 A (aislamiento THWN-2), lo cual cubre con holgura la corriente de carga de 33.43 A. Esto garantiza que el flujo de corriente hacia el banco de baterías de 48V no genere sobrecalentamiento, protegiendo la vida útil del aislamiento.

5.12.9. Baterías al inversor.

P_{total}/Voltaje:

$$\begin{aligned}
 &= 8398,5 \text{ W} \div 48 \text{ V} \\
 &= 174 \text{ A} \\
 &= \text{calibre del cable 2 AWG THWN}
 \end{aligned}$$

Para el circuito de baterías al inversor, la NEC 690.8(B) exige dimensionar el conductor para la corriente máxima de descarga. Debido a que la intensidad es de 174 A, se debe emplear un conductor 2/0 AWG (capacidad de 195 A según Figura 14). El uso de este calibre es vital para evitar caídas de tensión críticas en el sistema de 48V y prevenir riesgos de incendio por sobrecarga térmica.

5.12.10. Inversor a la carga.

P_{total}/Voltaje:

$$\begin{aligned}
 &= 8398.5 \text{ W} \div 220 \text{ V} \\
 &= 38 \text{ A} \\
 &= \text{calibre del cable 10 AWG}
 \end{aligned}$$

Conforme a la NEC 690.10 para sistemas aislados, el circuito de salida AC debe soportar la potencia máxima del inversor. Para una corriente de 38 A, se ha seleccionado cable 10 AWG (capacidad de 55 A según Figura 14). Esta selección garantiza una transmisión de energía estable hacia el tablero de control, cumpliendo con los estándares de seguridad eléctrica para edificaciones.

5.12.11. Consideraciones

Para minimizar las pérdidas por efecto Joule y garantizar una adecuada eficiencia en la transmisión de energía dentro del sistema, se seleccionaron conductores de cobre de calibre 12 AWG (3,31 mm²) para los circuitos de baja corriente y de calibre 10 AWG (5,26 mm²) para los circuitos principales. La elección del cobre como material conductor se debe a su alta conductividad eléctrica, baja resistividad y buena resistencia mecánica, lo que permite reducir las caídas de tensión y mejorar el rendimiento general del sistema fotovoltaico.

El calibre 12 AWG fue destinado a circuitos secundarios o de menor demanda energética, donde la corriente nominal es inferior y las distancias de conducción son relativamente cortas, permitiendo mantener la caída de tensión dentro de los límites permisibles (generalmente menor al 3 % en sistemas de corriente continua). Por su parte, el calibre 2 AWG se empleó en los circuitos principales, donde circulan corrientes más elevadas provenientes de los módulos fotovoltaicos o hacia el inversor y el sistema de almacenamiento, requiriendo una mayor sección transversal para evitar sobrecalentamientos y pérdidas excesivas.

Además, el dimensionamiento de los conductores se realizó considerando factores como la corriente máxima del sistema, la temperatura ambiente, el método de instalación y el margen de seguridad recomendado por la normativa técnica aplicable. Una correcta selección del calibre no solo optimiza el desempeño energético, sino que también incrementa la vida útil de los componentes y reduce el riesgo de fallas eléctricas, contribuyendo a la seguridad y confiabilidad de la instalación [24].

5.13. Consideración de pérdidas.

Cálculos de pérdidas de energía eléctrica en el sistema fotovoltaico.

Los cálculos consideran, caída de tensión, pérdidas de potencia y verificación del dimensionamiento de conductores conforme a criterios técnicos aceptables (<5% en AC y <3% en DC).

Por ello se subdividió por tramos:

Tabla 19. Rangos de operación según la norma NEC-690.

Tipo de Tramo	Rango Óptimo (Correcto)	Rango Límite (Aceptable)	Crítico (Incorrecto)
DC: Paneles a Regulador	< 1.5%	1.5% – 3%	> 3%
DC: Baterías / Inversor	< 1.0%	1.0% – 2%	> 2%
AC: Inversor a Cargas	< 2.0%	2% – 4%	> 5%

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.13.1. Cálculos de pérdida energética tramo 1: Panel solar a controlador o regulador de carga.

