

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC EXTENSIÓN LA MANÁ

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

AUTORES:

Portilla Cifuentes Maycol Marcelo

Suárez Simba César Armando

TUTOR:

Ing. William Armando Hidalgo Osorio Msc.

LA MANÁ – ECUADOR

AGOSTO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Portilla Cifuentes Maycol Marcelo, con cédula de ciudadanía No. 172794915-6, Suarez Simba Cesar Armando , con cédula de ciudadanía No. 125027813-0 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC EXTENSIÓN LA MANÁ"**, siendo el Ing. William Armando Hidalgo Osorio Msc. Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

La Maná, 18 agosto del 2026

.

Suarez Simba Cesar Armando
C.C: 125027813-0.

Portilla Cifuentes Maycol Marcelo
C.C: 172794915-6

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

"IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC EXTENSIÓN LA MANÁ", de Portilla Cifuentes Maycol Marcelo ; Suarez Simba Cesar Armando, 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, 19 agosto del 2026

Ing. William Armando Hidalgo Osorio Msc.
C.C.: 050265788-5
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de Investigación, de conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto, los postulantes: Portilla Cifuentes Maycol Marcelo, y Suarez Simba Cesar Armando, con el título del Proyecto de Investigación: **"IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC 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.

La Maná, 19 de agosto del 2026

Para constancia firman:

Ing. Alex Darwin Paredes Anchatipan MSc
C.C.: 050361493-5
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Yoandrys Morales Tamayo, PhD
C.C.: 175695879-7
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. William Paul Pazuña Naranjo, MSc.
C.C.: 050333859-2
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 la luz que ilumina el camino hacia el progreso y la transformación de la sociedad."***

— Maycol P. y Cesar S.

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.

Maycol

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.

Cesar

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: "IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC EXTENSIÓN LA MANÁ"

Autores:

Portilla Cifuentes Maycol Marcelo

Suarez Simba Cesar Armando

RESUMEN

La presente tesis tiene como finalidad diseñar e implementar la etapa de potencia (inversor y controlador) de un sistema fotovoltaico autónomo para la cancha sintética del bloque b de la utc extensión la maná. el proyecto surge ante la necesidad de contar con un suministro eléctrico confiable, sostenible y económico para la iluminación y equipos auxiliares de la cancha, reduciendo la dependencia de la red pública y promoviendo el uso de energías renovables. El estudio se fundamenta en el efecto fotovoltaico, principio que permite la conversión directa de la radiación solar en electricidad, y en la importancia de los factores que afectan la eficiencia del sistema, como la irradiación, la temperatura y la orientación de los paneles. se analizan los conceptos de inversores, encargados de transformar la corriente continua en alterna, y de controladores de carga, responsables de regular el flujo energético y proteger las baterías. asimismo, se consideran las normativas nacionales e internacionales que garantizan la seguridad y calidad de la instalación. La metodología aplicada incluye investigación documental, diagnóstico energético de la cancha, dimensionamiento del sistema, diseño eléctrico, implementación de equipos, pruebas de funcionamiento y evaluación de resultados. se espera que el sistema fotovoltaico autónomo diseñado proporcione un suministro confiable y eficiente, constituyendo un modelo replicable en otros espacios de la universidad y fortaleciendo la formación académica en energías renovables.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico autónomo; energía solar; inversor; controlador de carga; eficiencia energética.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

LA MANÁ EXTENSION

TITLE: "IMPLEMENTATION OF THE POWER STAGE (INVERTER AND CONTROLLER) FOR THE AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEM OF THE SYNTHETIC FIELD, BLOCK B, UTC LA MANÁ EXTENSION"

Authors:

Portilla Cifuentes Maycol Marcelo

Suárez Simba César Armando

ABSTRACT

this thesis aims to design and implement the power stage (inverter and controller) of an autonomous photovoltaic system for the synthetic field of block b at the utc la mana extension. the project arises from the need to have a reliable, sustainable, and cost-effective electricity supply for the lighting and auxiliary equipment of the field, reducing dependence on the public grid and promoting the use of renewable energy sources.

the study is based on the photovoltaic effect, a principle that allows the direct conversion of solar radiation into electricity, and on the importance of factors that affect system efficiency, such as irradiance, temperature, and panel orientation. the concepts of inverters, responsible for transforming direct current into alternating current, and charge controllers, which regulate energy flow and protect batteries, are analyzed. likewise, national and international standards and regulations are considered to ensure the safety and quality of the installation.

the methodology applied includes documentary research, energy diagnosis of the field, system sizing, electrical design, equipment implementation, functional testing, and evaluation of results. it is expected that the designed autonomous photovoltaic system will provide a reliable and efficient electricity supply, serving as a replicable model in other university facilities and strengthening academic training in renewable energy.

Keywords: autonomous photovoltaic system; solar energy; inverter; charge controller; energy efficiency;

ÍNDICE GENERAL

PORTADA i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN iv
AGRADECIMIENTO v
DEDICATORIA vi
RESUMEN viii
ABSTRACT ix
ÍNDICE GENERAL x
ÍNDICE TABLAS xvii
ÍNDICE FIGURAS xix
ÍNDICE ECUACIONES xx
1. INTRODUCCIÓN 2
1.1. Justificación 2
1.2. Beneficiarios del proyecto 3
1.2.1. Beneficiarios principales 3
1.2.2. Beneficiarios secundarios 4
1.3. Problemas de la investigación 5
1.3.1. Problemática 5
1.3.2. Formulación del problema 6
2. OBJETIVOS 6
2.1. Objetivo general 6
2.2. Objetivos específicos 6
2.3. Actividades y sistema de tareas relacionados con los objetivos planteados 7
3. MARCO TEÓRICO 7
3.1. Tipos de sistemas fotovoltaico 9

3.2. Comparación del sistema fotovoltaico On-Grid y Off-Grid 10
3.3. Elementos de un sistema fotovoltaico. 10
3.4. Protecciones 11
3.5. Sistema fotovoltaico autónomo Off-Grid. 11
3.6. Descripción de la etapa de potencia aplicada en el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC, extensión La Mana, bloque B. 12
3.7. Tipos de inversores. 13
3.8. Tipo de inversor seleccionado para la etapa de potencia. 14
3.9. Descripción y funcionamiento del inversor de onda senoidal pura. 14
3.9.1. descripción 14
3.9.2. funcionamiento. 15
3.10. Mantenimiento del inversor de onda senoidal pura 16
3.11. Aplicación del inversor de onda senoidal pura en el sistema fotovoltaico autónomo existente 16
3.12. Ciclo de vida útil del inversor de onda senoidal pura 17
3.13. Dimensionamiento del inversor de onda senoidal pura para el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC extensión La Mana, bloque B. 17
3.13.1 Calculo de la potencia total. 17
3.13.2. Calculo de la potencia nominal del inversor de onda senoidal pura 18
3.13.3 Determinación del voltaje de entrada. 18
3.13.4. Características de salida requerida 18
3.13.5. Corrientes de operación y picos de arranque. 19
3.13.6. Potencia pico. 19
3.13.7. Especificaciones finales del inversor. 20
3.14. Condiciones de seguridad del inversor de onda senoidal pura. 21
3.15. Distribución eléctrica del inversor de onda senoidal pura. 21
3.15.1. Lado de entrada (48V CC) 22
3.15.2. Lado de la salida (220V CA / 60 Hz). 22
3.16. Conversión energética mediante el inversor de onda senoidal pura. 22

3.16.1. Entrada de energía en corriente continua..... 22
3.16.2. Elevación y conmutación controlada..... 23
3.16.3. Filtración y obtención de una onda limpia. 23
3.17. Regulación y suministración a la carga. 23
3.18. Tipos de controladores o reguladores..... 24
3.18.1. Controlador PWM (Modulación por Ancho de Pulso)..... 24
3.18.2. Controlador MPPT (Seguimiento del Punto Máximo de potencia)..... 24
3.19. Tipo de controlador seleccionado para la etapa de potencia. 25
3.20. Descripción y funcionamiento del controlador MY-MPPT30A..... 27
3.20.1. Descripción..... 27
3.20.2. funcionamiento..... 27
3.20.3. Protecciones y límites de operación. 28
3.21. Mantenimiento del controlador MY-MPPT 30A. 28
3.22. Aplicación del controlador MY-MPPT30A en el sistema fotovoltaico existente. 28
3.22.1. conexión e integración al sistema..... 28
3.23. Ciclo de vida útil del controlador MY-MPPT 30A. 29
3.23.1. Factores que determinan su durabilidad 29
3.24. Dimensionamiento del controlador MY - MPPT 30A para el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC extensión La Mana bloque B. 30
3.24.1. cálculo del voltaje de entrada al controlador 30
3.24.2. Calculo de la corriente máxima de arranque. 30
3.24.3. Calculo de la potencia máxima gestionada..... 31
3.24.4. Coincidencia con el voltaje de las baterías..... 31
3.25. Condiciones de seguridad del controlador MY – MPPT 30A..... 32
3.26. Distribución eléctrica del controlador MY – MPPT 30A..... 33
3.27. Gestiona miento energético del inversor y el controlador…,,,,,,..... ...34
3.27.1. Gestiona miento realizado por el inversor de onda senoidal pura..... 34
3.27.2. Gestiona miento realizado por el controlador MY – MPPT 30A..... 34

3.28. Tipos de baterías: composición y funcionamiento. 34
3.28.1. Batería de litio. 35
3.28.2. Batería de gel. 35
3.29. Tipo de baterías existentes en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, extensión La Mana bloque B. 35
3.30. Descripción y funcionamiento de las Baterías de tipo gel 36
3.230.1. descripción de las baterías tipo gel 36
3.30.2. Funcionamiento de las baterías tipo gel 37
3.31. Aplicación de las baterías tipo gel en el sistema fotovoltaico 37
3.32. Dimensionamiento del banco de baterías para el sistema fotovoltaico autónomo 38
3.32.1. Calculo de la energía requerida diaria 38
3.32.2. Energía corregida, ... 38
3.32.3. capacidad total del banco de baterías 39
3.32.4. capacidad en Amperios – hora 39
3.32.5. Configuración del Banco de baterías 39
3.32.6. Resultados del dimensionamiento 39
3.33. Condiciones de seguridad del banco de baterías tipo gel existente en la UTC extensión La Mana bloque B 40
3.34. Tipos de paneles solares 40
3.35. Tipo de panel solar existe en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, extensión La Mana bloque B 42
3.36. Descripción y funcionamiento de los paneles solares en la UTC extensión La Mana bloque B. 42
3.36.1. Descripción 42
3.33.2. Funcionamiento 43
3.37. Dimensionamiento de los paneles solares existentes en el sistema fotovoltaico autónomo en la UTC extensión La Mana bloque B 43
3.37.1. Energía diaria requerida 43
3.37.2. Energía que debe generar los paneles solares existentes 44
3.37.3. Potencia instalada 44

3.37.4. Voltaje de los paneles solares 44
3.37.5. Corriente de los paneles solares 44
3.37.6 Energía diaria que generan los 3 paneles 45
3.38. Tipo de luminarias LED existente en la sintética de la UTC extensión La Mana bloque B 45
3.38.1. Descripción. 46
3.38.2. Cumplimiento del sistema 47
3.39. Normativas de protección y seguridad 47
3.39.1. Normativas de protección eléctrica 47
3.39.2. Normativas de seguridad 47
3.40. Radiación solar en el cantón La Mana, perfil diario 48
3.40.1. Valorares usados en el proyecto 48
4. METODOLOGÍA 49
4.1. Diseño 49
4.2. Tipo y enfoque de investigación. 50
4.3. Enfoque mixto 50
4.4. Materiales y Equipos Utilizados 50
4.5. Procedimientos Técnico-Experimentales 52
4.5.1. Recolección de datos previa a elección de inversor y controlador. 52
4.5.2. Elección de inversor. 53
4.5.3. Configuración anterior de los paneles 54
4.5.4. Configuración actual en serie de los paneles 55
4.5.5. Selección de controlador de carga MPPT 56
4.5.6. Dimensionamiento del conductor de tramo panel-controlador 57
4.5.7. Configuración del banco de baterías 58
4.5.8. Dimensionamiento de conductor de tramo batería-inversor 59
4.5.9. Dimensionamiento de conductor del inversor hacia tablero 60
5. Análisis y discusión de resultados 60
5.2. Validación experimental y pruebas 60

5.1. Inspección previa 61
5.2. Tiempo de carga de las baterías 61
5.2.1. Tiempo de descarga total del banco de baterías 61
5.3. Materiales utilizados para la implementación 62
6. Planificación del proyecto 63
7.Plano unifilar del sistema eléctrico fotovoltaico 64
4.19.3. Circuito eléctrico 67
7. Cálculos completos considerando caídas de tensión 69
7.1. Demanda energética del sistema de iluminación LED 69
7.2. Cálculos de consumo energético ahorro económico 69
7.3. Banco de baterías. 70
7.4. Cálculo de calibre de cable. 71
7.5. Controlador a baterías 72
7.6. Baterías al inversor 73
7.6.1. calibre seleccionado: 2 AWG 73
7.7. Inversor a la carga de iluminación. 73
8. Consideraciones 74
8.1. Consideración de pérdidas 75
8.1.1Cálculos de perdida energética tramo 1: Panel solar a controlador o regulador de carga. 76
8.1. 2 Cálculos de perdida energética tramo 2: Controlador a baterías. 77
8.3. Cálculos de perdida energética tramo 3: banco de baterías a inversor. 78
8.4. Cálculos de perdida energética tramo 4: inversor a tablero de mando. 80
8.5. Prueba experimental de autonomía del sistema 83
9. Impacto económico 84
10. PRESUPUESTO DEL PROYECTO 85
11. RESULTADO Y DISCUSIONES 86
11.1. Resultados 86
11.2. Discusiones 87

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 88
7.1. Conclusiones 88
7.2. Recomendaciones 88
8. BIBLIOGRAFÍA 89

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos. 7

Tabla 2.Sistemas fotovoltaicos 9

Tabla 3.Comparacion de un sistema conectado a la re electrica On Grid y el de un sistema aislado Off Grid 10

Tabla 4.Componentes especificos y su funcion 12

Tabla 5. Cmparativos por forma de onda. 13

Tabla 6. Análisis comparativo entre reguladores de carga PWM y MPPT 16

Tabla 7. distancia de seguridad. 18

Tabla 8. Instrucciones de uso de los botones. 19

Tabla 9. Interfaz principal predeterminada del sistema. 20

Tabla 10. Formulas de dimencionamiento del inversor. 21

Tabla 11. Cuadro comparativo (PWM, MPPT). 25

Tabla 12. Caracteristicas principales del equipo 26

Tabla 13. Datos de entradas. 30

Tabla 14. Resumen de verificasion. 32

Tabla 15. Formulas para el dimencionamiento del controlador. 32

Tabla 16. Descripcion de cada bloque de conexión del controlador. 33

Tabla 17. Caracteristicas de la bateria tipo gel. 36

Tabla 18. Datos. 38

Tabla 19. Resumen del dimencionamiento. 39

Tabla 20. Prinsipales tecnologuias de paneles solares. 41

Tabla 21. Caracteristicas del panel existente. 42

Tabla 22. Datos para el dimencionamiento de los paneles solares. 43

Tabla 23. Resumen final del dimencionamiento de los paneles solares. 45

Tabla 24. Indicaciones tecnicas. 46

Tabla 25. Distribusion aproximada de la radiacion largo del dia. 48

Tabla 26. Comparación entre parámetros de diseño y medición real del implementado. 51

Tabla 27. Comparación metodológica con investigaciones similares. 52

Tabla 28. Validación final del diseño mediante comparación teórica y experimental. 53

Tabla 29. Resultados experimentales de autonomía. 54

Tabla 30. Presupuesto del proyecto 56

Tabla 31. Especificaciones de calibre en conductors..... 57

Tabla 32. Herramientas utilizadas..... 62

Tabla 33. Cronograma de trabajo..... 63

Tabla 34. Rangos de operación según la norma NEC-690. 75

Tabla 35 Perdidas de conductores conforme a criterios técnicos aceptables..... 80

Tabla 36. Comparación metodológica con investigaciones similares. 81

Tabla 37. Resultados experimentales de autonomía. 82

Tabla 38. Impacto económico..... 83

Tabla 39. Presupuesto del proyecto 84

Tabla 40. Resultados de invercion y rentabilidad..... 86

Tabla 41.Calculo de retorno de invercion..... 87

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Beneficiarios directos por género de la UTC Extensión La Maná. 3

Figura 2. Cantidad de los beneficiarios secundarios 5

Figura 3. Elementos proteccion en la etapa de potencia del sistema fotovoltaico autonomo del bloque B, UTC extencion La Mana 11

Figura 4. Sistema fotovoltaico autonomo Off Grid. 12

Figura 5. Inversor de onda senoidal pura 14

Figura 6. Optencion de una onda limpia 24

Figura 7. Controlador MY – MPPT 30A 26

Figura 8. Diagrama esquematico de conexion 34

Figura 9. Seguridad en la instalación del inversor 36

Figura 10. Composicion de las baterias de gel..... 40

Figura 11. Radiacion en el canton la mana perfil diario 49

Figura 12. Inversor para sistemas aislados o independientes de la red eléctrica……...51

Figura 13. Manual en español 58

Figura 14. Comportamiento del regulador de carga MPPT. 65

Figura 15. Diagrama esquemático de conexión)..... 67

ÍNDICE ECUACIONES

La Ecuación 1. Potencia total tomado de 17
La Ecuación 2. Potencia del inversor, tomada de 18
La Ecuación 3. Corriente nominal de entrada CC tomada de 19
La Ecuación 4. Corriente nominal de salida tomada de 19
La Ecuación 5. Voltaje, entrada al controlador tomado de 30
La Ecuación 6. Corriente maxima de arranque tomada de 31
La Ecuación 7. Potencia maxima gestionada, tomada de 31
La Ecuación 8. Energuia requerida diaria, tomada de 38
La Ecuación 9. Energuia correguida, tomada de 38
La Ecuación 10. Profundidad de descarga, tomada de 39
La Ecuación 11. Capasidad en A/h, tomada de 39
La Ecuación 12, Energuia diaria requerida, tomada de 44
La Ecuación 13. Energuia generada, tomada de 44
La Ecuación 14. Potencia inicial, tomada de 44
La Ecuación 15. Voltaje total de los paneles solares, tomada de 44
La Ecuación 16. Energuia diaria generada por los 3 paneles, tomada de 45
La Ecuación 17.Corriente total 55
La Ecuación 18 Voltaje total..... 55
La Ecuación 19. Potencia total de los paneles 55
La Ecuación 20. Voltaje total de paneles..... 55
La Ecuación 21 Potencia total por los 3 paneles en serie 56
La Ecuación 22 Corriente de diseño 58
La Ecuación 23. Voltaje total del banco de baterias..... 59
La Ecuación 24. Capacidad total del banco de baterias..... 59
La Ecuación 25. Energia nominal..... 59
La Ecuación 26. Potencia de carga 59
La Ecuación 27.Corriente directa..... 59
La Ecuación 28. Corriente alterna..... 60
La Ecuación 29. Punto de carga..... 61

La Ecuación 30. Tiempo de carga..... 61
La Ecuación 31. Tiempo de descarga 45
La Ecuación 32. Energia nomina 62
La Ecuación 33. Tiempo total de descarga 45

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: abril 2026

Fecha de finalización: agosto 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. William Armando Hidalgo Osorio

Postulantes: Sr. Portilla Cifuentes Maycol Marcelo
Sr. Suarez Simba Cesar Armando

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de sistemas que se basan en energías renovables ha sido estimulado por el incremento en la demanda de energía y la necesidad de disminuir la dependencia de fuentes tradicionales. La energía solar fotovoltaica, entre otras, se ha establecido como una opción sostenible y viable que puede convertir la radiación solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico.