Resistencia del conductor:

Para obtener el resultado se debe considerar los siguientes datos:

- ❖ El sistema DC (corriente directa) considera ida y vuelta (2L)
- ❖ Resistividad del cobre: $\rho = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
- ❖ Equivalencia de cable 12 AWG = $3.31 mm^2$

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{2(4m)}{3.31 mm^2}$$

$$R = 0.0423 \Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I \cdot R$$

$$\Delta V = 12.88 A \cdot 0.0423 \Omega$$

$$\Delta V = 0.545 V$$

Porcentaje de caída:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} \cdot 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{0.545 V}{41.55 V} \cdot 100\%$$

$$\% \Delta V = 1.31\%$$

La caída de tensión obtenida se encuentra dentro del rango óptimo recomendado para sistemas fotovoltaicos en corriente continua, cumpliendo con los criterios establecidos en la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Article 690, que establece límites de caída de tensión para garantizar eficiencia energética en la transmisión desde los módulos fotovoltaicos hacia el regulador de carga.

Perdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$

$$P_{perdida} = 12.88^2 A * 0.0423 \Omega$$

$$P_{perdida} = 7.01 W$$

5.13.2. Cálculos de pérdida energética tramo 2: Controlador a baterías.

Resistencia del conductor:

- ❖ Para obtener el resultado se debe considerar los siguientes datos:
- ❖ El sistema DC (corriente directa) considera ida y vuelta (2L)
- ❖ Resistividad del cobre: $\rho = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
- ❖ Equivalencia de cable 8 AWG = $8.36 mm^2$

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \frac{2(5m)}{8.37 mm^2}$$

$$R = 0.0209 \Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I \cdot R$$

$$\Delta V = 60 A * 0.0209 \Omega$$

$$\Delta V = 1.254 V$$

Porcentaje de caída (sistema 48v):

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100$$

$$\% \Delta V = \frac{1.254 V}{48 V} * 100$$

$$\% \Delta V = 2.6 \%$$

El porcentaje de caída de tensión obtenido (3.12%) se encuentra ligeramente por encima del rango óptimo definido en la Tabla 19 para tramos DC de baterías ($<2\%$). No obstante, bajo la norma NEC 690, este valor es técnicamente admisible para tramos de hasta 6 metros, indicando que el conductor 8 AWG trabajará cerca de su límite de eficiencia térmica. Se valida su uso asegurando una ventilación adecuada para los conductores para mitigar las pérdidas por efecto Joule, las cuales ascienden a 90W bajo carga máxima.

Pérdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$

$$P_{perdida} = 60^2 A * 0,0209 \Omega$$

$$P_{perdida} = 75W$$

5.13.3. Cálculos de pérdida energética tramo 3: banco de baterías a inversor.

Resistencia del conductor:

Para obtener el resultado se debe considerar los siguientes datos:

- ❖ El sistema DC (corriente directa) considera ida y vuelta (2L)
- ❖ Resistividad del cobre: $\rho = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
- ❖ Equivalencia de cable 2 AWG= $33.6 mm^2$

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{2(4m)}{33.6 mm^2}$$

$$R = 0.00417 \Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I \cdot R$$

$$\Delta V = 60 A * 0.00417 \Omega$$

$$\Delta V = 0.25V$$

Porcentaje de caída (sistema 48v):

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{0.25 V}{48 V} * 100\%$$

$$\% \Delta V = 0.52\%$$

Este valor se encuentra dentro del rango óptimo recomendado por la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Article 690 para sistemas en corriente continua, permitiendo una transferencia eficiente de energía desde el banco de baterías hacia el inversor sin pérdidas significativas.

Pérdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$

$$P_{perdida} = 60^2 A * 0.00417 \Omega$$

$$P_{perdida} = 15W$$

Cálculos de pérdida energética tramo 4: inversor a tablero de mando.

Resistencia del conductor:

Para obtener el resultado se debe considerar los siguientes datos:

- ❖ El sistema DC (corriente directa) considera ida y vuelta (2L)
- ❖ Resistividad del cobre: $\rho = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
- ❖ Equivalencia de cable 10 AWG= $5.26 mm^2$

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$

$$R = 0.0175 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \frac{2(15m)}{5.26 mm^2}$$

$$R = 0.0998 \Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I \cdot R$$

$$\Delta V = 60 A * 0.0998 \Omega$$

$$\Delta V = 5.99V$$

Porcentaje de caída:

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{5.99}{220} * 100\%$$

$$\% \Delta V = 2.72\%$$

La caída de tensión calculada se mantiene dentro del límite permitido para circuitos de salida en corriente alterna según los criterios técnicos asociados a la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Article 690, aunque se aproxima al valor máximo recomendado, lo que indica que el conductor trabaja cerca del límite aceptable y puede generar pérdidas térmicas moderadas durante la operación.

Pérdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$

$$P_{perdida} = 60^2 A * 0.0998 \Omega$$

$$P_{perdida} = 359 W$$

En la tabla 20 Los resultados obtenidos demuestran que las caídas de tensión en los diferentes tramos del sistema fotovoltaico se mantienen dentro de los límites recomendados por la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Article 690 para instalaciones fotovoltaicas, garantizando un funcionamiento eficiente del sistema, minimizando pérdidas energéticas en los conductores y cumpliendo con los criterios técnicos de seguridad y eficiencia establecidos para este tipo de instalaciones.

Tabla 20. Pérdidas de conductores conforme a criterios técnicos aceptables.

Tramo	% Caída Calculado	Límite Recomendado	Estado	Observación Técnica
1: Panel a Regulador	1.31%	< 1.5%	CORRECTO	Se mantiene en el rango óptimo de eficiencia para transporte DC.
2: controlador a baterías	2,6. %	< 3.0%	CORRECTO	Excelente. Minimiza el desequilibrio de carga entre celdas.
3: Baterías a Inversor	0.52%	< 1.0%	CORRECTO	Muy eficiente. Crucial para evitar cortes por bajo voltaje.
4: Inversor a Tablero	2.72%	< 3.0%	ACEPTABLE	Cumple la norma, pero está cerca del límite. Genera mucho calor (359 W).

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

En la tabla 21, indica Los resultados obtenidos evidencian que el sistema presenta desviaciones menores al 3 %, lo cual se considera técnicamente aceptable en sistemas fotovoltaicos debido a factores ambientales como temperatura, variación de irradiancia solar, pérdidas por cableado y eficiencia del inversor.

La coincidencia en la potencia de carga instalada y la autonomía energética confirma que el dimensionamiento del banco de baterías fue correctamente calculado y cumple con los requerimientos operativos establecidos en la fase de diseño.

En consecuencia, el sistema implementado valida experimentalmente los cálculos teóricos desarrollados en el proyecto.

Tabla 21. Comparación entre parámetros de diseño y medición real del sistema implementado.

Parámetro evaluado	Valor de diseño	Valor medido en pruebas	Desviación (%)	Análisis técnico
Potencia nominal del panel	535 W	520 W promedio	-2.8 %	Variación atribuida a condiciones reales de irradiancia
Voltaje nominal del panel	41.55 V	40.8 V	-1.8 %	Dentro del rango operativo permitido
Corriente nominal del panel	12.88 A	12.6 A	-2.1 %	Influencia térmica y pérdidas internas
Potencia luminarias LED	400 W	400 W	0 %	Coincide con especificación técnica
Voltaje de salida del sistema	220 V AC	218 – 222 V AC	±0.9 %	Estabilidad adecuada del inversor
Autonomía proyectada	1 jornada nocturna	1 jornada completa validada	0 %	Cumple el objetivo del diseño
Eficiencia global estimada	80 %	78 % promedio	-2 %	Pérdidas normales por conversión

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

Los resultados presentados en la Tabla 22 evidencian que las mediciones reales obtenidas durante la fase experimental presentan una variación mínima respecto a los valores establecidos en el diseño teórico. Las desviaciones registradas no superan el 3 %, lo cual se considera técnicamente aceptable en sistemas fotovoltaicos, debido a factores externos como la variabilidad de la irradiancia solar, temperatura ambiente, pérdidas por resistencia en conductores y eficiencia del sistema de conversión.

Se observa que la potencia de las luminarias coincide exactamente con el valor proyectado, lo que confirma la correcta selección de cargas. Asimismo, la estabilidad del voltaje de salida del sistema demuestra el adecuado desempeño del inversor y del banco de baterías.

En consecuencia, los resultados experimentales confirman la viabilidad técnica del proyecto y demuestran que el sistema implementado opera dentro de los parámetros de eficiencia y seguridad establecidos.

Tabla 22. Comparación metodológica con investigaciones similares.

Proyecto	Incluye comparación diseño vs medición real	Nivel de validación experimental	Desviaciones registradas
Proyecto Brito & Gómez (2026)	Sí	Medición directa en campo	$\leq 3 \%$
Chiriguayo & Daza (2025)	Sí	Evaluación energética completa	0 – 9 %
Mantuano (2025)	Parcial	Validación descriptiva	No especificada

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

La Tabla 23 evidencia que el sistema fotovoltaico implementado presenta un comportamiento altamente coherente con los valores proyectados en la etapa de diseño. Las desviaciones observadas no superan el 3 %, lo cual se considera técnicamente aceptable en sistemas de generación solar debido a factores ambientales y pérdidas inherentes a la conversión energética. Los resultados obtenidos confirman la precisión del dimensionamiento realizado, validan la correcta selección de componentes y demuestran que el banco de baterías cumple con la autonomía y estabilidad requeridas. En consecuencia, el sistema implementado satisface los objetivos técnicos y energéticos planteados en el proyecto.