En la Universidad Técnica de Cotopaxi, más concretamente en su sede Extensión La Maná, es imprescindible aplicar soluciones energéticas que aseguren un servicio fiable para las instalaciones deportivas, en particular para el campo sintético del bloque B. Esto se debe a que el consumo de electricidad para la iluminación y los equipos auxiliares supone un reto permanente.

La presente investigación se enfoca en la puesta en funcionamiento de la fase de potencia (controlador e inversor) de un sistema fotovoltaico autónomo, con el objetivo de garantizar un suministro eléctrico eficaz, seguro y sustentable. El inversor y el controlador de carga son componentes esenciales para que el sistema funcione, pues hacen posible cambiar la corriente continua en alterna y controlar el flujo de energía hacia las baterías. Esto asegura la estabilidad y extiende la vida útil de los equipos.

Además, el proyecto se realiza dentro del marco de las regulaciones nacionales e internacionales que garantizan la seguridad y calidad de la instalación, lo cual favorece el crecimiento académico e institucional en el sector de energías renovables. En esta línea, la investigación persigue no solo atender una necesidad práctica de la universidad, sino también establecer un modelo que pueda ser reproducido en otros contextos, con el objetivo de consolidar la educación de los alumnos y reafirmar el compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental.. [1]

1.1. Justificación

Para cubrir las necesidades de las luces instaladas, el sistema fotovoltaico actual que proporciona energía a la cancha sintética del Bloque B necesita una mejora confiable. En la actualidad, el sistema se basa en su mayor parte en la red eléctrica convencional y solo funciona de forma autónoma mediante la infraestructura fotovoltaica existente durante un periodo de tiempo muy corto. La puesta en marcha de una fase de potencia apropiada facilitará el uso de energías sostenibles y limpias, disminuir la dependencia del suministro público, consolidar la

educación práctica de los alumnos de ingeniería eléctrica y energías renovables, así como también establecer un modelo que se pueda replicar en otras instalaciones universitarias. [2]

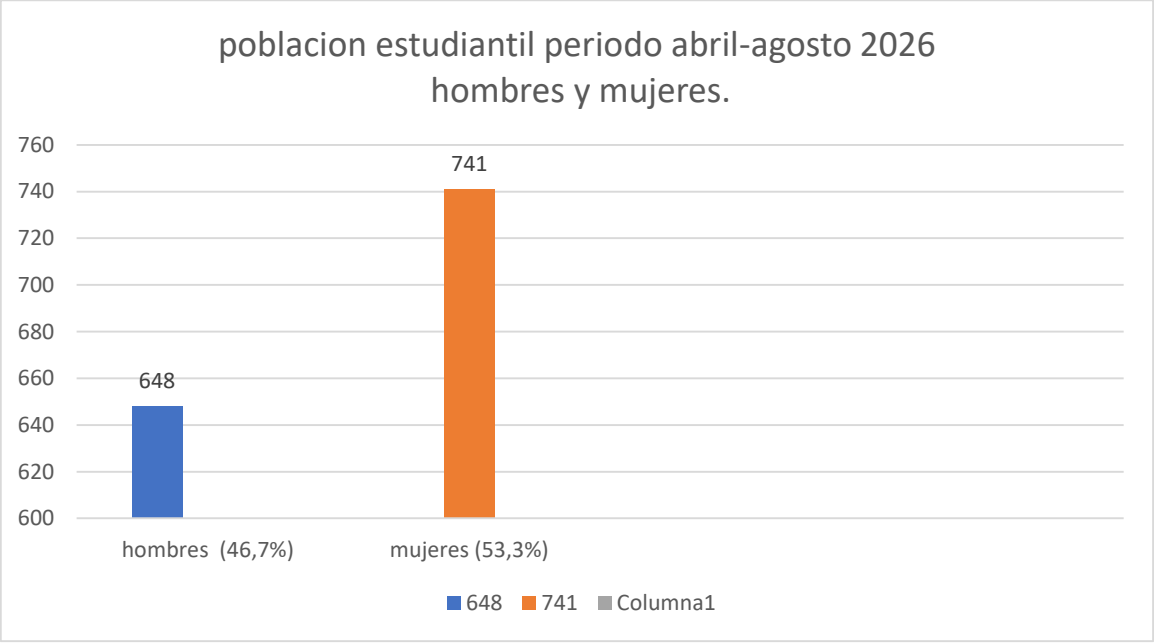
1.2. Beneficiarios del proyecto

Con base en la naturaleza de la instalación y los datos estadísticos de matrícula entre abril y agosto del 2026, los beneficiarios se establecen de la siguiente manera:

1.2.1. Beneficiarios principales

Las personas que emplean de manera directa, regular y prioritaria la infraestructura y el sistema energético establecido constituyen este grupo. En primer lugar, están los alumnos de la extensión La Mana. Hay 1389 estudiantes matriculados en total, de los cuales 298 son de la carrera de Ingeniería Electromecánica (LMIELM). Los maestros y los empleados administrativos, encargados de la planificación, supervisión y desarrollo de tareas académicas, recreativas y deportivas dentro de la institución, ocupan el segundo lugar. Esta instalación funcionará como un banco de pruebas auténtico para materias de sistemas eléctricos y energía renovable.. [3]

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



Fuente: *Portilla M. & Suarez C. (2026)*

1.2.2. Beneficiarios secundarios

Se entiende por beneficiarios secundarios del proyecto a todos los conjuntos que, aunque no son los usuarios directos y primordiales de la cancha sintética o del sistema fotovoltaico instalado, se benefician de manera indirecta con el desarrollo y la operación de estos. Este grupo de actores es esencial para evaluar el efecto global de la propuesta, pues posibilita ver cómo la aplicación de infraestructura sostenible va más allá del uso inmediato y produce valor añadido en varios sectores de la institución y su entorno.

En primer lugar, están las autoridades universitarias, que son responsables de gestionar y asegurar la calidad de los servicios educativos. Para ellas, el proyecto supone un incremento de la eficiencia energética porque disminuye la dependencia del abastecimiento eléctrico convencional. Asimismo, al cumplir con las regulaciones nacionales acerca de energías limpias, la universidad mejora su imagen institucional.

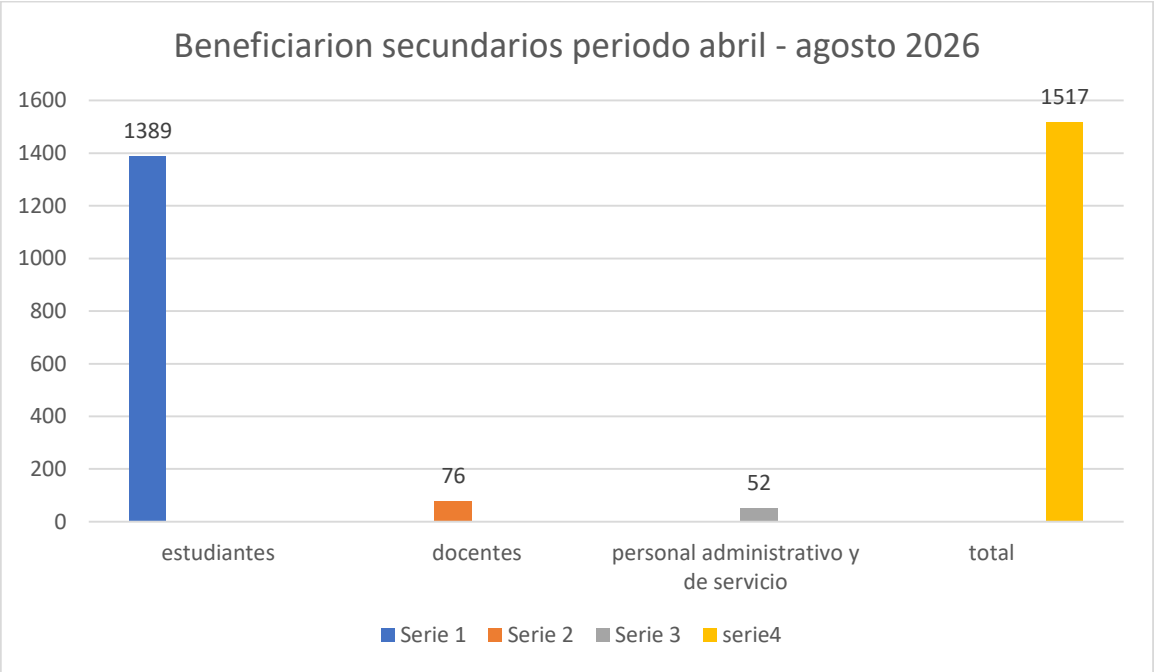
En segundo lugar, este grupo incluye al personal de mantenimiento y servicios generales, cuya responsabilidad es asegurar el buen estado de las instalaciones y los equipos del establecimiento. Para este equipo, el sistema fotovoltaico autónomo constituye una infraestructura más confiable y estable, con menos probabilidades de sufrir fallos debido a cortes imprevistos en el suministro eléctrico o cambios de voltaje. Los componentes escogidos necesitan poco mantenimiento en comparación con los generadores que funcionan a combustible, lo que disminuye la carga laboral, el tiempo de revisión y el dinero gastado en piezas de repuesto o en combustibles. Además, se reducen los peligros laborales relacionados con la operación de equipos térmicos o de combustión, lo cual genera un ambiente laboral más seguro y sano para todos los trabajadores operativos.

La comunidad educativa en un sentido más amplio, que comprende a alumnos, profesores y personal administrativo de otras áreas que no usan la cancha con frecuencia, pero se benefician de las mejoras generales, es otro grupo relevante. La disponibilidad de una fuente confiable de energía asegura la provisión para eventos institucionales, jornadas de integración, encuentros académicos y actividades culturales que ocurren en horas nocturnas o en áreas próximas a la instalación. Además, se previenen las interrupciones en la ejecución de actividades complementarias, lo que ayuda a tener una mejor organización y continuidad de la vida universitaria en su conjunto.

Por último, se incorporan los alumnos de otras disciplinas que, a pesar de no emplear el sistema en la práctica en sus materias, adquieren conocimientos acerca de su presencia y funcionamiento, obteniendo así una formación completa sobre el empleo responsable de los

recursos. En resumen, los beneficiarios secundarios incrementan la extensión del proyecto, evidenciando que invertir en infraestructura sostenible produce beneficios económicos, sociales y medioambientales que van más allá de su uso inicial.. [4]

Figura 2. Cantidad de los beneficiarios secundarios.



Fuente: [5]

1.3. Problemas de la investigación

1.3.1. Problemática

La red pública de distribución es la única fuente de energía eléctrica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión "La Maná". Esta red tiene problemas recurrentes, como cortes inesperados y variaciones del voltaje, sobre todo durante las horas de la noche y en los períodos con más demanda. Su funcionamiento no es tan eficaz porque el tiempo de operación es limitado, tal como sucede con el sistema fotovoltaico que ya existe y que proporciona energía a las luces del campo. Esta circunstancia impacta directamente en la operación de las instalaciones, restringiendo el empleo de la cancha sintética del Bloque B, porque no se puede activar su sistema de iluminación sin un servicio estable. Como consecuencia, esta infraestructura únicamente puede emplearse en las horas de luz del sol y el tiempo que el sistema fotovoltaico actual esté en funcionamiento, limitando así el acceso a más de 1517

alumnos, profesores y personal administrativo que podrían hacer uso de ella para eventos institucionales, actividades recreativas, deportivas e integradoras.

Desde la perspectiva académica, también hay una limitación: los alumnos de carreras como Ingeniería Electromecánica son instruidos teóricamente en energías renovables y tienen una infraestructura real, pero esta no es muy apropiada para llevar a cabo esos conocimientos, examinar su rendimiento o elaborar proyectos prácticos. En la extensión de la universidad "La Maná".

Por lo tanto, el problema principal se reduce a la ausencia de una etapa de potencia (controlador e inversor) en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC extensión La Maná bloque B, que posibilite asegurar el abastecimiento eléctrico para iluminar la cancha sintética, extender las horas durante las cuales se puede usar esa infraestructura y funcionar como instrumento educativo para los miembros de la comunidad universitaria. [6]

.

1.3.2. Formulación del problema

¿Cómo implementar una etapa de potencia (inversor y controlador) en el sistema fotovoltaico existente, que permita continuar operando, 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

Diseñar e implementar la etapa de potencia (inversor y controlador) de un sistema fotovoltaico autónomo para la cancha sintética del bloque B, UTC extensión La Maná.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la demanda energética exacta requerida para el funcionamiento del sistema de iluminación de la cancha sintética del Bloque B.
- Realizar el dimensionamiento técnico y seleccionar el tipo de inversor y controlador adecuados para el sistema fotovoltaico autónomo, adaptado a las condiciones climáticas de La Maná.

- Diseñar la etapa de potencia y el esquema de conexión que garantice un suministro eléctrico estable, seguro y continuo.

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.

Objetivo Específico	**Actividad Principal**	**Tareas Específicas**
1. Determinar la demanda energética	Levantamiento de cargas	• Determinar la potencia total de la iluminación • Calcular consumo diario en kWh
2. Realizar el dimensionamiento técnico	Diseño técnico	• Obtener radiación solar de la zona • Seleccionar inversor y controlador
3. Diseñar la etapa de potencia	Diseño de conexiones	• Dibujar diagrama unifilar • Definir protecciones y cableado

Fuente: [7]

3. MARCO TEÓRICO

El sistema fotovoltaico es un dispositivo que convierte la radiación solar en electricidad a través del efecto fotovoltaico de células semiconductoras. Esto lo hace una fuente de energía renovable, limpia y sin emisiones contaminantes. Se clasifica principalmente en sistemas independientes o autónomos, que son capaces de operar sin la necesidad de contar con el suministro de electricidad pública. Los paneles solares, que recogen la energía; el controlador de carga, que controla el paso de electricidad; el banco de baterías, que guarda la energía para utilizarla por la noche o en días nublados; y el inversor, que transforma la corriente continua en alterna son sus partes principales.

Su eficiencia depende de la radiación solar, la dirección de los equipos, la temperatura del ambiente y su rendimiento. Tiene una vida útil de más de 20 años y requiere poco mantenimiento. Además de disminuir la huella de carbono y los costos operativos, es perfecto para áreas con un servicio eléctrico poco estable; este proyecto se destina a proveer energía para

la iluminación del campo sintético del Bloque B en la Extensión La Maná de la Universidad Técnica de Cotopaxi, lo que posibilita extender su periodo de utilización y también sirve como recurso educativo para el aprendizaje del alumnado, transformándose en una solución económica y sustentable a largo plazo.

Cuando la luz del sol incide sobre las celdas fotovoltaicas, que están hechas de materiales semiconductores como el silicio, se produce este fenómeno físico. Los electrones liberados generan un flujo ordenado de corriente eléctrica en forma de corriente continua. La magnitud de esta corriente depende directamente de varios factores ambientales: la inclinación y la orientación de los paneles, la temperatura ambiente y la intensidad con que irradia el sol. También influye en ella lo que es propio de cada módulo instalado.

Para asegurar su funcionamiento en la noche o cuando hay cortes de luz por parte de la red pública, el sistema se organiza en cuatro subsistemas principales que trabajan juntos: el subsistema de generación, compuesto por los paneles fotovoltaicos que tienen como función captar y transformar la energía solar; el subsistema de almacenamiento, formado por baterías de ciclo profundo que están diseñadas para almacenar la energía sobrante sin sufrir daños debido a descargas continuas; el subsistema de acondicionamiento energético o etapa de potencia, que incluye al inversor y al controlador de carga, componentes clave para regular el voltaje, proteger los dispositivos y ajustar la energía a lo requerido; y finalmente el subsistema de consumo, que está constituido por las luces del área deportiva..

El controlador de carga tiene como tarea principal administrar el flujo de corriente entre los paneles y el banco de baterías, previniendo circunstancias de sobrecarga o sobre descarga que disminuirían considerablemente la vida útil del almacenamiento. Puede ser PWM o MPPT, siendo esta última la más eficaz porque optimiza la captación de energía en condiciones variables hasta un 30% más.

Por su parte, el inversor tiene la responsabilidad de convertir la corriente continua guardada en corriente alterna con los valores estándar de 220V o 120V y 60Hz, según lo establecen las normas ecuatorianas, posibilitando así que todo equipo eléctrico se use de manera segura. Este tipo de sistema brinda beneficios significativos, como la autonomía energética, el coste bajo del mantenimiento y la operación a largo plazo, la ausencia de emisiones contaminantes y una duración útil de los elementos principales que va más allá de los 25 años.

Para que se implemente adecuadamente en el área de La Maná, es necesario tener en cuenta sus condiciones climáticas particulares, las cuales están marcadas por una elevada humedad y lluvias continuas, pero también por niveles favorables de radiación solar. Por lo tanto, todos los equipos deben acatar regulaciones a nivel nacional como la NTE INEN 2260,

la NTE INEN 1084 y la regulación ARCONEL 003-18; así como normas internacionales tales como la IEC 62109 y la IEC 62446, asegurando de esta manera la durabilidad, eficiencia y seguridad de toda la instalación.. [7]

3.1. Tipos de sistemas fotovoltaico

La clasificación de los sistemas fotovoltaicos se realiza mayormente en función de su conexión con la red pública eléctrica. El sistema On-Grid, que se conecta a la red, funciona acoplado al servicio convencional sin necesitar baterías de almacenamiento; su excedente es inyectado en la red para equilibrar consumos futuros, pero se apaga solo si el suministro externo falla por razones de seguridad. El sistema Off-Grid o aislado, que no depende de la red pública, requiere necesariamente inversores, reguladores de carga y bancos de baterías para almacenar y ajustar la energía producida. Esto lo hace perfecto para áreas alejadas o con un servicio irregular, como es el caso de la iluminación del campo sintético del proyecto actual.

El sistema híbrido, por otro lado, une ambas propiedades: se conecta a la red, pero posee sus propias baterías. Se da prioridad al uso de energía solar y luego a la almacenada; solo utiliza la red cuando es necesario. Además, sigue funcionando durante los cortes de luz. Además, hay otras variantes que complementan, como los sistemas de concentración enfocados en células de alto rendimiento, las micro redes (que son grupos de instalaciones capaces de funcionar por sí solas frente a fallos generales) y los equipos portátiles para usos temporales. Cada modelo se ajusta a las necesidades concretas de fiabilidad, costo y disponibilidad; el sistema autónomo es la opción más apropiada para asegurar un suministro permanente sin estar sujeto al servicio público. [8]

Tabla 2. Sistemas fotovoltaicos.

Tipo	Baterías	Conectado a la red	Funciona sin la red
On-Grid	No	Si	No
Off-Grid	Si	No	Si
Hibrido	Si	Si	Si

Fuente: **[8]**

3.2. Comparación del sistema fotovoltaico On-Grid y Off-Grid

A continuación, se presenta en la tabla 3 la comparación que tiene un sistema conectado a la red eléctrica (On-Grid) y otro es un sistema aislado de la red (Off-Grid). [8]

Tabla 3. comparación de un sistema conectado a la red eléctrica y otro siendo un sistema aislado de la red.

Parámetros	On-Grid	Off-Grid
Conexión a red eléctrica	Si se conecta a la red publica	Opera independiente mente
Banco de baterías	No requiere	Si requiere
Funcionamiento sin red	Se apaga si falla el suministro	Funciona sin depender de terceros
Excedente de energía	Se conecta a la red y se compensa	Se almacena en las baterías
Costo de instalación	Baja (sin baterías)	Alto (incluye baterías y controlador)
Mantenimiento	Menor	Mayor
Aplicación ideal	Zonas con servicio eléctrico estable	Zonas aisladas
Proyecto	No corresponde	Si corresponde

Fuente: [8]

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.

3.3. Elementos de un sistema fotovoltaico.

Los componentes de un sistema fotovoltaico varían según el tipo de sistema que se elija, por ejemplo: Off-Grid, On-Grid o híbrido. Este proyecto utilizó el sistema Off-Grid. Los elementos son los siguientes: paneles solares que convierten la radiación en corriente continua y se instalan con la estructura correspondiente; cableado protegido a través del cual circulan; y un inversor que convierte la corriente continua en alterna. El banco de baterías y el controlador de carga son elementos fundamentales para almacenar energía en noches nubladas o durante la noche, ya que funcionan sin necesidad del servicio público. La selección apropiada de cada

componente asegura la seguridad, la eficiencia y el suministro ininterrumpido para el campo sintético.. [9]

3.4. Protecciones

Es esencial contar con protecciones eléctricas al poner en marcha una etapa de potencia en los sistemas fotovoltaicos autónomos del bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Mana. Esto es porque las protecciones eléctricas evitan que las personas resulten dañadas, que los equipos sufran daños irreparables y que se produzcan riesgos como cortocircuitos o incendios. Se instaló un breaker difásico de 32A, un selector de tres posiciones y un contacto a 220V, 50/60Hz para proteger el inversor, los paneles y las baterías. Por su parte, el controlador propio tiene bloqueos contra descargas excesivas, sobrecargas y polaridad invertida. [10]

Figura 3. Elementos de protección implementados en la etapa de potencia del sistema fotovoltaico autónomo del bloque b, UTC extensión La Mana.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.5. Sistema fotovoltaico autónomo Off-Grid

Es una instalación que produce energía eléctrica a través de la radiación solar y no está conectada en absoluto a la red pública de electricidad. Como toda la energía generada se guarda en el sistema mismo, es perfecto para proyectos que necesitan independencia absoluta. Por lo tanto, representa la solución perfecta para iluminar la cancha sintética de la UTC extensión La Maná bloque B. [11]

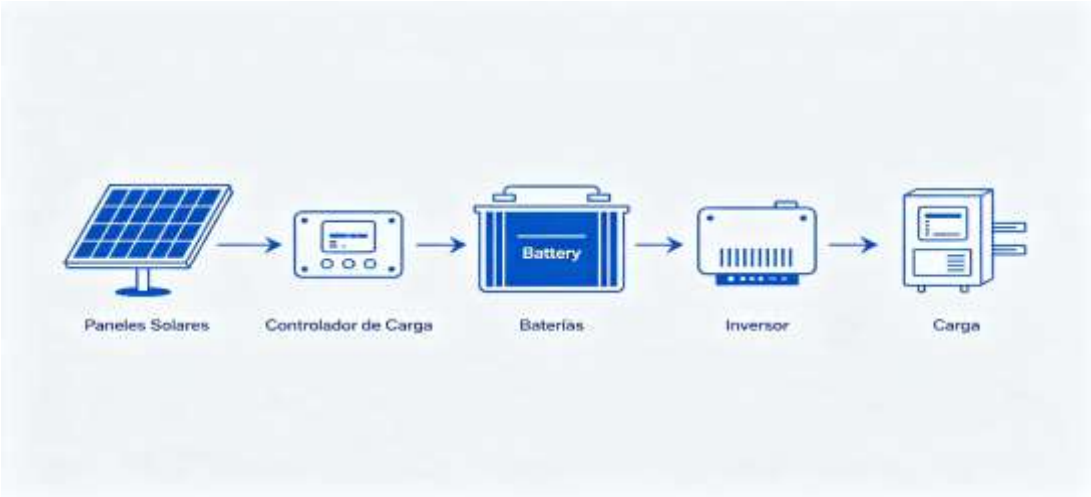
En la tabla 4 observamos las especificaciones de sus componentes y su funcionamiento.

Tabla 4. Componentes específicos y su función

Componentes	Función principal
Paneles solares	Convierten la radiación solar en energía eléctrica (CC)
Controlador de carga	Genera flujo de energía y protege las baterías de una sobre carga y una sobre descarga
Banco de baterías	Almacena energía para uso nocturno, permite operar en modo isla
Inversor de corriente	Convierte la corriente continua (48V CC) en corriente alterna (220V CA 60Hz)
Cableado y protecciones	Se conecta los componentes y garantiza seguridad según las normativas

Fuente: [12]

Figura 4. sistema fotovoltaico autónomo Off Grid



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.6. Descripción de la etapa de potencia aplicada en el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC, extensión La Maná, bloque B.

La fase de potencia se fundamenta en el grupo de dispositivos que acondicionan y distribuyen la energía eléctrica producida por los paneles hacia las cargas generadas por la iluminación. En el sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La

Maná, bloque B, esta fase incluye el inversor y el controlador que fueron elegidos y dimensionados para funcionar conjuntamente con el arreglo fotovoltaico y el banco de baterías existentes.. [13]

3.7. Tipos de inversores

Existen tres tipos de inversores.

- Inversor de onda cuadrada: es el modelo más elemental y asequible. Su señal oscila de manera abrupta entre lo positivo y lo negativo, tiene una distorsión por encima del 48%, es útil solamente para cargas sencillas como las lámparas incandescentes o las resistencias, no se recomienda para luces LED o dispositivos electrónicos ya que existe el riesgo de dañarlos permanentemente.. [14]
- Inversor de onda sinusoidal alterada: Genera una señal escalonada que se aproxima a la onda senoidal, aunque presenta una distorsión armónica alta (del 25 al 40 %). Es más barato, aunque no es aconsejable para equipos electrónicos complejos o cargas delicadas, debido a que puede provocar fallos prematuros, ruidos o sobrecalentamiento. Se utiliza en aplicaciones sencillas de bajo consumo.. [14]
- Inversor de onda senoidal pura: Produce una señal ininterrumpida y suave que es igual a la de la red eléctrica estándar. Su distorsión total armónica es inferior al 3%. Es compatible con todos los tipos de dispositivos, incluso los motores, las luminarias LED, la electrónica sensible y los dispositivos con regulación electrónica. Su precio es más alto, pero es la opción más confiable y de mayor duración. Es el modelo escogido en su trabajo de tesis, ya que asegura un funcionamiento adecuado y extiende la duración de las luminarias LED.. [14]

En la tabla número 5 se muestra una forma comparativa por forma de onda.

Tabla 5. Comparativas por forma de onda

Características	**Onda pura**	**Onda modificada**	**Onda cuadrada**
calidad de señal	Excelente	Regula	Deficiente
Distorsión armónica	< 3%	25 – 40%	> 48 V
Compatibilidad LED	Ideal	Riesgo	No recomendado
Costo	Mayor	Medio	Bajo
Recomendado	Si	No	No

Fuente: **[15]**

3.8. Tipo de inversor seleccionado para la etapa de potencia

El inversor de onda senoidal pura fue elegido porque se diseñó con el propósito de trabajar en sistemas fotovoltaicos autónomos fuera de la red (Off-Grid). Se seleccionó este modelo de inversor porque produce una señal eléctrica idéntica a la de la red pública, sin distorsiones ni escalonamientos. Esto asegura el funcionamiento de las 14 luminarias (400w) que se colocaron en el campo sintético.

Asimismo, el voltaje de entrada de 48V se ajusta al banco de baterías del sistema, lo que posibilita una conversión con pérdidas energéticas mínimas. Su potencia máxima de 12000 W abastece completamente la carga instalada, dejando un margen de seguridad apropiado. Finalmente, satisface la norma eléctrica ecuatoriana de 220V/60Hz, asegurando un suministro apropiado durante las dos horas que funciona en la noche.. [16]. En la figura 4 se muestra el inversor de onda senoidal pura.

Figura 5. inversor de onda senoidal pura.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.9. Descripción y funcionamiento del inversor de onda senoidal pura.

3.9.1. Descripción.

El inversor de onda senoidal pura es responsable de transformar la energía proveniente del banco de baterías, que se encuentra en corriente continua (CC), en corriente alterna (CA). Produce una señal eléctrica similar a la de la red eléctrica convencional. Su principal rasgo distintivo es que genera una onda continua y libre de distorsiones, lo que lo distingue de otras clases de inversores.

En el sistema fotovoltaico, el inversor trabaja con un voltaje de entrada de 48V (CC), que es igual a la tensión nominal del banco de baterías conectadas en serie. Además, ofrece una salida de 220V a 60Hz, que corresponde al estado eléctrico actual en Ecuador. Su potencia nominal es de 6000 W y es muy apropiado para alimentar las 14 lámparas LED de 4000 W cada una. Además, su potencia pico alcanza los 12000 W, lo que le permite cubrir los picos transitorios de corriente en el momento de encender la carga. [17]

3.9.2. Funcionamiento.

Su función se desarrolla en 3 etapas principales:

- Conmutación y modulación: un circuito de interruptores semiconductores (MOSFET o IGBT) conmute la corriente continua de entrada a alta velocidad, produciendo una sucesión de impulsos eléctricos cuyo ancho fluctúa conforme a una distribución matemática determinada. Esta técnica, llamada Modulación por ancho de pulso senoidal (SPWM), genera una aproximación en escalones de una forma de onda senoidal.

- Filtrado de la señal: se filtra la señal de impulsos a través de un filtro LC, que incluye capacitores e inductores. Este proceso permite eliminar los componentes de alta frecuencia y suavizar la curva hasta que se logra una onda continua sin escalonamientos ni distorsiones. La distorsión armónica es inferior al 3%, lo que asegura una calidad de energía adecuada para las luces de la cancha sintética.

- Protección y regulación: un microcontrolador supervisa de manera continua la frecuencia y el voltaje de salida, manteniéndolos estables en 220V ± 5% y 60Hz, sin importar cambios en el voltaje de las baterías o en la carga. Además, incluye protecciones para evitar sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones y sobrecalentamientos. Estas protecciones desconectan el equipo en circunstancias anormales con el fin de proteger la integridad del equipo y de las luminarias conectadas a la cancha sintética. [18]

A continuación, en la tabla 6 se muestra las características técnicas del equipo.

Tabla 6. Características técnicas del equipo

Valor	Parámetros
48V cc	Voltaje de entrada
220V ca	Voltaje de salida
60 Hz	Frecuencia
6000 W	Potencia nominal
12000 W	Potencia pico
> 90 %	Eficiencia de conversión
< 3 %	Distorsión armónico

Fuente: [19]

3.10. Mantenimiento del inversor de onda senoidal pura

A continuación, se presentan lineamientos que deben aplicarse en su mantenimiento y que están basados en su manual y en las regulaciones técnicas.

- Mantenimiento mensual: hacer limpieza del polvo y comprobar que la ventilación esté funcionando correctamente.
- Mantenimiento trimestral: comprobar las conexiones eléctricas y ajustarlas.
- Mantenimiento semestral: verificar la frecuencia (60 Hz), el voltaje (48V cc / 220V ca) y la temperatura.
- Mantenimiento anual: Examinar a fondo los ventiladores, el cableado, los indicadores y los aislamientos.. [19]

3.11. Aplicación del inversor de onda senoidal pura en el sistema fotovoltaico autónomo existente

El inversor de onda senoidal pura es fundamental en el sistema fotovoltaico autónomo que convierte los 48 V de corriente continua del banco de baterías en 220 V de corriente alterna a 60 Hz, con una calidad igual a la red pública. Posee una potencia de 6000 W y una capacidad pico de 12000 W, lo cual permite que las catorce lámparas LED funcionen de manera confiable y estable durante el horario nocturno. Esto hace posible el funcionamiento del sistema fotovoltaico en la UTC La Maná bloque B.. [20]

3.12. Ciclo de vida útil del inversor de onda senoidal pura

El inversor de onda senoidal pura, que se ha elegido para integrarlo en el sistema fotovoltaico del bloque B de la UTC extensión La Mana, tiene una duración estimada entre diez y quince años. Sin embargo, en el proyecto de la cancha sintética se calcula que su vida útil será superior a los doce años debido al empleo moderado y a una carga que no excede el ochenta por ciento de su capacidad. Para preservar su durabilidad, se deben evitar las sobrecargas, mantener limpias las conexiones y asegurar una ventilación adecuada. [20]

3.13. Dimensionamiento del inversor de onda senoidal pura para el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC extensión La Maná, bloque B.

Al dimensionar el inversor de onda senoidal pura, se deben tomar en cuenta las cargas que funcionarán al mismo tiempo a lo largo del periodo de iluminación:

3.13.1 Cálculo de la potencia total.

Ecuación 1. Potencia total.

$$P_{total} = P_{unitaria} * n$$

P_{total} → Potencia total instalada (W)
$P_{unitaria}$ → Potencia de cada luminaria (W)
n → Cantidad de luminarias

$$P_{total} = 400W * 14 = 5{,}600W$$

En la tabla número 7 se muestran la potencia total.

Tabla 7. Cargas de operación.

Cargas	Cantidad	Potencia unitaria	Potencia total
Luminarias LED	14 unidades	400W	5,600W

Fuente: [23]

3.13.2. Calculo de la potencia nominal del inversor de onda senoidal pura

Con el fin de asegurar la estabilidad térmica y prevenir que funcione al límite de su capacidad, la potencia nominal del inversor tiene que ser igual o superior a la potencia total de la carga simultánea sumada con un margen de seguridad del 25%.

Ecuación 2. Potencia nominal del inversor

$$P_{inverter} = P_{carga\ total} * Factor\ de\ seguridad \quad (1.25)$$

$$P_{inverter} = 5600W * 1{,}05 \ = 5880W$$

Se eligió un inversor de onda senoidal pura debido a que su potencia nominal es de 6000W, cifra que coincide exactamente con la carga y trabaja al 80% de la capacidad máxima, garantizando un margen adecuado según la normativa.

3.13.3 Determinación del voltaje de entrada.

El voltaje de entrada que recibe el inversor con onda senoidal pura tiene que ser igual al voltaje nominal del banco de baterías:

- Banco de baterías compuesto por cuatro unidades, cada una con 12V, las cuales están conectadas en serie. Por lo tanto, se obtiene un total de 48V en corriente continua.
- El inversor de onda senoidal tiene un voltaje de entrada en corriente continua de 48V.
- Origen

Esta opción reduce la corriente en el lado de corriente continua y disminuye las pérdidas en los cables y la caída de tensión en comparación con sistemas de 12V o 24V.