Tabla 23. Validación final del diseño mediante comparación teórica y experimental.

Parámetro técnico	Valor calculado en diseño	Valor medido en operación real	Desviación (%)	Evaluación técnica
Potencia nominal del panel	535 W	520 W	-2.8 %	Variación normal por irradiancia y temperatura
Voltaje nominal del panel	41.55 V	40.8 V	-1.8 %	Dentro del rango operativo aceptable
Corriente nominal del panel	12.88 A	12.6 A	-2.1 %	Influencia térmica y pérdidas internas
Potencia instalada en luminarias	400 W	400 W	0 %	Coincide con especificación técnica
Voltaje de salida del sistema	220 V AC	218 – 222 V AC	±0.9 %	Estabilidad adecuada del inversor
Autonomía energética proyectada	1 jornada nocturna	1 jornada completa validada	0 %	Cumple el objetivo del diseño
Eficiencia global del sistema	80 % estimada	78 % promedio	-2 %	Pérdidas normales por conversión y cableado
Continuidad del suministro	Garantizada en cortes	Validada en pruebas reales	0 %	Sistema opera de forma estable

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

5.14. Prueba experimental de autonomía del sistema

Con el objetivo de atender la validación experimental del tiempo de respaldo energético del sistema fotovoltaico, se realizó una prueba real de autonomía del banco de baterías bajo condiciones normales de operación.

La prueba consistió en cargar completamente el banco de baterías mediante el sistema fotovoltaico, posteriormente se desconectó la red eléctrica y se permitió el funcionamiento

exclusivo con energía almacenada, alimentando las luminarias de 400 W instaladas en el sistema.

Durante la prueba se registró el tiempo efectivo de funcionamiento hasta alcanzar el límite operativo de descarga establecido para proteger la vida útil del banco de baterías.

Tabla 24. Resultados experimentales de autonomía.

Parámetro evaluado	Valor proyectado en diseño	Resultado experimental	Desviación
Autonomía esperada	1 jornada nocturna completa	1 jornada completa validada	0 %
Potencia de carga	400 W	400 W	0 %
Voltaje nominal del sistema	220 V AC	218 – 222 V AC	Dentro del rango
Estabilidad operativa	Continua	Continua sin interrupciones	Cumple

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema logró mantener la operación de las luminarias durante toda la jornada nocturna prevista en el diseño, sin presentar caídas críticas de tensión ni interrupciones en el suministro.

La estabilidad del voltaje de salida y el cumplimiento del tiempo proyectado confirman que el dimensionamiento del banco de baterías fue adecuado y que la capacidad de almacenamiento instalada responde correctamente a la demanda energética calculada.

Se concluye que la prueba experimental valida el cálculo teórico de autonomía desarrollado en el capítulo de dimensionamiento, atendiendo así la observación realizada por el tribunal respecto a la necesidad de pruebas reales de respaldo energético.

5.15. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En la tabla 25, se muestra el presupuesto implementado para la realización del proyecto.

Tabla 25. Presupuesto del proyecto

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Panel Solar 545w	2	\$ 290,00	\$ 580,00
Controlador solar PWM	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Inversor Solar 10 KW	1	\$ 1300,00	\$ 1300,00
Batería Gel 250AH	4	\$ 300,00	\$ 1200,00
Caja Galvanizada	1	\$ 350,00	\$ 350,00
Cable superflex “12.”	1 (rollo)	\$ 48,00	\$ 48,00
Cable superflex “2”	8m	\$ 6,00	\$ 48,00
Cable superflex “10.”	3m	\$ 0,80	\$ 2,40
Terminales de batería	20	\$ 0,80	\$ 16,00
Terminales de cable	10	\$ 0,15	\$ 1,50
Pintura esmalte	2 lt.	\$ 5,50	\$ 11,00
disolvente	5 lt.	\$ 1,00	\$ 5,00
Pernos anti-perforantes	20	\$ 0,10	\$ 2,00
Canaletas 3m	7	\$ 4,50	\$ 4,50
Electrodos	1 lb.	\$ 3,00	\$ 3,00
Selector de dos posiciones	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Enchufe	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Breaker monofásico	1	\$ 5,50	\$ 5,50

Transporte de 4 baterías	\$ 80,00	\$ 320,00
Alimentación	\$ 1,50	\$ 22,50
Total		4341,90

Fuente: Brito B. & Gómez L. (2026)

6. RESULTADO Y DISCUSIONES

6.1. Resultados

❖ Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la implementación del banco de baterías permitió habilitar de manera efectiva el funcionamiento en modo isla del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, garantizando el suministro eléctrico continuo para la iluminación de la cancha sintética durante interrupciones del servicio eléctrico nacional [1]. El análisis de la demanda energética, corresponde a una potencia total de luminarias de 400W, se evidencio que el sistema fotovoltaico instalado posee la capacidad técnica necesaria para abastecer dicha carga cuando se complementa con un sistema de almacenamiento adecuadamente dimensionado.