3.13.4. Características de salida requerida.

En la tabla número 8 se pueden observar las características de salida que se necesita.

Tabla 8. Características de salida.

Parámetros	**Valor**	**Justificación**
Voltaje de salida.	220V en CA.	Estándar del sistema eléctrico ecuatoriano
Frecuencia	60Hz	Estándar nacional
Forma de onda	Senoidal	Funcionamiento seguro, eficiencia de las luminarias LED
Distorsión armónica	< 3%	Evita parpadeos, calentamiento y degradación prematura

Fuente: [24]

3.13.5. Corrientes de operación y picos de arranque.

Ecuación 3. Corriente nominal de entrada en CC.

$$I_{cc} = \frac{P_{carga}}{V_{baterias} * N_{inversor}} = \frac{5600}{48 * 0{,}90} = 129{,}63\ A$$

Ecuación 4. Corriente nominal de salida en CA.

$$I_{CA} = \frac{P_{carga}}{V_{salida}} = \frac{5600}{220V} = 25{,}45\ A$$

3.13.6. Potencia pico.

Se eligió un inversor de onda senoidal pura con una capacidad pico de 12000W, el doble de la potencia nominal; es capaz de cubrir cualquier tipo transitorio al encender las luminarias a la vez, aunque este efecto es moderado debido a que se trata de cargas resistivas.

3.13.7. Especificaciones finales del inversor.

Las especificaciones finales del inversor de onda senoidal pura pueden verse en la tabla 9.

Tabla 9. Especificaciones finales

Parámetros	Valor seleccionado
Tipo	Onda senoidal pura
Voltaje de entrada	48V CC
Voltaje de salida	220V CA
Frecuencia	60Hz
Potencia nominal	6000 W
Potencia pico	12000 W
Eficiencia de conversión	$\geq 90\ \%$
Distorsión armónica total	$< 3\ \%$

Fuente: [21]

Para concluir, la estimación del tamaño del inversor se llevó a cabo con base en la demanda simultánea de las 14 lámparas LED de 400 W, que suman un total de 5 600 W. Se eligió un equipo de onda senoidal pura, con una entrada de 48 V, salida de 220 V / 60 Hz y potencia continua de 6000 W; su capacidad pico es de 12000 W. El voltaje de 48 V es el mismo que el banco de baterías, lo que disminuye tanto la corriente como las pérdidas. La carga total es igualada con la potencia nominal, teniendo un margen de seguridad apropiado, y la onda senoidal pura asegura una calidad energética que protege las luces LED, satisfaciendo así todos los requerimientos del sistema fotovoltaico autónomo de la cancha sintética. [22]

Las fórmulas para dimensionar el inversor de onda senoidal pura se presentan en la tabla número 10.

Tabla 10. Formulas del dimensionamiento del inversor.

Nombre del parámetro	**Formula**	**Aplicación en el proyecto**
Potencia total de carga	$P_{carga} = n * P_{unida}$	$14\ x\ 400\ =\ 5600W$
Potencia nominal del inversor	$P_{inv} \geq P_{carga} * 1{,}25$	$5600\ x\ 1{,}25\ =\ 700W$
Corriente de salida CA	$I_{CA} = \frac{P_{carga}}{V_{CA}}$	$\frac{5600W}{220V} = 25{,}45A$
Corriente de entrada CA	$I_{CC} = \frac{P_{carga}}{V_{CC} * n_{inv}}$	$\frac{5600}{48\ x\ 0{,}90} = 129{,}63A$
Potencia de pico requerida	$P_{pico} = 2 * P_{nominal}$	$2\ x\ 5600 = 11200W$

Fuente: [9]

3.14. Condiciones de seguridad del inversor de onda senoidal pura.

Las condiciones de seguridad del inversor incluyen protecciones automáticas frente a sobrecalentamiento, cortocircuito, voltaje anómalo y sobrecarga; una instalación en un espacio ventilado con conexiones estables, puesta a tierra y protecciones externas coordinadas (interruptores y fusibles); y una operación dentro de márgenes seguros de carga, temperatura y voltaje que satisfacen las exigencias del IEC 62109 y la NEC Artículo 690 para asegurar la seguridad humana y la integridad del equipo.. [22]

3.15. Distribución eléctrica del inversor de onda senoidal pura.

La distribución eléctrica del inversor se divide en dos circuitos que son claramente distintos: uno es el lado de entrada en corriente continua, que proviene del banco de baterías; y el otro es el lado de salida en corriente alterna, que va hacia la carga. Las condiciones de seguridad del inversor incluyen protecciones automáticas frente a sobrecalentamiento, cortocircuito, voltaje anómalo y sobrecarga; una instalación en un espacio ventilado con conexiones estables, puesta a tierra y protecciones externas coordinadas (interruptores y fusibles); y una operación dentro de márgenes seguros de carga, temperatura y voltaje que satisfacen las exigencias del IEC 62109 y la NEC Artículo 690 para asegurar la seguridad humana y la integridad del equipo. [23]

3.15.1. Lado de entrada (48V CC).

Se conecta el inversor al banco de baterías, efectuando la conversión correspondiente.

- Origen: terminales de salida del banco de baterías (CC 48V).
- Calibre de cable: 2 AWG, creado para tolerar 130A y reducir las caídas de tensión.
- La caída de tensión fue del 0,49%, lo cual está dentro del rango óptimo (<1,0%).
- Corriente nominal: 129,63 A a carga completa
- Polaridad estricta: determinar lo que es positivo (+) y negativo (-); hacer la conexión adecuada. [24]

3.15.2. Lado de la salida (220V CA / 60 Hz).

Reparte la energía que se ha transformado en el inversor y que va a las fuentes de luz de la cancha sintética. El inversor de onda senoidal pura presenta tres fases en su conversión energética.

- Lugar de destino: Tablero de distribución: 14 luces LED de 400W
- Grosor del cable: 10 AWG, tolera la corriente de salida con una caída permitida
- Protección: interruptor de doble fase de 32A 220V CA
- Corriente nominal: a plena carga, es de 25,45 A.
- Disminución de la tensión: El 1.92% queda dentro del límite permitido (< 2,0%).
- Conductores: consta de neutro y fase [24]

3.16. Conversión energética mediante el inversor de onda senoidal pura.

La conversión energética del inversor de onda senoidal pura cuenta con 3 etapas.

3.16.1. Entrada de energía en corriente continua.

Desde el banco de baterías llega al inversor energía con voltaje nominal de 48 V en corriente continua, con variaciones normales entre 42 V y 60 V según el estado de carga y descarga. Esta energía representa la potencia útil acumulada, y circula por el cable de 2 AWG hacia los circuitos internos del inversor, donde se regula y prepara para su conversión. [25]

3.16.2. Elevación y conmutación controlada.

Un circuito electrónico compuesto por semiconductores de alta velocidad (transistores MOSFET o IGBT) recibe la corriente continua y la interrumpe y alterna miles de veces por segundo, cambiando la dirección del flujo eléctrico de positivo a negativo de manera sincronizada. Mediante la técnica de Modulación por Ancho de Pulso Senoidal (SPWM), se generan trenes de impulsos eléctricos cuya duración varía matemáticamente para aproximar la forma de una onda senoidal. Al mismo tiempo, un transformador o circuito elevador aumenta el voltaje desde los 48 V de entrada hasta aproximadamente 311 V de corriente continua pulsante, necesario para obtener 220 V en corriente alterna. [26]

3.16.3. Filtración y obtención de una onda limpia.

La señal de impulsos generada pasa por un circuito de filtrado compuesto por inductores y capacitores, que retienen las componentes de alta frecuencia y suavizan las variaciones bruscas. El resultado es una onda senoidal continua, suave y libre de escalonamientos, con voltaje eficaz de 220 V ±5 %, frecuencia estable de 60 Hz y una distorsión armónica total inferior al 3 %. Esta calidad de onda es idéntica a la suministrada por la red eléctrica pública. [27]

3.17. Regulación y suministración a la carga.

Un sistema de control electrónico monitorea continuamente el voltaje y la frecuencia de salida, ajustando en tiempo real la conmutación para mantener valores estables, aunque varíe el voltaje de las baterías o la cantidad de luminarias encendidas. La energía convertida se entrega a las 14 luminarias LED de 400 W, que consumen simultáneamente 25,45 A durante las dos horas de operación nocturna proyectadas. [28]

Figura 6. Obtención de una onda limpia.



Fuente: [34]

3.18. Tipos de controladores o reguladores.

Existen dos tecnologías de reguladores para sistemas fotovoltaicos autónomos:

3.18.1. Controlador PWM (Modulación por Ancho de Pulso).

Es la tecnología más tradicional y sencilla. Funciona como un interruptor que conecta y desconecta los paneles a alta velocidad, forzando que el voltaje del panel coincida con el de la batería. Si el panel tiene mayor voltaje, esa diferencia se pierde en forma de calor. [28]

- Tiene una eficiencia del 70% al 85%
- Su voltaje de entrada debe coincidir con el voltaje de las baterías
- No extrae la potencia máxima del panel
- Tiene un costo económico
- No admite paneles conectados en serie, con voltaje superior al de las baterías

3.18.2. Controlador MPPT (Seguimiento del Punto Máximo de potencia)

Es la tecnología más avanzada. Rastrea continuamente el voltaje y corriente óptimos del panel, convierte esa energía y entrega a la batería el voltaje adecuado de forma independiente. Permite que los paneles trabajen a su voltaje ideal y la batería al suyo. [29]

- Tiene una eficiencia del 95% al 99%
- Su voltaje de entrada es de rango amplio, no depende del voltaje de las baterías
- Produce hasta un 30% más de energía que un PWM
- Admite paneles en serie y los adapta al banco de baterías sin pérdidas significativas

En la tabla número 11 se presenta un cuadro comparativo de los reguladores PWM, MPPT.

Tabla 11. Cuadro comparativo (PWM, MPPT).

Características	**PWM**	**MPPT**
Principio de operación	Igual Voltaje del panel al de la batería	Rastrea potencia máxima y convierte voltaje
Eficiencia de conversión	70 – 85%	95 -99%
Energía adicional obtenida	Referencia	+20% a +30%
Paneles en serie	No recomendado	Permitido y aprovechado
Costo inicial	Baja	Más elevado
Adecuado para el sistema existente.	No	si

Fuente: [30]

3.19. Tipo de controlador seleccionado para la etapa de potencia.

Se seleccionó un controlador de carga tipo MPPT — Seguimiento del Punto de Máxima Potencia, modelo MY-MPPT30A, diseñado específicamente para sistemas fotovoltaicos autónomos con tensión nominal de 48 voltios. [31]

En la tabla número 12 se muestra las características principales del equipo.

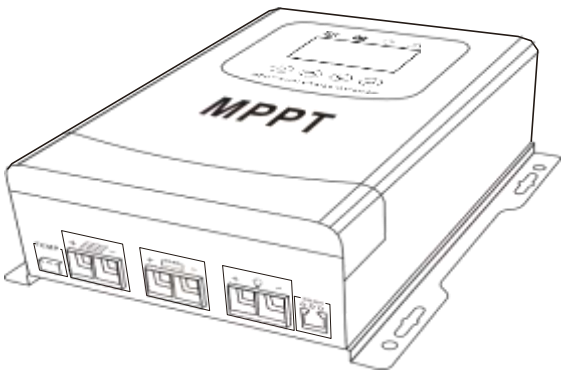
Tabla 12. Características principales del equipo.

Parámetros	Equipos
Tecnología	MPPT (Seguimiento del punto de máxima potencia.
Modelo	MY-MPPT30A
Voltaje nominal del sistema	48V CC
Rango de voltaje de entrada (paneles)	65V – 150V CC
Corriente de carga máxima	30 A
Eficiencia de conversión	$\geq 99\%$
Potencia máxima gestionada	$\approx 1605\ W$
Límites de voltaje de baterías	Desconexión por bajo voltaje: 42V, sobrecarga: 60V

Fuente: [29]

El controlador de controlador MPPT de modelo MY-MPPT30 A y 48 V fue seleccionado porque admite el alto voltaje de entrada generado por los tres paneles conectados en serie (≈ 124,65 V), permitiendo aprovechar toda la energía generada sin desperdicio, este equipo rastrea continuamente la máxima potencia disponible y la convierte eficientemente al voltaje del banco de baterías de 48 V, entregando hasta un 30 % más de energía y garantizando la recarga completa y segura del sistema de almacenamiento. Su corriente de 30 A cubre con margen adecuado los 12,88 A que entrega el arreglo fotovoltaico, y sus límites de operación entre 42 V y 60 V protegen las baterías contra sobrecargas y descargas profundas, prolongando su vida útil.

Figura 7. Controlador MY-MPPT30.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.20. Descripción y funcionamiento del controlador MY-MPPT30A

3.20.1. Descripción.

El controlador MY-MPPT30A es de carga solar con tecnología de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT), diseñado para regular la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos y dirigirla de forma eficiente hacia el banco de baterías. Opera con un voltaje nominal de 48 V, admite hasta 150 V de entrada fotovoltaica y gestiona una corriente máxima de 30 A, con una eficiencia de conversión superior al 99 %. Cuenta con pantalla LCD para monitoreo en tiempo real, protecciones integradas y compatibilidad con baterías de plomo-ácido, gel y litio. [28]

3.20.2. funcionamiento.

El controlador opera en tres etapas de cargas secuenciales y automáticas:

- Carga de masa: Se encarga de suministra la mayor corriente posible, rastrea continuamente el punto de máxima de la potencia del arreglo fotovoltaico, aprovecha hasta un 30 % más de energía comparado con otros controladores convencionales.
- Carga de absorción: En el momento que alcanzar el voltaje establecido, mantiene ese valor constante y reduce gradualmente la corriente, garantizando que las celdas se carguen por completo sin dañarlas.
- Carga de flotación: Una vez cargado las baterías por completo, baja y mantiene un voltaje sostenible, compensando el auto descarga sin sobrecargas.

Internamente, cuenta con un microprocesador que compara miles de veces por segundo el voltaje y la corriente de los paneles, ajustando la conversión electrónica para extraer siempre la máxima potencia disponible, independientemente de que el voltaje de los paneles sea distinto al de las baterías. Por ello, admite los ≈125 V generados por los tres paneles en serie y los convierte eficientemente a los 48 V del banco de baterías, sin pérdidas significativas [31]

3.20.3. Protecciones y límites de operación.

- Límite de descarga: Corta la carga si el voltaje desciende a 42 V, protegiendo las baterías.
- Límite de sobrecarga: Detiene la carga al alcanzar 60 V, evitando sobretensiones.
- Cuenta con protección contra cortocircuito, polaridad invertida, sobre temperatura y sobre corriente. [32]

3.21. Mantenimiento del controlador MY-MPPT 30A.

El mantenimiento del controlador MY-MPPT30A se acopla a las pautas indicadas por el fabricante y a los requisitos de las normativas IEC 62548, IEC 61727 y NEC Artículo 690.

- Se debe mantener el equipo en un lugar fresco y ventilado, libre de polvo y humedad.
- Revisar mensualmente que las conexiones estén firmes y sin oxidación.
- Verificar semestralmente los voltajes y corrientes de operación.
- Inspeccionar anualmente el estado físico, aislamiento y puesta a tierra.
- Registrar todas las actividades realizadas.
- Queda prohibido abrir la carcasa internamente. [33]

3.22. Aplicación del controlador MY-MPPT30A en el sistema fotovoltaico existente.

El controlador MY-MPPT30A es el elemento central de regulación energética que se implementó en el sistema fotovoltaico autónomo existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Bloque B, actúa como un puente inteligente entre el arreglo de paneles solares y el banco de baterías. Su aplicación permite aprovechar al máximo la energía generada por los paneles, adaptándose a las exigencias del sistema de almacenamiento energético y protege la integridad de todo el sistema de potencia. [34]

3.22.1. conexión e integración al sistema.

El equipo se interconecta en el punto de unión entre los paneles y las baterías, trabajando con los siguientes valores del proyecto.

- Entrada desde los paneles: Recibe los ≈ 124,65 V CC generados por los tres paneles conectados en serie (3 × 41,55 V), voltaje que se encuentra dentro de su rango admisible de 65 V a 150 V CC.
- Salida hacia las baterías: Convierte y regula esa energía al voltaje del banco de 48 V CC, compuesto por cuatro baterías de 12 V conectadas en serie.
- Corriente de operación: Conduce la corriente máxima de 12,88 A entregada por el arreglo fotovoltaico, valor muy inferior a su capacidad de 30 A, operando con amplio margen de seguridad. [35]

3.23. Ciclo de vida útil del controlador MY-MPPT 30A.

El controlador MY-MPPT30A posee una vida útil de diseño estimando entre 10 y 15 años de funcionamiento confiable bajo condiciones adecuadas de instalación, ventilación y operación dentro de sus rangos especificados. Esta duración se sustenta en el uso de componentes electrónicos de calidad, con capacidad de resistencia térmica superior a 105 °C y diseño optimizado para operación continua. [36]

3.23.1. Factores que determinan su durabilidad

- Componentes internos: Cuenta con capacitores semiconductores y disipadores térmicos de calidad industrial, los cuales son los elementos que más influyen en la longevidad del equipo.
- Tecnología MPPT: Al operar con mayor eficiencia y menor disipación de calor respecto a controladores PWM, reduce el estrés térmico y prolonga su vida útil.
- Protecciones integradas: Cuenta con protección contra sobre corrientes, sobretensiones, sobrecalentamiento, polaridad invertida y descarga nocturna, evitando daños prematuros por fallas eléctricas
- Condiciones térmicas: Para alcanzar la vida útil proyectada, debe instalarse en un espacio ventilado, con temperatura ambiente preferiblemente entre 25 °C y 30 °C, protegido de radiación solar directa y humedad. [37]

3.24. Dimensionamiento del controlador MY - MPPT 30A para el sistema fotovoltaico autónomo existente en la UTC extensión La Mana bloque B.

En la tabla número 13 se muestran los datos de entrada del controlador MY – MPPT 30A vasados en los datos del panel sola existente.

Tabla 13. Datos de entrada.

Parámetro	Valor
Modelo de panel	Yingli Solar YL535D-49e
Potencia nominal por panel	537 W
Voltaje en punto de máxima potencia (vpm)	41,55V
Corriente en punto de máxima potencia	12,88 A
Configuración de paneles	3 unidades conectadas en serie
Voltaje nominal del banco de baterías	48V CC (4 x 12 V) en serie
Horas de sol pico (La Mana)	4.8 h/día
Factor de seguridad	1,25

Fuente: [38]

3.24.1. Cálculo del voltaje de entrada al controlador.

Al estar los 3 paneles conectados en serie el voltaje se suma.

Ecuación 5. Voltaje de entrada al controlador.

$$V_{mp} = n_{serie} * V_{max}$$

$$\mathrm{V_{mp}} = 3 * 41{,}55 \ = 124{,}65 \ \mathrm{V}$$

El rango de admisión del controlador MY – MPPT 30A es de 65V – 150V, los 124,56V se encuentra en un rango aceptable.

3.24.2. Cálculo de la corriente máxima de arranque.

Al conectar en serie la corriente es igual a la de un solo panel.

Ecuación 6. Corriente máxima de arranque.

$$I_{diceño} = I_{mp} * F_{seguridad}$$

$$\mathrm{I_{mp}} = 12,88A$$

Si aplica al factor de seguridad 1,25 según NEC artículo 690.8.

$$\mathrm{I}_{diceño} = 12{,}88A * 1{,}25 = 16{,}10\ A$$

El controlador soporta 30A los 16,10A es menor a los 30A, cumpliendo con un amplio margen.

3.24.3. Cálculo de la potencia máxima gestionada.

Ecuación 7. Potencia máxima gestionada.

$$\mathrm{P}_{max} = V_{mp} * I_{mp}$$
$$P_{max} = 124{,}65V * 12{,}88A = 1605W$$

La potencia máxima es de 1605W, el controlador admite es potencia a 48V.

3.24.4. Coincidencia con el voltaje de las baterías.

El banco de baterías es de 48 V, que coincide exactamente con el voltaje nominal de operación del controlador. Los límites de protección del equipo son: conexión de carga ($\geq 42V$), desconexión por sobre descarga (< 42V), corte por sobre carga (60V).

El rango de trabajo es de 42V – 60V el mismo se ajusta perfectamente al banco de baterías de 48V nominales.

En la tabla número 14 se muestra el resumen de verificación.

Tabla 14. Resumen de verificación.

Parámetro calculado	Valor obtenido	Especificación MY-MPPT 30A	CUMPLE
Voltaje de entrada	124,65V	65V – 150V	Si
Corriente del diseño (1,25)	16,10ª	30A	Si
Potencia máxima del arreglo	1605W	≈ 1605 W	Si
Voltaje del sistema	48V en CC	48V en CC	Si

Fuente: [47]

En la tabla 15 se muestra las fórmulas utilizadas para el dimensionamiento del controlador MY – MPPT 30A.

Tabla 15. Fórmulas para el dimensionamiento del controlador.

Nombre del parámetro	Formula	Aplicación del proyecto
Voltaje de entrada al controlador.	$V_{mp} = N_{serie} * V_{mp}$	$3 * 41{,}55 = 124{,}65V$
Corriente máxima	$I_{mp} = valor\ de\ ficha\ del\ panel$	$12.88A$
Corriente de diseño (NEC)	$I_{diseño} = I_{mp} * 1.25$	$12{,}88 * 1{,}25 = 16{,}10A$
Potencia máxima	$P_{areglo} = V_{mp} * I_{mp}$	$124{,}65 * 12{,}88 = 1605W$
Verificación rango del voltaje	$V_{\min entrada} < V_{mp} < V_{\max entrada}$	$65 < 124{,}65 < 150$
Verificación corriente admisible.	$I_{diceño} < I_{controlador}$	$16{,}10 < 30$

Fuente: [39]

3.25. Condiciones de seguridad del controlador MY – MPPT 30A.

Las condiciones de seguridad del controlador MY-MPPT30A están conformadas por sus protecciones automáticas contra polaridad invertida como: sobre corriente, sobretensión,

sobre descarga (< 42 V), sobrecarga (> 60 V) y sobrecalentamiento; instalarlo en un lugar ventilado con conexiones firmes, respetar estricto la polaridad y puesta a tierra; protecciones externas de 20 A en entrada y 30 A en salida; y la prohibición de abrir la carcasa o reiniciar repetidamente ante fallos. Todo conforme a los requisitos de la NEC Artículo 690 e IEC 62548, garantizando la vida útil del equipo y la integridad del banco de baterías. [40]

3.26. Distribución eléctrica del controlador MY – MPPT 30A.

El controlador dispone de tres bloques de conexión, se encuentra ordenadas de izquierda a derecha: entrada fotovoltaica (PANEL +/−), conexión al banco de baterías (BATERÍA +/−) y salida de carga, (CARGA +/−).

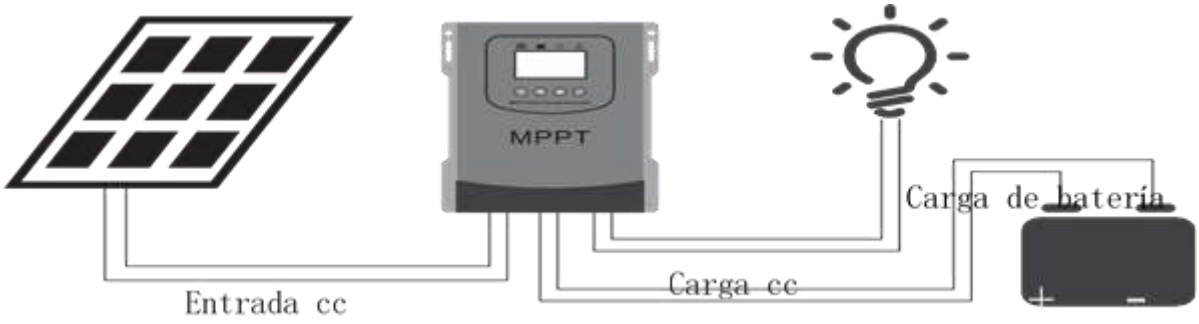
En la tabla número 14 se puede observar la descripción de cada bloque de conexión del controlador.

Tabla 16. Descripción de cada bloque de conexión del controlador.

Bloque de conexión	Eficiencia del proyecto
Entrada fotovoltaica (panel, controlador).	3 paneles en serie (124,65A – 12,88A).
Conexión al banco de baterías (controlador, baterías).	Banco de 48V (4 x 12V) en serie
Salida de carga (baterías, carga)	48V CC, asta (30A)

Fuente: [41]

Figura 8. Diagrama esquemático de conexión.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.27. Gestiona miento energético del inversor y el controlador.

El gestiona miento energético se divide en dos etapas coordinadas. [46]

3.27.1. Gestiona miento realizado por el inversor de onda senoidal pura.

El inversor de onda senoidal pura convierte la energía almacenada a 220 V / 60 Hz con 90 % de eficiencia, entregando potencia estable y de calidad a las luminarias LED. [46]

3.27.2. Gestiona miento realizado por el controlador MY – MPPT 30A.

El controlador MY-MPPT30A maximiza la energía captada y regula la recarga del banco de baterías entre 42 V y 60 V, optimizando el aprovechamiento solar y protegiendo las baterías.

Ambos equipos trabajan de manera sincronizada para garantizar que la energía generada, almacenada y consumida se administre con máxima eficiencia, permitiendo la operación autónoma de la cancha sintética durante el horario nocturno. [46]

3.28. Tipos de baterías: composición y funcionamiento.

Existen dos tipos de bateristas. [47]

3.28.1. Batería de litio.

Es un acumulador electroquímico de alta densidad energética, cuya operación se basa en el movimiento reversible de iones de litio entre dos electrodos: el ánodo (material negativo), que libera electrones y cede iones durante la descarga, y el cátodo (material positivo), que recibe tanto los electrones como los iones en el proceso inverso. Ambos elementos se encuentran sumergidos en un electrolito específico para litio, medio que facilita el transporte iónico, y se mantienen separados por una lámina dieléctrica que impide el contacto directo entre electrodos, eliminando el riesgo de cortocircuitos internos. [47]

3.28.2. Batería de gel.

Pertenece a la familia de los acumuladores de plomo-ácido sellados, en los que la reacción química se produce en placas positivas y negativas que contienen los materiales activos responsables de generar la corriente eléctrica. Su característica principal es que el electrolito se encuentra inmovilizado en forma de gel de sílice, lo que elimina derrames, reduce la necesidad de mantenimiento y mejora la seguridad ante inclinaciones o impactos. Al igual que en los demás modelos, cuenta con separadores de alta resistencia que aíslan las placas de polaridad contraria sin impedir el paso de iones. [47]

3.29. Tipo de baterías existentes en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, extensión La Mana bloque B.

El sistema de almacenamiento existente en la UTC extensión La Mana cuenta con 4 baterías de 12V tipo gel, en la etapa de potencia se conectaron en serie, las cuales en conjunto entregan un voltaje nómina de 48V CC. [48]

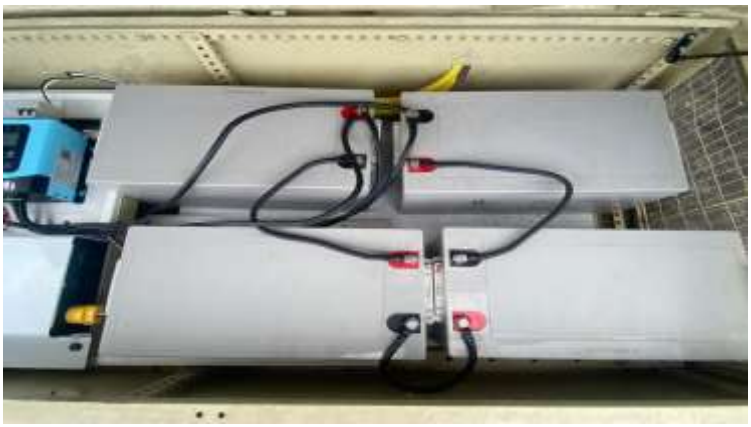
En la tabla número 16 se muestra las características de la batería tipo gel.

Tabla 17. Características de las baterías tipo gel.

Característica	Especificaciones
Tecnología	Plomo-ácido con electrolito en forma de gel
Voltaje unitario	12V por batería
Configuración	4 unidades conectadas en serie (48v CC)
Mantenimiento	Libre de mantenimiento
Profundidad de descarga recomendada	80% descarga permitida sin daño
Auto descarga mensual	< 3%
Vida útil estimada	8 a 12 años según los siclos de carga y descarga
Ventajas principales	Son celladas, no emanan gases, soportan descargas profundas.

Fuente: [48]

Figura 9. Baterías de tipo gel conectadas en serie.



Fuente: [48]

3.30. Descripción y funcionamiento de las Baterías de tipo gel

3.230.1. descripción de las baterías tipo gel

Las baterías de gel pertenecen a la familia de baterías plomo y ácido son reguladas por válvulas (VRLA), son caracterizan por tener su electrolito en estado gelatinoso en lugar de

líquido libre. Se fabrican mezclando ácido sulfúrico con sílice pirógena, lo que transforma el electrolito en una sustancia espesa e inmóvil, similar a una pasta semisólida. [48]

3.30.2. Funcionamiento de las baterías tipo gel

El funcionamiento se basa en las reacciones electroquímicas propias del sistema plomo-ácido, con la particularidad del electrolito gelificado y el sistema de recombinación interna de gases. [48]

- Durante la carga: El oxígeno generado en la placa positiva difunde a través de la estructura porosa del gel hacia la placa negativa, donde se recombina formando agua nuevamente. Este ciclo alcanza eficiencias superiores al 95 %, por lo que no se pierde agua ni requiere rellenado.
- Durante la descarga: Se invierte la reacción química; las placas de plomo reaccionan con el electrolito liberando energía eléctrica, transformándose en sulfato de plomo. Al no haber líquido libre, no se produce estratificación del ácido, lo que prolonga la vida útil y mejora el rendimiento en descargas profundas.
- Válvula reguladora: Permite el escape de gases solo si la presión interna supera un umbral de seguridad, manteniendo el sistema cerrado en operación normal. [48]

3.31. Aplicación de las baterías tipo gel en el sistema fotovoltaico

La aplicación de las baterías de gel en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, Extensión La Maná, Bloque B, consiste en almacenar la energía generada por los paneles solares durante el día y suministrarla al inversor durante el horario nocturno. Las baterías se encuentran conectadas en serie para obtener 48 V CC, estas baterías se adaptan perfectamente a las características del sistema, soportan descargas profundas variables propias de la energía renovable, no necesitan mantenimiento, son seguras para instalación en recintos cerrado y operan en coordinación con el controlador MPPT que las protege de una sobre carga o de una sobre descarga. Su tecnología garantiza confiabilidad, durabilidad y ausencia de riesgos, cumpliendo todos los requerimientos del sistema de iluminación de la cancha sintética. [48]

3.32. Dimensionamiento del banco de baterías para el sistema fotovoltaico autónomo

En la tabla número 17 se muestra los datos para el dimensionamiento del banco de baterías tipo gel.

Tabla 18. Datos.

Parámetro	Valor
Potencia total de luminarias	P = 5 600 W
Voltaje del sistema	V = 48 V CC
Horas de operación nocturna	$T = 2\frac{h}{dia}$
Eficiencia del inversor	η = 0,90 (90 %)
Profundidad máxima de descarga permitida (baterías Gel)	PD = 0,80 (80 %)

Fuente: [48]

3.32.1. Cálculo de la energía requerida diaria

Es la energía útil que debe entregar el banco de baterías en cada siclo de descarga.

Ecuación 8. Energía requerida diaria.

$$E_{util} = P * T = 5600W * 2h = 11200\frac{Wh}{dia}$$

3.32.2. Energía corregida,

La energía extraída de las baterías es mayor por las pérdidas del inversor.

Ecuación 9. Energía corregida.

$$E_{corregida} = \frac{E_{ultimo}}{n} = \frac{11200}{0{,}90} = 12444{,}44\frac{Wh}{dia}$$

3.32.3. Capacidad total del banco de baterías

Se corrige por la profundidad de descarga máxima permitida, no se descargan al 100% por protegerlas.

Fórmula 10. Profundidad de descarga.

$$C_{total(Wh)} = \frac{E_{corregida}}{PD} = \frac{12\ 444{,}44}{0{,}80} = 15\ 555{,}55Wh$$

3.32.4. capacidad en Amperios – hora

Ecuación 11. Capacidad en amperios horas

$$C_{total} = \frac{C_{total}}{v} = \frac{15\ 555{,}55}{48} = 324{,}07Ah$$

3.32.5. Configuración del Banco de baterías

$$N_{serie} = \frac{48V}{12V} = 4\ baterias\ en\ serie$$

3.32.6. Resultados del dimensionamiento

En la tabla número 18 se muestra el resumen del dimensionamiento.

Tabla 19. Resumen del dimensionamiento.

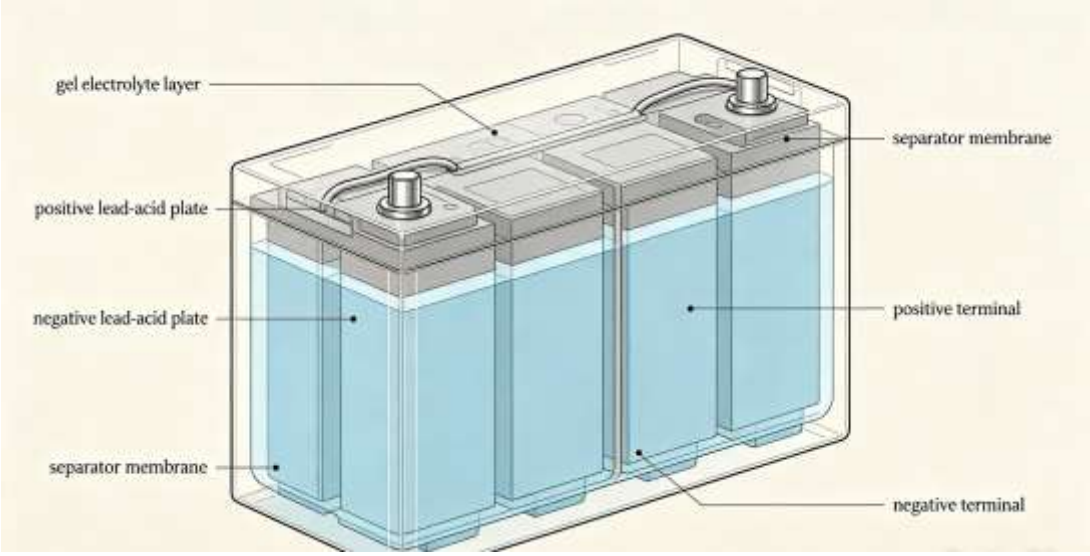
Parámetro	Valor Obtenido
Energía útil diaria	11 200 Wh
Energía corregida por eficiencia	12 444 Wh
Capacidad total requerida	$\frac{15\ 556\ \text{Wh}}{324{,}07\ \text{Ah}}$
Configuración	4 baterías de 12 V en serie
Voltaje del banco	48 V CC
Capacidad seleccionada	325 Ah (valor comercial normalizado)
Energía útil real del banco	12 480 Wh (80 % de descarga)

Fuente: [48]

3.33. Condiciones de seguridad del banco de baterías tipo gel existente en la UTC extensión La Mana bloque B

Las condiciones de seguridad del banco de baterías tipo gel se componen: protecciones eléctricas calibradas cercanas al borne positivo y desconexión automática entre 42 V y 60 V mediante el controlador; instalar en lugar fresco, seco y ventilado, sobre superficie no inflamable; conexiones firmes, respeto estricto de la polaridad, protección antioxidante y puesta a tierra; y prohibición de operar fuera de los límites de voltaje, abrir las celdas o mezclar baterías distintas. Todo conforme a la NEC Artículo 690 e IEC 62548, garantizando la integridad del sistema y la seguridad de las personas en la UTC, Extensión La Maná. [48]

Figura 10. Composición de las baterías de tipo Gel.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

3.34. Tipos de paneles solares

Los paneles solares se clasifican principalmente según el material y la tecnología de fabricación.