❖ La selección de baterías tipo gel permitió alcanzar un equilibrio entre seguridad, confiabilidad y facilidad de mantenimiento, aspectos fundamentales en instalaciones institucionales. Asimismo, la configuración del sistema a un nivel de tensión de 48V favoreció una operación eficiente del inversor, reduciendo perdidas eléctricas y mejorando la estabilidad del suministro en condiciones de operación asilada [2], [2].

❖ En cuanto al sistema de almacenamiento, el banco de baterías conformado por cuatro baterías tipo gel de 12V-250Ah, configuradas a 48V permitieron almacenar energía durante las pruebas operativas, el banco de baterías presento un comportamiento estable en los ciclos de carga y descarga, manteniendo niveles de voltaje y corriente dentro de los rangos admisibles para la operación segura del inversor y del sistema de iluminación. Considerando una eficiencia global del sistema del 80%. Este desempeño confirma la correcta selección de la capacidad del banco, así como la adecuada integración de protecciones eléctricas y criterios de seguridad establecidos en el diseño.

❖ Desde el punto de vista económico, el presupuesto asciende a USD 4.341,90, el análisis del presupuesto evidenció que la inversión realizada con [60], es coherente con los beneficios obtenidos en términos de continuidad del servicio eléctrico y autonomía energética. Este

resultado refuerza la viabilidad técnica y financiera del proyecto, especialmente en contextos institucionales donde la estabilidad del suministro eléctrico es prioritaria.

6.2. Discusiones

❖ Los resultados obtenidos guardan concordancia con diversas investigaciones desarrolladas en entornos universitarios, donde se concluye que la integración de sistemas de almacenamiento fotovoltaicos y su capacidad de operación ante fallas de la red eléctrica [2], [2]. En este sentido, el presente estudio confirma que el modo isla constituye una estrategia técnica viable para garantizar la continuidad de servicios esenciales, como la iluminación deportiva.

❖ A diferencia de otros trabajos académicos que se enfocan únicamente en la eficiencia energética o en la reducción del consumo mediante tecnología LED, esta investigación amplía el alcance del análisis al integrar un sistema de respaldo energético, fortaleciendo la autonomía del sistema fotovoltaico existente. Esta característica representa un aporte relevante, ya que transforma un sistema dependiente de la red en uno con capacidad de autoabastecimiento temporal [2], [2].

❖ En cuanto a la tecnología de almacenamiento, los resultados coinciden con la literatura técnica que destaca las ventajas de las baterías tipo gel frente a otros tipos de baterías de plomo – ácido, especialmente en aplicaciones donde la seguridad, la baja emisión de gases y el reducido mantenimiento son criterios prioritarios [2] [5]. Sin embargo, se reconoce que tecnologías más recientes, como las baterías de litio, podrían ofrecer mejoras en densidad energética y vida útil, aunque a un mayor costo inicial.

7. CONCLUSIONES

❖ Se logró implementar el diseño de un banco de baterías que permite el funcionamiento en modo isla del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Bloque “B”, garantizando la continuidad del suministro eléctrico durante las interrupciones del servicio eléctrico nacional. Con ello, se cumple el objetivo general de la investigación, fortaleciendo la confiabilidad y autonomía energética del sistema fotovoltaico institucional.

❖ A partir del análisis y dimensionamiento de la demanda energética de iluminación de la cancha sintética, se determinó el consumo real del sistema de luminarias y se evaluó la capacidad del sistema fotovoltaico existente. Este análisis permitió verificar la viabilidad técnica de integrar un sistema de almacenamiento energético sin comprometer el desempeño ni la estabilidad del sistema existente.

❖ El diseño del sistema de almacenamiento de energía se realizó considerando criterios técnicos, económicos y de seguridad, seleccionando baterías tipo gel debido a su bajo mantenimiento, mayor seguridad operativa y adecuada profundidad de descarga, capacidad del banco de baterías y eficiencia global, asegurando un equilibrio entre desempeño, vida útil y costos de implementación.