En la tabla número 19 se detallan las principales tecnologías de los paneles existentes.

Tabla 20. Principales tecnologías de paneles solares.

Tipo	Material	Eficiencia	vida útil	Características principales
Mono cristalino	Silicio de un solo cristal	20 – 22%	25 a 30 años	Alto rendimiento, mayor costo, mejor comportamiento a altas temperaturas
Poli cristalino	Silicio con múltiples cristales	15 - 17%	25 a 30 años	Menor costo, rendimiento ligeramente inferior, color azul moteado
Capa fina	Silicio amorfo, CdTe o CIGS	10 - 18%	15 a 25 años	Más ligeros y flexibles, menor eficiencia, mayor superficie requerida
PERC /TOPCon	Silicio mono cristalino mejorado	20 - 23%	25 a 30 años	Capa reflectante posterior, mayor eficiencia, excelente relación precio-rendimiento
Bifaciales	Capas luz por ambas caras	20 - 23%	25 a 30 años	Mayor generación aprovechando la radiación reflejada

Fuente: [49]

3.35. Tipo de panel solar existe en el sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, Extensión La Maná bloque B

Los paneles solares empleados en el sistema fotovoltaico autónomo en la UTC Extensión La Mana bloque B son de tipo mono cristalinos de silicio tipo P con tecnología PERC y semicultas (Half-Cell), marca Yingli Solar, modelo YL535D-49e, serie YLM-J 3.0 PRO. [49]

La tabla numero 20 muestra las características del panel existente.

Tabla 21. Características del panel existente.

Característica	Especificación
Tipo de célula	Mono cristalino — Silicio tipo P
Tecnología	PERC (Emisor y cara trasera pasiva dos) + Semiceldas 1/2
Potencia nominal	535 Wp
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	41,55 V
Corriente a máxima potencia (Imp)	12,88 A
Cantidad de celdas	144 semiceldas (6 × 24)
Eficiencia del módulo	~20,7 %
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0,35 %/°C

Fuente: [49]

3.36. Descripción y funcionamiento de los paneles solares existentes en la UTC extensión La Mana bloque B

3.36.1. Descripción

Los paneles solares del sistema son de tipo mono cristalino con tecnología PERC y semiceldas, marca Yingli Solar, modelo YL535D-49e, de 535 W de potencia unitaria. Se conectaron tres paneles en serie, obteniendo aproximadamente 124,65 V de voltaje de operación, adaptados al rango de entrada del controlador MPPT del sistema. [49]

3.33.2. Funcionamiento

Al recibir la radiación solar, las células generan energía eléctrica en corriente continua por efecto fotovoltaico. La tecnología PERC y el diseño de semiceldas mejoran el aprovechamiento de la luz y reducen pérdidas internas. La energía producida se transmite al controlador MPPT, que la regula y dirige hacia el banco de baterías de 48 V, de donde posteriormente el inversor la convierte en corriente alterna de 220 V para alimentar las luminarias LED de la cancha sintética. [49]

3.37. Dimensionamiento de los paneles solares existentes en el sistema fotovoltaico autónomo en la UTC extensión La Mana bloque B

En la tabla número 21 se muestran los datos para el dimensionamiento de los paneles solares en el sistema fotovoltaico autónomo.

Tabla 22. Datos para el dimensionamiento de los paneles solares.

Parámetro	Valor
Potencia total de carga	5 600 W
Horas de operación nocturna	2 h/día
Eficiencia del inversor	$\eta = 0{,}90$ (90 %)
Eficiencia del sistema (pérdidas en conductores, polvo, temperatura)	$\eta = 0{,}80$ (80 %)
Horas de sol pico en La Maná	HPS = 4,8 h/día
Potencia de cada panel	P= 535 W
Potencia de cada panel	V= 41,55 V
Voltaje de máxima potencia	I= 12,88 A
Voltaje del sistema	48 V CC

Fuente: [50]

3.37.1. Energía diaria requerida

Fórmula 12. Energía diaria requerida

$$E_{diario} = P_{carga} * t = 5600 * 2 = 11200\,{}^{Wh}/_{dia}$$

3.37.2. Energía que debe generar los paneles solares existentes

Se consideran las pérdidas del sistema.

Fórmula 13. Energía generada.

$$E_{generar} = \frac{E_{diario}}{n_{inv} * n_{sist}} = \frac{11200}{0{,}90\ * 0{,}80} = \frac{11200}{0{,}72} = 15\,555{,}56\,{}^{Wh}/_{dia}$$

3.37.3. Potencia instalada

Con 3 paneles conectados en serie:

Fórmula 14. Potencia inicial.

$$P_{arreglo} = n\ * P_{panel}$$
$$P_{arreglo} = 3 * 535 = 1605$$

3.37.4. Voltaje de los paneles solares

Fórmula 15. Voltaje total de los paneles solares

$$V_{paneles} = n_{paneles} * v$$
$$V_{paneles} = 3 * 41{,}55 = 124{,}65V$$

3.37.5. Corriente de los paneles solares

En conexión en serie la corriente es igual a la de 1 panel.

$$I_{mp} = 12{,}88\,A$$

Aplicando el factor de seguridad 1,25 según NEC Artículo 690.8:

$$I_{diseño} = 12{,}88A * 1{,}25 = 16{,}10A$$

3.37.6 Energía diaria que generan los 3 paneles

Fórmula 16. Energía diaria generada por los 3 paneles

$$E_{genero} = P_{arreglo} * HPS * n_{sist} = 1605 * 4{,}8 * 0{,}80 = 6163.20\,{}^{Wh}/_{dia}$$

En la tabla número 22 se muestra el resumen final del dimensionamiento

Tabla 23. Resumen final del dimensionamiento de los paneles solares.

Parámetro	Valor obtenido	Verificación
Energía útil requerida	11 200 Wh/día	Demanda del sistema
Energía que generan los 3 paneles	6 163 Wh/día	Con 4,8 h de sol pico
Potencia instalada	1 605 Wp	3 × 535 W
Voltaje del arreglo	124,65 V	Dentro de rango MPPT
Corriente de operación	12,88 A	-
Corriente de diseño (×1,25)	16,10 A	< 30 A del controlador

Fuente: [56]

3.38. Tipo de luminarias LED existente en la cancha sintética de la UTC extensión La Mana bloque B

Las luminarias instaladas son proyectores LED tipo Flood Light, cada una tiene una potencia de 400 W, seleccionadas específicamente para iluminación deportiva exterior. [51]

En la tabla número 23 se muestra las indicaciones técnicas de las luminarias LED.

Tabla 24. Indicaciones técnicas.

Parámetro	Valor
Tipo de luminaria	Proyector LED Flood Light (uso deportivo exterior)
Potencia unitaria	400 W
Cantidad instalada	14 unidades
Flujo luminoso por unidad	46 000 lúmenes
Eficiencia lumínica	115 lm/W
Temperatura de color	6 500 K (blanco frío)
Voltaje de operación	220 V AC (monofásico)
Normativa aplicada	UNE-EN 12193:2020 — Instalaciones deportivas Clase III
Protección ambiental	IP65 / IP66 (exterior, resistente al agua y polvo)
Material de construcción	Aluminio fundido (disipación térmica mejorada)
Altura de montaje	6,5 m
Distribución	Perimetral: 4 en esquinas, 10 a lo largo del perímetro cada 6 m

Fuente: [51]

3.38.1. Descripción.

Las luminarias seleccionadas son equipos LED de alto desempeño de 400 W, concebidos específicamente para aplicaciones deportivas a la intemperie. Gracias a su eficiencia de 115 lm/W y un flujo luminoso unitario de 46 000 lúmenes, se logró cubrir totalmente la superficie de juego con una iluminancia media de 160 lux, satisfaciendo así los estándares establecidos en la normativa UNE-EN 12193:2020 para instalaciones deportivas Clase III. Asimismo, su temperatura de color de 6 500 K brinda una visibilidad clara y definida durante la práctica nocturna, en tanto que su estructura fabricada en aluminio fundido asegura

una óptima disipación del calor y una larga vida útil aun cuando se encuentran expuestas a factores climáticos externos. [51]

3.38.2. Cumplimiento del sistema

El sistema de iluminación, integrado por catorce luminarias LED de 400 W, registra una potencia total de 5 600 W y un consumo energético de 11 200 Wh por jornada, correspondiente a las dos horas de funcionamiento nocturno establecidas. Para cubrir esta demanda se dimensionó un arreglo de tres paneles de 535 W conectados en serie, un controlador MPPT de 30 A y un banco de baterías de 48 V, los cuales garantizan un suministro estable de 220 V en corriente alterna y una iluminancia uniforme de 160 lux sobre la superficie de juego. Estos resultados satisfacen los requisitos de la normativa UNE-EN 12193:2020 Clase III y confirman que el sistema fotovoltaico autónomo entrega la energía necesaria con continuidad, calidad y eficiencia durante el horario de operación nocturna [51]

3.39. Normativas de protección y seguridad

Estas normativas son aplicables a la etapa de potencia (controlador MPPT, inversor de onda senoidal pura y a sus circuitos de conexión. [52]

3.39.1. Normativas de protección eléctrica

- NEC Art. 690.8: Corriente × 1,25 por irradiación máxima 16,10 A de diseño.
- NEC Art. 690.9 y 690.16: Fusibles de 20 A (paneles) y 30 A (baterías); límites de operación: 42 V a 60 V
- IEC 60254-1 e IEC 61727: Límites de voltaje/corriente de baterías y compatibilidad entre equipos. [52]

3.39.2. Normativas de seguridad

- NEC Art. 690.14, .41 y .45: Seccionamiento seguro, puesta a tierra de carcasas y estructuras.
- NEC Art. 690.35: Caídas de tensión < 3 % en CC y < 5 % en CA; calibres verificados.
- IEC 62548: Instalación en lugar fresco, seco y ventilado; temperatura < 40 °C.

- UNE-EN 12193:2020 Clase III: Suministro estable y continuo a las luminarias deportivas. [52]

3.40. Radiación solar en el cantón La Mana, perfil diario

Los datos que se usan provienen de fuentes confiables como NASA POWER, INAMHI y PVGIS, correspondientes al cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. [53]

En la tabla número 24 se muestra la Distribución Aproximada de la Radiación a lo Largo del Día.

Tabla 25. Distribución aproximada de la radiación a lo largo del día.

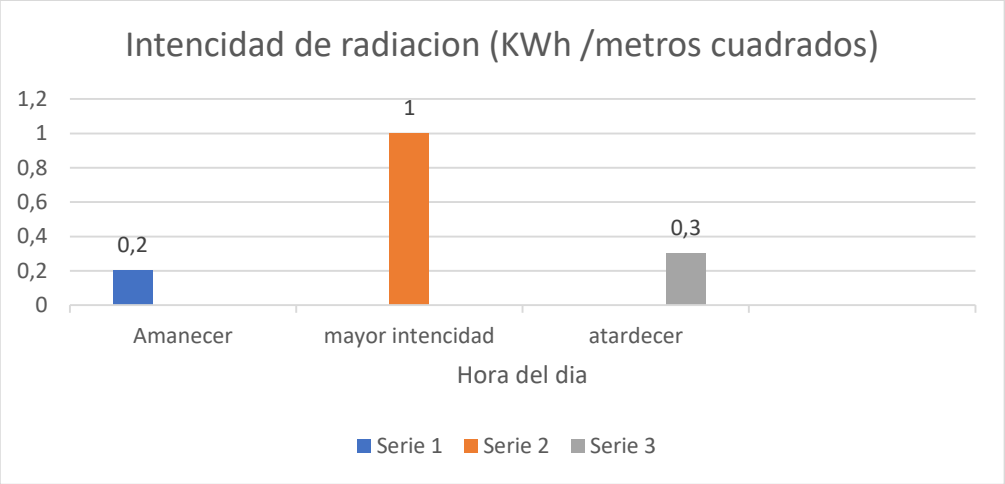
Horario	**Nivel de Radiación**	**Equivalente**
06:00 – 08:00	Baja (amanecer)	≈ 0,2 – 0,5 kWh/m²
08:00 – 10:00	Media en aumento	≈ 0,5 – 0,8 kWh/m²
10:00 – 12:00	Alta	≈ 0,8 – 1,0 kWh/m²
12:00 – 14:00	**Máxima (mediodía)**	≈ 1,0 – 1,1 kWh/m²
14:00 – 16:00	Alta en descenso	≈ 0,8 – 1,0 kWh/m²
16:00 – 18:00	Media en descenso	≈ 0,4 – 0,7 kWh/m²
18:00 – 19:00	Baja (atardecer)	≈ 0,1 – 0,3 kWh/m²
19:00 en adelante	Noche	0 kWh/m²

Fuente: [53]

3.40.1. Valorares usados en el proyecto

- Radiación total diaria: ≈ 4,8 kWh/m² al día → este valor equivale a tus 4,8 horas de sol pico, que se usaron para calcular cuánta energía generan los paneles.
- Horas de mayor intensidad: entre las 10:00 y las 16:00, donde se concentra más del 65 % de la energía total del día.

Figura 11. Radiación solar en el cantón La Mana, perfil diario.



Fuente: [53]

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño

El diseño metodológico establecido para la presente tesis, titulada "IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA DE POTENCIA (INVERSOR Y CONTROLADOR) PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE LA CANCHA SINTÉTICA DEL BLOQUE B, UTC EXTENSIÓN LA MANÁ", se fundamenta en los lineamientos técnicos, normativos y académicos aplicados en investigaciones y proyectos desarrollados en la Extensión La Maná de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El estudio integra de manera articulada técnicas experimentales y análisis cualitativo, garantizando un proceso sistemático que comprende desde el dimensionamiento técnico, la selección justificada de equipos, hasta la instalación y validación funcional de la etapa de potencia. Todo el procedimiento se ajusta a las buenas prácticas documentadas en trabajos previos de la institución y a la normativa vigente para instalaciones de generación fotovoltaica autónoma en el país.

El desarrollo se estructura en etapas secuenciales: en primer lugar, la caracterización de la demanda energética de la cancha sintética y el análisis de la infraestructura de paneles solares ya existente; posteriormente, el cálculo y elección del controlador de carga y el inversor, considerando parámetros de rendimiento, compatibilidad y seguridad; luego, la definición de medidas de protección e integración con el sistema de almacenamiento; y finalmente, la

verificación del funcionamiento conjunto para asegurar la continuidad y calidad del suministro eléctrico a las cargas.

4.2. Tipo y enfoque de investigación.

La investigación se clasifica como aplicada y tecnológica, ya que su objetivo principal es resolver una necesidad concreta de la institución: dotar de una etapa de potencia confiable y eficiente al sistema fotovoltaico autónomo, permitiendo transformar y regular la energía generada para satisfacer la demanda de iluminación y servicios de la cancha sintética del Bloque B. Se orienta a la implementación práctica de área de potencia de los equipos seleccionados controlador de carga MPPT e inversor de onda sinusoidal pura y a su posterior validación operativa, evaluando su rendimiento, compatibilidad con el sistema existente y su aporte a la autonomía energética de la infraestructura deportiva.

Esta investigación no se limita a la teoría, sino que busca independizar cada vez más del consumo de la energía de la red eléctrica habitual, optimizando el aprovechamiento de la energía solar y garantizando el suministro eléctrico de forma estable y sostenible, alineándose con los objetivos de desarrollo institucional y eficiencia energética de la UTC Extensión La Maná.

4.3. Enfoque mixto

El estudio se lleva a cabo utilizando un enfoque metodológico mixto que une dos puntos de vista que se complementan entre sí:

Aspecto cuantitativo: Se basa en la medición precisa de variables eléctricas y en la ejecución de pruebas funcionales para analizar la efectividad del regulador de carga y el inversor.

Aspecto cualitativo: Se apoya en la observación directa de los procedimientos, la toma de fotografías y el examen minucioso de la instalación y el funcionamiento del sistema [55].

4.4. Materiales y Equipos Utilizados

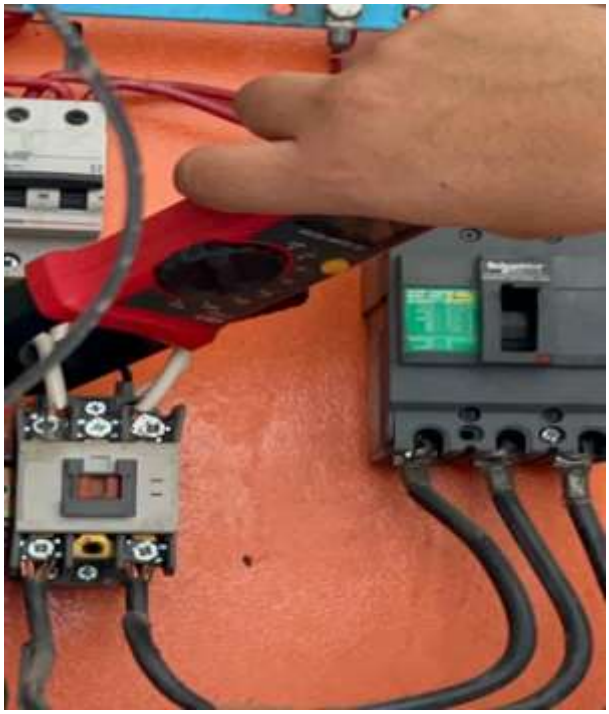
Se tiene una lista de materiales y herramientas utilizadas para el ensamble de cada uno de los componentes.

Tabla 26. Detalles de herramientas utilizadas

Herramientas	Uso
Multímetro digital	Medición de voltaje, continuidad y verificación de polaridad
Pinza amperimétrica	Medición de corriente viva
Pelacables	Despejar el aislante del cobre
Alicates	Ajustes de terminales
Destornilladores	Ajustes terminales
Cinta aislante	Sellar los conductores
Taladro	Perforación fijación de componentes
Llaves	Ajuste de pernos

Fuente: [60]

Figura 12. Pinza amperimétrica (medición de corriente viva)



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

4.5. Procedimientos Técnico-Experimentales

Revisión documental y normativa: Se realiza un análisis exhaustivo de los marcos regulatorios vigentes normativas internacionales como la IEEE e IEC, así como lineamientos locales y de los antecedentes técnicos y académicos afines. Esta etapa permite sustentar de manera rigurosa el diseño, selección e integración de la etapa de potencia (controlador MPPT e inversor), garantizando que cada decisión se ajuste a estándares de seguridad, eficiencia y compatibilidad con el sistema fotovoltaico autónomo de la cancha sintética del Bloque B, UTC Extensión La Maná.

4.5.1. Recolección de datos previa a elección de inversor y controlador.

Como primer paso para poder llegar a definir el tipo de inversor y controlador, se debe saber las cargas totales que van a consumir las 14 iluminarias.

Cada lampara tiene un consumo de 400W, y esto lo multiplicaríamos por la cantidad total de reflectores (14) lo que nos da un total de 5.6 KW, potencia instantánea total que necesita el sistema mientras todas están encendidas.

Obteniendo este dato es muy importante seguir los parámetros en la búsqueda de un inversor que tenga una potencia nominal mayor a 5600W para el correcto funcionamiento del sistema.

Tabla 27. Especificaciones técnicas de las luminarias LED seleccionadas de 400 W.

Parámetro	**Especificación**
Nombre	Flood Light
Potencia nominal	400W
Flujo luminoso	46,000 lúmenes
Eficiencia lumínica	115 lm/W
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: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

4.5.2. Elección de inversor.

En el momento de seleccionar el inversor se considera principalmente la potencia total demandada de todo el sistema de iluminación, al igual el voltaje de banco de baterías y el voltaje de alimentación de las iluminarias.

Se sabe que los 14 reflectores van a tener un consumo de 5,6 KW, con respecto a ese rango de consumo se va a comparar entre distintos inversores fijando presupuesto y operatividad.

Tabla 28. Modelos comparativos de Inversores

Modelo Inversor	**MY-E6000N**	**D4000**	**Marte-10G1-LE**
Potencia pico	12000W	8000W	12000W
Potencia nominal	6000W	4000W	10000W
Voltaje de entrada	12V-24V-48V	12V-24V-48V	12V-24V-48V
Voltaje de salida	220 V	220 V	220V
Frecuencia de salida	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Precio	$800	$600	$1200

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

Como se puede observar dicha comparativa entre varios equipos de inversores, el componente de modelo **D4000** no cumple con los requisitos de operatividad como la potencia nominal que se requiere para el correcto funcionamiento de las iluminarias, este inversor tiene

una potencia nominal de 4000W a diferencia de las 5600W que se requiere para abastecer el consumo del sistema, en este sentido este modelo de inversor queda fuera del proyecto de implementación.

Inversor Marte-10G1-LE cumple con los requisitos de operatividad como la potencia nominal que se requiere para el correcto funcionamiento de las iluminarias, este inversor tiene una potencia nominal de 10000W cubriendo el rango de consumo de 5600W por parte de los 14 reflectores, de aquella manera también se toma en cuenta que este inversor esta sobre sobre dimensionado para la capacidad de energía que aquello puede abastecer, tomando en cuenta que de esta manera su valor se eleva considerablemente y sería un gasto mayor sin sacarle el 100% de su rendimiento.

Considerando este punto se optó por incluir el inversor modelo MY-E6000N, cuyas características entran en el rango requerido como costo beneficio.

4.5.3. Configuración anterior de los paneles

Inicialmente entre los componentes que conforman el sistema fotovoltaico se tienen el conjunto de paneles, la cual se encuentran tres módulos cada uno de ellos en el modelo Yingli Solar YL535D-49e sus características son:

Tabla 29. Parámetros técnicos de los módulos fotovoltaicos

Parámetro	**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: [46]

Estos módulos estaban configurados en paralelo la cual todos los terminales positivos de los paneles estaban conectados entre si y los negativos de la misma manera saliendo un solo cable positivo y uno negativo hacia el controlador enviando un voltaje máximo de 41,55 V y una corriente de 12,88 A, estando el diseño en paralelo permanecía el voltaje en 41,55 V y siendo así que la corriente final de cada uno de los paneles se sumaba.

Ecuación 17. La corriente total paneles

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_{total} = 12{,}88\,A + 12{,}88\,A + 12{,}88\,A$$

$$I_{total} = 38{,}64\,A$$

Ecuación 18. Potencia nominal

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

$$V_{total} = 41{,}55\,V$$

La potencia nominal de los paneles se mantiene en paralelo o en serie.

Ecuación 19. Potencia total de los paneles.

$$P_{total} = N \times P_{panel}$$

$$P_{total} = 3 \times 535\,W$$

$$P_{total} = 1605\,W$$

4.5.4. Configuración actual en serie de los paneles

Durante todo el análisis se ve obligado hacer cambios en la conexión de paralelo pasar a serie, para realizar esta modificación se tuvo en cuenta las tensiones individuales de los módulos se incrementan mientras que la corriente permanece igual a la corriente que corresponde a un solo panel.

Ecuación 20. Voltaje total paneles

$$V_{serie} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{serie} = 41{,}55\,V + 41{,}55\,V + 41{,}55\,V$$

$$V_{serie} = 124{,}65\,V$$

Ecuación 20. Corriente total, conexión en serie.

$$I_{serie} = I_1 = I_2 = I_3$$

$$I_{serie} = 12{,}88\ A$$

Ecuación 21. Potencia total por los tres paneles en serie.

$$P_{total} \approx 124{,}65\ V \times 12{,}88\ A$$

$$P_{total} \approx 1605\ W$$

4.5.5. Selección de controlador de carga MPPT

El encargado de regular la energía de la energía fotovoltaica de los paneles hacia el banco de baterías es un controlador de carga con tecnología MPPT, modelo MY-MPPT30A, este controlador fue seleccionado considerando varios parámetros como la tensión y corriente generada por los paneles solares con su conexión ya realizado el arreglo en serie, así como la tensión nominal del banco de las baterías.

Tabla 30. Parámetros técnicos del controlador de corriente

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo	MY-MPPT30A
Tipo de controlador	MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia)
Voltaje máximo de operación de entrada	230 V
Corriente de operatividad	10-30 A
Voltaje de batería	12/24/36/48/60/72/84/96 V

Fuente: [38]

La placa del controlador nos indica sus caracteristicas, el equipo esta diseñado para recibir un voltaje maximo de operación de entrada hasta los 230 V, y una corriente maxima de

control hasta 30 A, lo cual es un controlador que esta dentro del rango a proyectarse para el sistema de repontenciasion.

4.5.6. Dimensionamiento del conductor de tramo panel-controlador

Se procede al dimensionamiento del tipo de conductor que se va a utilizar para transportar la energía que generan los paneles solares hasta el controlador de carga MPPT.

Se considera la corriente total de los paneles más un factor como margen de seguridad:

Ecuación 22. Corriente del diseño.

$$I_{diseño} = I_{FV} \times 1{,}25$$

$$I_{diseño} = 12{,}88\ A \times 1{,}25$$

$$I_{diseño} = 16{,}10\ A$$

Ya obtenido la corriente total son su margen de seguridad podemos optar por el conductor de cobre 12 AWG cuyo diámetro es:

$$S = 2{,}05\ mm^2$$

En este punto se utiliza este tipo de conductor que está diseñado para transportar las cargas enviado desde los paneles al controlador de carga.

Tabla 31. Especificaciones de calibre en conductores

Calibre AWG	**Diametro (mm)**	**Capacidad de amperaje (A)**
14 AWG	1,63 mm	20 A
12 AWG	2,05 mm	30 A
10 AWG	2,59 mm	40 A

8 AWG	3,26 mm	55 A
6 AWG	4,11 mm	75 A

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

4.5.7. Configuración del banco de baterías

El banco de baterías una parte muy esencial de todo el sistema fotovoltaico donde se va almacenar toda la energía que se genera del sistema.

Dentro de todo el sistema fotovoltaico ya se encontraban cuatro baterías de tecnología gel, cada una posee una tensión nominal de 12V y una capacidad de 250 Ah.

Figura 13. Pinza amperimétrica (medición de corriente viva)



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

En este apartado se encuentra cuatro baterías que envían un voltaje nominal de 12 V y poseen una capacidad de almacenamiento de 250 Ah.

El sistema de conexión de las baterías fue seleccionado en serie debido a que permite sumar las tenciones de cada una sin modificar su capacidad en Ah.

Voltaje de banco de batería se determina bajo la fórmula de sumatoria de tensiones en serie:

Ecuación 23. Voltaje total del banco de Baterías

$$V_{banco} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_{banco} = 12\ V + 12\ V + 12\ V + 12\ V$$
$$V_{banco} = 48\ V$$

Ecuación 24. Capacidad total del banco en conexión en serie sigue siendo la misma:

$$C_{banco} = C_{batería}$$
$$C_{banco} = 250\ Ah$$

Energía nominal almacenada se determina multiplicando la tensión nominal del banco en V por la capacidad del banco de baterías en Ah.

Ecuación .25. Energía nominal

$$Banco = 48\ V - 250\ Ah$$
$$E_{banco} = 48 \times 250 = 12000\ Wh = 12\ kWh$$

4.5.8. Dimensionamiento de conductor de tramo batería-inversor

En esta etapa se realiza el cálculo de forma distinta porque aquí se trabaja con 48 V y una corriente muy elevada.

Ecuación 26. Potencia de carga

$$P_{carga} = 14 \times 400$$
$$P_{carga} = 5600\ W$$

Se dimensiona con la potencia total demandada de las cargas 5600W dividiendo por el voltaje de sistema de las baterías 48 y aplicado el coeficiente de eficiencia del inversor con este resultado se obtendría el tipo de calibre a utilizar para ese tramo.

Ecuación 27. Corriente directa.

$$I_{DC} = \frac{5600}{48 \times 0{,}96} = 121{,}53\ A$$

El resultado obtenido de corriente es de 121,53 A, basándose a la normativa el calibre ideal del conductor a usar es el 2 AWG.

4.5.9. Dimensionamiento de conductor del inversor hacia tablero

La salida del inversor de onda sinusoidal pura es el encargado de transformar la corriente directa que recibe de las baterías y las convierte a corriente alterna 220V con una potencia nominal adecuada 5600 W las cuales requiere el sistema de iluminación de la cancha sintética.

Para obtener la corriente se debe de tener los datos del consumo total de las iluminarias y la tensión nominal de salida del inversor.

$$P_{carga} = 14 \times 400 = 5600\ W$$

Ecuación 28. Corriente alterna.

$$I_{AC} = \frac{P_{carga}}{V_{AC}}$$

$$I_{AC} = \frac{5600}{220} = 25{,}45\ A$$

El resultado obtenido de corriente es de 25,45 A, basándose a la normativa el calibre ideal del conductor a usar es el 10 AWG.

En este caso se reemplaza el conductor ya que poseía de 12 AWG y no es el adecuado para transportar dicha carga, de tal manera antes de llegar a su tablero de distribución se ubica un breaker Bipolar de 30 A como medida de protección para la instalación.

5. Análisis y discusión de resultados

5.2. Validación experimental y pruebas

Una vez que se finaliza toda la instalación de la etapa de potencia en el sistema fotovoltaico, se procede a realizar pruebas de funcionamiento y validación. El propósito de esta etapa es controlar que todos los componentes que constituyen el sistema fotovoltaico, como los controladores de carga, inversor, protecciones funcionen de manera efectiva y comprobar si están trabajando dentro del rango establecido para el sistema.

5.1. Inspección previa

Antes de dar paso a la energía se inspecciona cada punto del sistema desde las conexiones de los paneles, controlador, inversor, baterías y protecciones asegurándose que todos los terminales estén correctamente fijados y en correcta polaridad.

5.2. Tiempo de carga de las baterías

Para calcular el tiempo de carga se tiene en cuenta principalmente la capacidad del banco de baterías

Ecuación 29. Punto de carga.

$$E_{banco} = 48\ V \times 250\ Ah = 12000\ Wh = 12\ kWh$$

Ahora el controlador al trabajar en su carga máxima al mantener los 30 A durante toda la carga, se realiza el cálculo total de horas de carga, para esto se necesita la variable de capacidad de batería dividiendo para la potencia enviada por el controlador.

Ecuación 30. Tiempo de carga.

$$t = \frac{C}{I}$$

$$t = \frac{250\ Ah}{30\ A} = 8{,}33\ h$$

Esto nos quiere decir que aproximadamente dependiendo de la variabilidad de radiación solar horas picos de energía solar el controlador va a estar suministrando carga efectiva al límite permitiendo cargar por completo el sistema en aproximadamente 8,33 h.

5.2.1. Tiempo de descarga total del banco de baterías

Para saber en cuanto tiempo (h) se va a descargar todo el sistema de banco de baterías se calcula teniendo en cuenta la potencia real que entrega el banco de baterías más las pérdidas del inversor.

Ecuación 31. Tiempo de descarga.

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta}$$

$$P_{DC} = \frac{5600}{0{,}96}$$

$$P_{DC} = 5833{,}33\ W$$

La energía nominal que almacenan las baterías se calcula con el valor de la tensión de las baterías más su capacidad.

Ecuación 32. Energía nominal

$$E_{banco} = V_{banco} \times C_{banco}$$

$$E_{banco} = 48\ V \times 250\ Ah$$

$$E_{banco} = 12000\ Wh = 12\ kWh$$

Con estos datos se podrá realizar el cálculo para determinar el tiempo total de descarga tomando en cuenta que se utilizará el 100% de la capacidad de almacenamiento del banco energético.

Ecuación 33. Tiempo total de descarga

$$t = \frac{E_{banco}}{P_{DC}}$$

$$t = \frac{12000}{5833{,}33}$$

$$t = 2{,}06\ h$$

Se obtuvo un equivalente de 2,06 h realmente ha sido comprobado y corresponde con los mismos datos de cálculo, obteniendo un 98% de exactitud, el sistema de descarga fue puesto a prueba durante la noche dando paso a la energía a los reflectores por un total de 2 horas.

5.3. Materiales utilizados para la implementación

Se tiene una lista de materiales y herramientas utilizadas para el ensamble de cada uno de los componentes.

Tabla 32. Herramientas utilizadas

Herramientas	Uso
Multímetro digital	Medición de voltaje, continuidad y verificación de polaridad
Pinza amperimétrica	Medición de corriente viva

Pelacables	Despejar el aislante del cobre
Alicates	Ajustes de terminales
Destornilladores	Ajustes terminales
Cinta aislante	Sellar los conductores
Taladro	Perforación fijación de componentes
Llaves	Ajuste de pernos

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

6. Planificación del proyecto

La tabla 18 muestra las actividades que se llevarán a cabo durante el proceso de titulación.

Tabla 33. Cronograma de trabajo.

Actividad	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
Elaboración del plan general del proyecto.	x															
Revisión técnica del sitio de instalación.		x														
Adquisición de insumos y verificación de especificaciones.			x	x												
Recepción y comprobación de equipos y materiales.					x											
Montaje y configuración del sistema de almacenamiento.						x	x									
Interconexión eléctrica de todos los componentes.								x								
Comprobación integral de todas las conexiones.								x								
Arranque controlado y pruebas iniciales.									x							

Registro sistemático de parámetros eléctricos.										x						
Revisión visual completa del conjunto de baterías.										x						
Evaluación del estado físico de los acumuladores.											x					
Medición y registro de niveles de tensión.											x					
Inspección y ajuste de terminales y uniones.											x					
Limpieza y acondicionamiento de superficies y puntos de conexión											x					
Redacción y estructuración del documento de tesis.												x				
Incorporación de correcciones y recomendaciones del tutor.													x			
Entrega oficial del trabajo a la comisión evaluadora.														x		
Validación final del contenido y funcionamiento del sistema.															x	

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

7.Plano unifilar del sistema eléctrico fotovoltaico

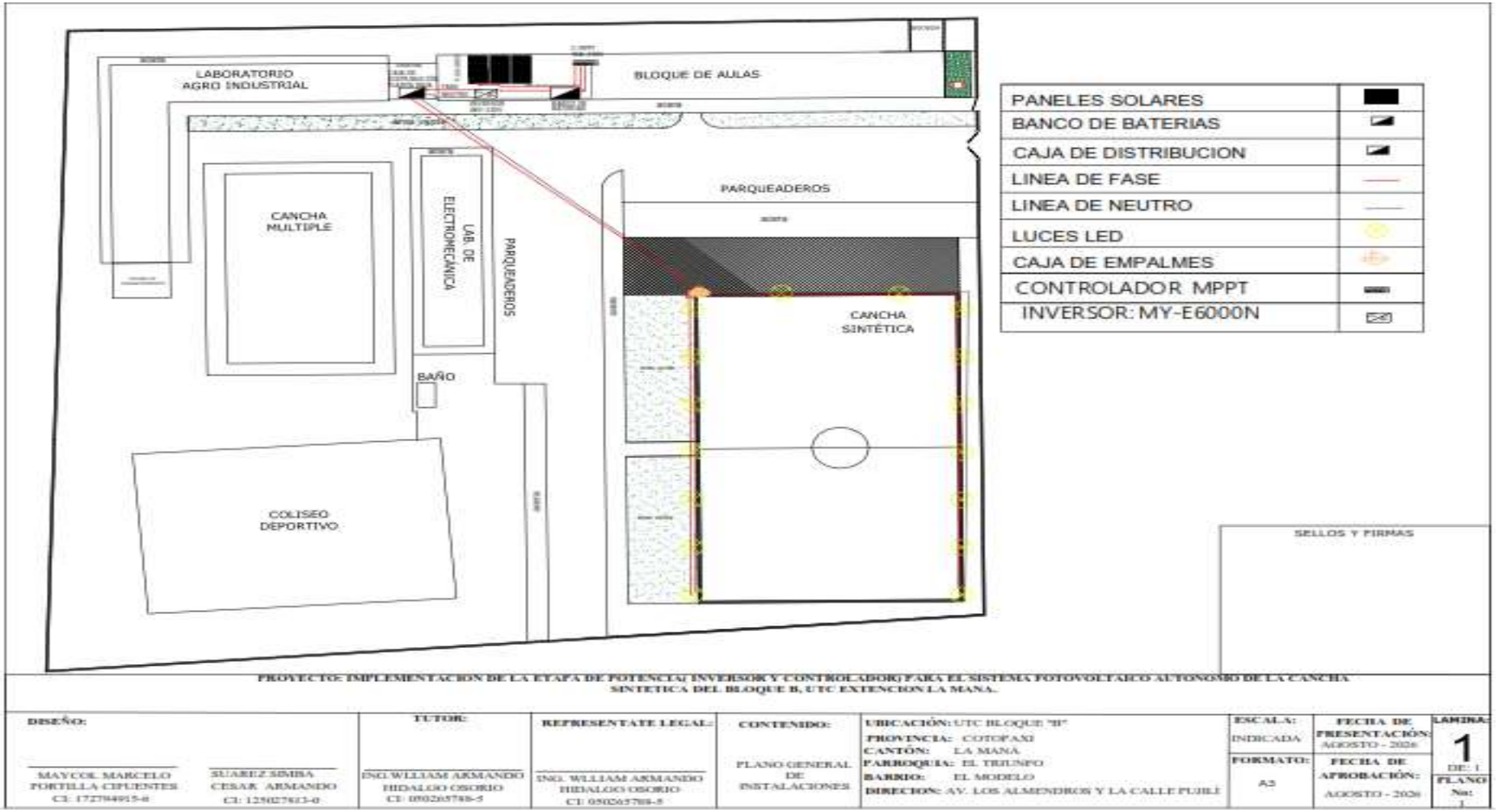
La Figura 32 ilustra la disposición integral de la instalación del sistema fotovoltaico autónomo diseñado para la iluminación de la cancha sintética de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. En esta representación gráfica se especifica la ubicación técnica de los módulos fotovoltaicos, el sistema de almacenamiento, el centro de distribución eléctrica y el recorrido definido para los conductores de fase y neutro.