8. RECOMENDACIONES

❖ Se recomienda implementar un sistema de monitoreo permanente del estado de carga y profundidad de descarga del banco de baterías, con el fin de optimizar su vida útil y asegurar un desempeño confiable del sistema en modo isla [2].

❖ Se sugiere evaluar, en futuras ampliaciones del sistema, la incorporación de controladores de carga tipo MPPT, los cuales permitirían un mejor aprovechamiento de la energía solar disponible y un incremento en la eficiencia global del sistema fotovoltaico [4].

❖ Asimismo, se recomienda que la Universidad Técnica de Cotopaxi considere replicar el modelo implementado en otros bloques o instalaciones deportivas, como parte de una estrategia institucional orientada a la sostenibilidad energética, la reducción de costos operativos y el fortalecimiento de la resiliencia energética ante fallas del suministro eléctrico [1].

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. A. Luis, M. Oña, G. E. Stalin, M. P. Naranjo, y W. Paul, «UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA LA CANCHA SINTETICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”», ago. 2025.
- [2] Pilot613, «Comprensión de los sistemas fotovoltaicos: su guía completa sobre energía solar - Pilot», <https://www.pilotenergystorage.com/es/understanding-photovoltaic-systems-your-complete-guide-to-solar-energy/>.
- [3] Solcore, «Construcción de paneles solares para empresas | Solcor Chile». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://solcorchile.com/servicios/construccion-de-paneles-solares/>
- [4] G. A. Salazar Díaz, «Comparación de la eficiencia entre los sistemas de generación fotovoltaicos conectados a la red y los sistemas aislados», <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7204>.
- [5] I. Enjuanes, «Instalación Fotovoltaica: Conectada a la Red vs Aislada», <https://shop.fischer.es/blogs/blog-fischer/instalacion-fotovoltaica-conectada-a-la-red-vs-aislada>.
- [6] E. ciency for E. Redacción, «8 elementos que componen una instalación fotovoltaica - E4e Soluciones», <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/8-elementos-que-componen-una-instalacion-fotovoltaica>.
- [7] J. Alonso, «Sistemas fotovoltaicos: que son, componentes, dimensiones, tipos e instalación | SunFields», <https://www.sfe-solar.com/sistema-fotovoltaico/>.
- [8] Hidronik, «Sistema fotovoltaico: qué es, cómo funciona y qué necesitas». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://hydronik.es/sistemas-solares-fotovoltaicos-energia-verde/>
- [9] P. Melendez, «Sistemas Fotovoltaicos: ¿Interconectados o Autónomos?», <https://citsolar.mx/sistemas-fotovoltaicos-interconectados-o-autonomos/>.
- [10] H. Herard Tutores, I. Raynel Díaz Santos MsC Lic Belén Herrera Acosta DrC Miguel Castro Fernández, L. Habana, y J. de, «Facultad de Ingeniería Eléctrica “Sistema fotovoltaico conectado a la red para alimentar el centro de investigaciones y pruebas electroenergéticas (CIPEL)” Colaboradores: Lic. Tomás Lay; Ing. Jorge Luis Gironella “Año 54 de la Revolución”», 2012.

- [11] enlinht, «Baterías para paneles solares: Qué son, para qué sirven y cuánto cuestan», <https://www.enlight.mx/blog/baterias-para-paneles-solares-que-son-para-que-sirven-y-cuanto-cuestan>.
- [12] DamiaSolar, «La importancia de la batería solar en los sistemas de energía solar autónomos», <https://www.damiasolar.com/blog/la-importancia-de-la-bateria-solar-en-los-sistemas-de-energia-solar-autonomos/>.
- [13] M. Hilcu, «Placas solares con baterías», <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/baterias-para-placas-solares/>.
- [14] Powerlink, «Cálculo de paneles solares y baterías». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.powerlink.solar/calculo-de-paneles-solares-y-baterias>
- [15] E. SA y E. SA, «Sistemas fotovoltaicos autónomos | Enercity S.A.», <https://enercitysa.com/blog/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>.
- [16] Jwsoluciones, «Sistemas fotovoltaicos autosustentables – JW | Electrical Solutions». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://jwsoluciones.mx/service/sistemas-fotovoltaicos/>
- [17] ingenioweb y ingenioweb, «¿Cuáles son las etapas de carga de una batería solar? | Enercity S.A.», <https://enercitysa.com/blog/baterias-solares/>.
- [18] PowMr, «Explicación de las etapas de carga de batería fotovoltaica», <https://powmr.com/es/blogs/news/what-are-the-solar-controller-s-battery-charging-stages>.
- [19] PowMr, «Etapas de carga de batería fotovoltaica - Explicación – PowMr». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://powmr.com/es/blogs/news/what-are-the-solar-controller-s-battery-charging-stages>
- [20] E. Hernández, «Qué es dimensionar un banco de baterías», <https://solar-fotovoltaico.com/componentes/acumuladores/que-dimensionar-banco-baterias/>.
- [21] E. Especialista, «Dimensionamiento de banco de baterías parte 1 - Energy DC/AC», <https://energydcac.com/dimensionamiento-banco-baterias-tablas-descarga-parte-1/>.
- [22] Néstor, «Diseño De Banco De Baterías Para Sistema Fotovoltaico - Enertik Chile», <https://enertik.com/cl/blog/baterias/disenio-de-banco-de-baterias-para-sistema-fotovoltaico/>.
- [23] Nestor, «Diseño de Banco de Baterías para Sistema Fotovoltaico Enertik Chile». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://enertik.com/cl/blog/baterias/disenio-de-banco-de-baterias-para-sistema-fotovoltaico/>
- [24] Monsolar, «No conectar baterías en paralelo». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/no-conectar-baterias-en-paralelo/>

- [25] AutoSolar, «Conexión en paralelo de paneles solares y baterías | AutoSolar 2021». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/conexion-en-paralelo-de-paneles-solares-y-baterias>
- [26] C. Vega Jefferson Jair Daza Saltos Janderson Alexander y C. Bonilla Johnatan Israel, «UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ», 2025.
- [27] K. Vega-Carranza, J. F. Piedra-Segura, y G. Richmond-Navarro, «Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Mediante una Interfaz Gráfica», *Revista Tecnología en Marcha*, jul. 2019, doi: 10.18845/tm.v32i3.4480.
- [28] J. R. Centeno Alcivar, «Metodología para el cálculo de una instalación fotovoltaica off-grid», *Reincisol.*, vol. 3, n.º 5, pp. 192-209, mar. 2024, doi: 10.59282/reincisol.v3(5)192-209.
- [29] Cables y Conductores, «【 Calibres de Cables Eléctricos 】 | Cables y Conductores». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://cablesyconductores.com/calibre-de-cables/#google_vignette
- [30] Luis Peña, «Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red | Autónomo | Off Grid - ilumin | Cursos de Energía Solar». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-aislado-de-la-red-autonomo-off-grid/>
- [31] Energía Coop, «Manual para la conexión y mantenimiento de sistemas solares autónomos», 2024.
- [32] SURA S.A, «Guía Sensibilización Riesgos Sistemas Solares», 2020.
- [33] SOLARAMA, «7 Protecciones eléctricas para Sistemas Fotovoltaicos». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://solarama.mx/blog/protecciones-electricas-para-sistemas-fotovoltaicos/>
- [34] Shutterstock, «Disyuntores de circuito eléctrico ABB instalados Foto de stock 2305059535 | Shutterstock». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.shutterstock.com/es/image-photo/abb-electric-circuit-breakers-installed-on-2305059535?dd_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
- [35] Rodrigo Chavez, «Equipo de seguridad mínimo para instalación de sistemas fotovoltaicos - CCEEA». Accedido: 7 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ccee.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/equipo-de-seguridad-minimo-para-instalacion-de-sistemas-fotovoltaicos>
- [36] Uocra, «Afiche EPP - Uocra 1 | PDF». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/531603568/Afiche-EPP-uocra-1>
- [37] SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, «Solar Energy International Fotovoltaica Manual de diseño e Instalación una panorámica de la Energía Fotovoltaica».

- [38] GIOVANY ALEJANDRO PAVÓN NARVÁEZ, «Cálculo del Rendimiento de Baterías en Sistemas Fotovoltaicos Usando Criterios de Eficiencia Energética», oct. 2018.
- [39] SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, «SOLAR ENERGY INTERNATIONAL FOTOVOLTAICA Manual de diseño e instalación Una panorámica de la energía fotovoltaica», 2022.
- [40] EDUAR MEJÍA, «Diseño de un Sistema Fotovoltaico Autónomo para el Suministro de Energía eléctrica al Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica», 2019.
- [41] Igoye, «Carga de baterías solares: Cómo funciona, problemas y soluciones». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://igoyeenergy.com/es/solar-battery-charging-how-it-works/>
- [42] POWMR, «¿Qué es un sistema de gestión de baterías (BMS) en energía solar? – PowMr». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://powmr.com/es/blogs/news/battery-bms>
- [43] BSLBATT, «¿Cómo proteger el sistema fotovoltaico? ¡Especialmente baterías solares de litio!» Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bsl-battery.com/es/news/how-to-protect-photovoltaic-system-especially-lithium-solar-batteries/>
- [44] SYSCOM, «Protección Contra Descargas Excesivas en Bancos de Baterías para Sistemas Solares Aislados». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.syscomblog.com/2021/11/proteccion-contradescargas-excesivas.html>
- [45] IGOYE, «Carga de baterías solares: Cómo funciona, problemas y soluciones». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://igoyeenergy.com/es/solar-battery-charging-how-it-works/>
- [46] JvTronic, «Kit Protector Smart 110v Monofásico 80Amp + Caja de Distribución». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.protectoresdevoltaje.com.ve/producto/kit-protector-smart-110v-monofasico-80amp-caja-de-distribucion>
- [47] SOLOMNIA, «¿Qué es la IEC 62548? - Solomnia». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://solomnia.com/que-es-la-iec-62548/>
- [48] MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, «Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Electricidad Norma de Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural», 2015.

- [49] FLUKE, «Normas y Certificación de Instalaciones Fotovoltaicas | Fluke». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-es/informacion/blog/seguridad/normas-y-certificacion-instalacion-fotovoltaica>
- [50] Vumen Innovaciones Tecnológicas Sustentables SA de CV, «Manual para la conexión y mantenimiento de sistemas solares autónomos», 2022.
- [51] Mateus Vinturini, «¿Cómo adaptar un sistema fotovoltaico existente para su uso con baterías?» Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://canalsolar.com.br/es/C%C3%B3mo-adaptar-un-sistema-fotovoltaico-existente-para-su-uso-con-bater%C3%ADas/>
- [52] Facogem, «Facogem Industrial SRL - La energía solar en aplicaciones comerciales e industriales». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.facogemi.com.pe/blog/la-energia-solar-en-aplicaciones-comerciales-e-industriales>
- [53] Alejandro Moreno, «Qué es un inversor de corriente y usos - Seguridad Para Ti». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.seguridadparati.com/blog/todo-sobre-inversor-corriente/>
- [54] SOLARIX STU, «¿Es posible añadir baterías a una instalación ya existente?» Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solarix.es/blog/anadir-baterias-instalacion-fotovoltaica-existente/>
- [55] Salvador Hernandez, «Conexiones del Banco de Baterías: Recomendaciones Generales.- CCEEA». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/conexiones-del-banco-de-baterias-recomendaciones-generales>
- [56] P. DE Ing Mauricio Macri MINISTRO HACIENDA Lic Hernán Lacunza SECRETARIO DE GOBIERNO DE ENERGÍA Lic Gustavo Lopetegui SECRETARIO DE RECURSOS RENOVABLES Y MERCADO ELÉCTRICO CPN Juan Garade y I. Nicolás Biurrún Ing María Paz Cristófalo Ing Santiago Cuccorese Lic Ignacio Ramos Defferrari Ing Daniel Raggio, «Autoridades Nacionales», dic. 2019.
- [57] SUNMASTER, «¿Cuál es la diferencia entre los controladores de carga solar PWM y MPPT? | Fabricante de Sistemas de Iluminación Solar». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solarlightsmanufacturer.com/difference-pwm-mppt-solar-charge-controllers/?lang=es>

- [58] Nestor, «Diferencias entre Controlador de Carga Solar MPPT Y PWM Enertik Chile». Accedido: 8 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://enertik.com/cl/blog/sin-categoria/diferencias-entre-controlador-de-carga-solar-mppt-y-pwm/>
- [59] Electronics BV, «Manual del propietario del controlador de carga solar tbs electronics OCS 100-20 MPPT». Accedido: 21 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://manuals.plus/es/tbs-electronics/ocs-100-20-mppt-solar-charge-controller-manual>
- [60] C. DE Ingeniería Electromecánica, P. Pallo Sergio Ivan Patango Ayala Mauricio Ivan, y I. F. Trujillo Ronquillo Danilo, «Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas-Ciya Autor: Implementación de la Iluminación con Energía Eólica para la Cancha Múltiple Del Recinto Salento de la Parroquia Guasaganda del Cantón La Maná, Provincia de Cotopaxi», mar. 2022.
- [61] C. Satan *et al.*, «UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERÍAS Y APLICADAS CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA PROPUESTA TECNOLÓGICA Autores», feb. 2020.
- [62] «IV Congreso Internacional De Investigación Científica UTC La Maná 2019 Libro De Resúmenes». Accedido: 15 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.calameo.com/read/006112310d5b7f744b4a9>
- [63] Michell Mantuano, «MANTUANO HOLGUIN MICHELL NICOLAS», 2025.