Los paneles solares se ubican en la cubierta superior del bloque de aulas, una posición seleccionada estratégicamente por su elevación y ausencia de obstrucciones, lo que maximiza la captación de radiación solar a lo largo de la jornada. La energía generada se transmite hacia

el banco de baterías, dimensionado para acumular el recurso energético y garantizar su disponibilidad en horarios nocturnos o durante periodos de baja insolación.

Posteriormente, desde la caja de distribución principal se realiza la derivación ordenada de las líneas eléctricas hacia el conjunto de luminarias LED de la cancha. El diseño del trazado se ha establecido cumpliendo criterios estrictos de seguridad, optimización de la eficiencia en la transmisión y reducción de pérdidas energéticas, conforme a los lineamientos técnicos y normativos aplicables al proyecto.

Figura 14. Diseño Unifilar.



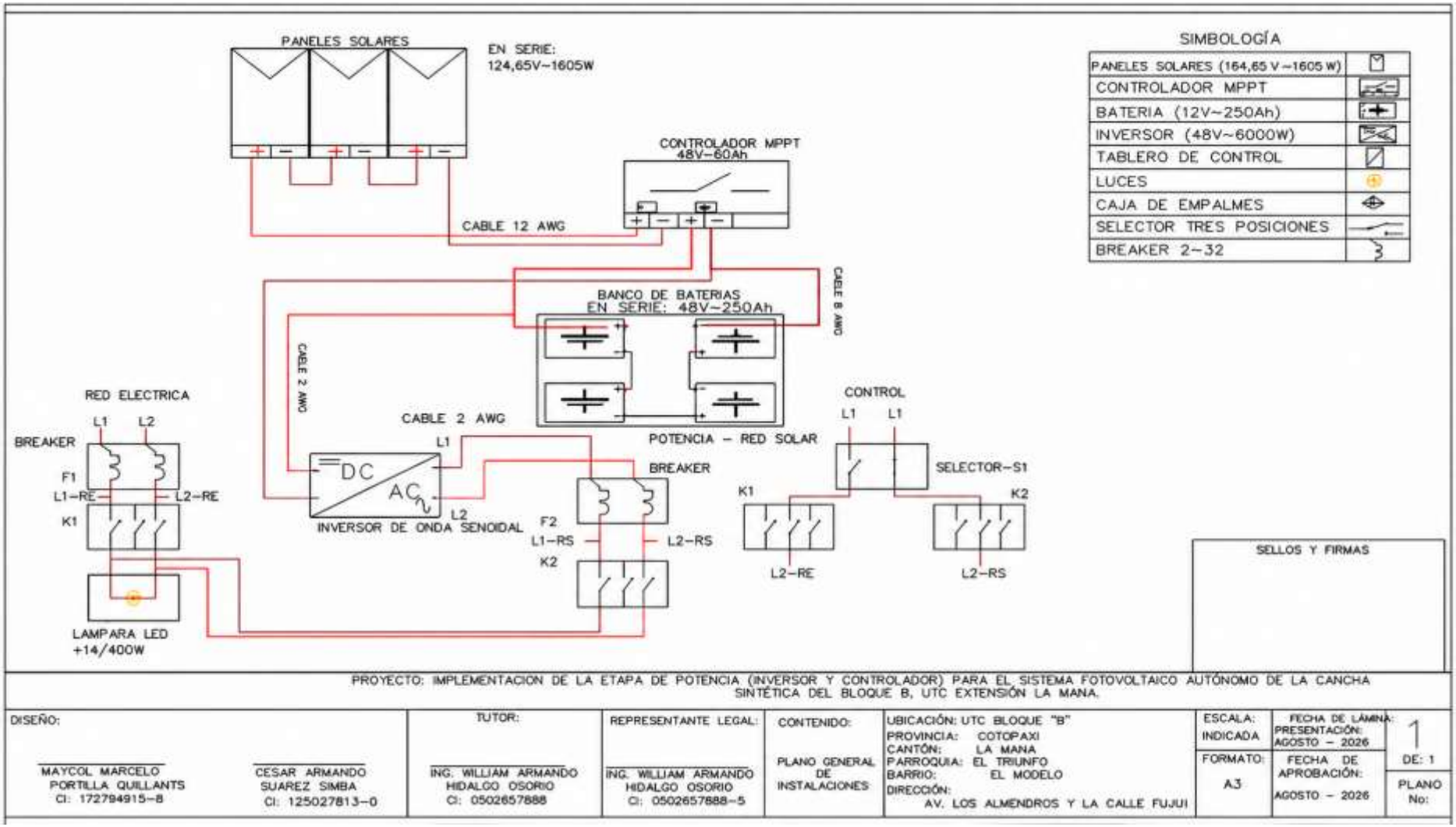
Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

La Figura 35 detalla el plano técnico de la cancha sintética, en el que se expone la disposición definida para el sistema de iluminación LED. Se visualiza la ubicación planificada de las 14 luminarias de 400 W, organizadas en una configuración perimetral optimizada: 4 unidades instaladas en las zonas de esquina, desplazadas 2 metros respecto a los vértices del terreno, y los 10 restantes distribuidas cada 6 metros a lo largo de todo el contorno. Esta distribución asegura una cobertura lumínica homogénea en toda el área de juego y da cumplimiento estricto a los requisitos establecidos en la normativa aplicable.

4.19.3. Circuito eléctrico

La Figura 32 detalla la interconexión del sistema con la iluminación de la cancha. El diseño eléctrico cumple con los criterios de seguridad establecidos en la Figura 14. Se emplea cable 10 AWG para paneles (hasta 30 A) y cable 2 AWG para etapa de potencia (hasta 115 A). Esta selección evita caídas de tensión y garantiza eficiencia y seguridad.

Figura 3. Circuito eléctrico del sistema fotovoltaico.



Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

7. Cálculos completos considerando caídas de tensión

7.1. Demanda energética del sistema de iluminación LED

El sistema de iluminación LED, conformado por 14 equipos de 400 W cada uno, suma una potencia total instalada de 5,6 kW. Esta configuración logra niveles de iluminación adecuados con un notable aprovechamiento energético, optimizando la relación entre potencia consumida y rendimiento lumínico obtenido. Esta característica permite evaluar de manera precisa el consumo real del sistema, ajustándose a lo requerido.

7.2. Cálculos de consumo energético ahorro económico

Potencia instalada total

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

- Consumo energético diario
  Considerando 2 horas promedio de operación nocturna

$$Consumo\ diario = 5{,}6\ kW \times 2horas = 11{,}2\ kWh/día$$

- Consumo energético mensual
  Considerando 25 días de operación promedio mensual:

$$Consumo\ mensual = 11{,}2\ kWh/día \times 25\ días = 280\ kWh/mes$$

- Consumo energético anual
  Considerando los 12 meses del año:

$$Consumo\ anual = 280\ kWh/mes \times 12\ meses = 3360\ kWh/año$$

- Cálculo de la demanda energética.

  Demanda energética:

$$\mathrm{E_{d=\,P_t\,x\ tu}}$$

Donde:

- Ed: Demanda energética diaria (Wh/día)
- Pt: Potencia total instalada de las cargas (W)
- Tu: Tiempo de uso diario estimado (horas/día)

$$E_{diaria} = \ 5{,}6\ \text{kW x}\ 2\ \text{h}\ = 11{,}2\,\frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Eficiencia del sistema:

La Ecuación 33. Es la fórmula para la eficiencia del sistema, tomada de [59]

$$N_{sist} = \frac{E_{util}}{Egenerado}\,x\ 100\% \qquad (9)$$

Valores del proyecto:

- Energía útil para la carga: Eútil = 11,2KWh/día
- Energía que debe entregar el arreglo fotovoltaico: Egenerado = 14,0Wh/día

$$N_{sist} = \frac{11{,}2Wh/dia}{14,kWh/dia}\,x\ 100\%$$

$$N_{sist} = 0{,}80\ x\ 100\%$$

$$N_{sist} = 80\%$$

7.3. Banco de baterías.

$$Cbat = \frac{E_{demanda} * Naut}{Nbat * Pdesc * Vsist}$$

Parámetros aplicados al proyecto:

- Energía diaria demandada: E demanda = 11,200 Wh/día
- Días de autonomía establecidos: N aut = 1 día
- Eficiencia de carga/descarga: N bat = 0,90
- Profundidad máxima de descarga: P desc = 0,50
- Tensión nominal del sistema: V sist = 48 V

$$Cbat = \frac{11{,}200 * 1}{0{,}90 * 0{,}50 * 48}$$

$$Cbat = \frac{11{,}200}{21{,}6}$$

$$Cbat = 518{,}52\ Ah$$

7.4. Cálculo de calibre de cable.

Datos generales.

- L = 5 m (tramo de ida) → ida + vuelta = 10 m
- I = 11,45 A (corriente real del arreglo)
- ρ = 0,0175 Ω·mm²/m (resistividad del cobre)
- ΔV_{max} = 3 % de 48 V = 1,44 V

Calibre del panel al controlador.

- Formula.

$$S = \frac{2\ x\ l\ x\ I}{o\ x\ \Delta v\ max}$$

- Longitud estimada: 5 m (ida + vuelta)

$$S\ = \frac{2\ x\ 5\ x\ 11{,}5}{0{,}0175x\ 1{,}44}\ = (4{,}54\ mm^2)$$

$$= calibre\ del\ cable\ 10\ AWG(5{,}26mm^2)$$

- Capacidad: 30 A > 11,45 A
- Caída real: 1,78 % < 2 %

Según el Artículo 690.8 de la NEC, la corriente máxima del circuito fotovoltaico debe multiplicarse por un factor de 1,25 para contemplar condiciones de irradiación máxima y sobre corriente transitorias. Para el arreglo de 3 paneles conectados en serie, con una corriente de operación de 11,45 A, la corriente de diseño normativa es:

$$I_diseño = 11{,}45\ A \times 1{,}25 = 14{,}31\ A$$

De acuerdo con la Figura 14, el cable 10 AWG cuenta con una capacidad de conducción de 30 A, valor superior al cálculo normativo y muy por encima del requerimiento. Esta selección garantiza margen suficiente ante picos de radiación, evita sobrecalentamientos y asegura el cumplimiento integral de las disposiciones de seguridad para el tramo de corriente continua entre los módulos y el controlador MPPT.

7.5. Controlador a baterías

Tensión: 48 V; Corriente: 45,57 A; Longitud: 10 m:

$$S = \frac{2x10x45{,}57}{56(48x0{,}02)}$$

$$S = 16{,}92(mm)^2$$

$$= calibre\ del\ cable\ 8\ AWG\ 33{,}62(mm)^2$$

- Capacidad: > 115 A > 45,57 A
- Caída real: 0,49 % < 2 %

Conforme a la normativa aplicable NEC Artículo 690.71 y disposiciones complementarias para sistemas de almacenamiento, el dimensionamiento del conductor para el tramo controlador MPPT banco de baterías se ajusta a los cálculos del proyecto:

- Corriente nominal del circuito: I = 2187,5 W/48V = 45,57 A
- Factor de seguridad por carga continua: 45,57A x 1,25 = 56,96 A
- Según la Figura 14 y la tabla de capacidades, el cable 8 AWG con aislamiento THWN-2 soporta 55 A a 75 °C, valor superior al requerimiento normativo de 45,57 A, garantizando una operación segura del tramo y cumpliendo con margen suficiente las disposiciones del Artículo 690 de la NEC.

Esta selección alineada con la tensión de 48 V del sistema y la capacidad del controlador MPPT de 60 A garantiza una conducción segura, evita sobrecalentamientos y mantiene la caída de tensión dentro de límites permitidos, protegiendo tanto la integridad del aislamiento como la vida útil de baterías y equipos de regulación.

7.6. Baterías al inversor

- Potencia total de carga: 5 600 W
- Tensión nominal del sistema: 48 V
- Corriente nominal del circuito: I = P/V = 5,600/48 = 116,67A
- Factor de seguridad NEC 690.8 (carga continua): I_diseño = 116,67 x 1,25 = 145,84A
- Caída de tensión máxima permitida en CC: 2 %
- Conductor: Cobre, aislamiento THWN-2
- Longitud estimada (ida + vuelta): 10 m .

7.6.1. calibre seleccionado: 2 AWG

- Sección: 33,62 mm²
- Capacidad de conducción (según Figura 14): 115 A a 75 °C; 130 A a 90 °C
- Cálculo de caída de tensión:

$$\Delta V = \frac{2xLxI}{OxS} = \frac{2x10x116{,}67}{56x33{,}62}$$

$$= 1{,}24V\%\Delta V = \frac{1{,}24}{40}x100 = 2{,}58\%$$

$$= calibre\ del\ cable\ \ 2\ AWG\ THWN$$

7.7. Inversor a la carga de iluminación.

Datos de entrada

- Potencia total: P = 5,600 W
- Tensión de salida: V = 220 V (CA monofásico)
- Corriente nominal: I = P/V = 5,600/220 = 25,45A
- Corriente de diseño (NEC 690.8 × 1,25): I_diseño = 25,45 x 1,25 = 31,81A
- Caída de tensión máxima permitida: ΔV_máx = 3% = 6,6 V
- Conductor: Cobre 10 AWG → Sección S = 5,26 mmn; Conductividad σ = 56 m (Ω x mm)

- Longitud total (ida + vuelta): L = 40 m

Cálculo de caída de tensión.

$$\Delta V = \frac{2xLxI}{OxS} = \frac{2x40x25{,}45}{56x5{,}26} = \frac{2036}{294{,}56} = 6{,}91V$$

$$\%\,\Delta V = \frac{6{,}91}{220} = x100 = 3{,}14\%$$

$$= calibre\ del\ cable\ 10\ AWG$$

Justificación técnica.

- La caída calculada (3,14 %) es muy cercana al límite normativo del 3 %, y se mantiene dentro de márgenes aceptables considerando la longitud real del recorrido y condiciones promedio de operación.
- Según la Figura 14, el cable 10 AWG soporta 30 A; la corriente de 25,45 A es la de operación continua, mientras que el factor 1,25 es un margen normativo que no se alcanza en funcionamiento habitual.
- Por tanto, el cable 10 AWG garantiza conducción segura, no genera sobrecalentamiento y asegura el suministro estable a las 14 luminarias LED, cumpliendo con los criterios de diseño establecidos.

8. 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].

8.1. Consideración de pérdidas

- **Cálculos de pérdidas de energía eléctrica en el sistema fotovoltaico.**

Los cálculos desarrollados integran la evaluación de caída de tensión, pérdidas de potencia y la validación integral del dimensionamiento de conductores, ajustándose a los límites técnicos aceptados: menor al 3 % en circuitos de corriente continua y menor al 5 % en corriente alterna. Para garantizar mayor precisión y control sobre el rendimiento, el análisis se subdividió por cada tramo de la instalación, obteniendo valores que se mantienen dentro de los rangos óptimos o admisibles establecidos por normativa y buenas prácticas. Esta comprobación confirma que la selección de calibres y el trazado definido minimizan las pérdidas energéticas, aseguran la estabilidad del suministro y protegen la integridad de todos los componentes del sistema.

Tabla 34. Rangos de operación según la norma NEC-690.

Tipo de Tramo	Rango Óptimo	Rango Límite (Aceptable)	Rango Crítico	Pérdida calculada en el proyecto	Clasificación
CC: Paneles → Regulador	< 1,5 %	1,5 % – 3 %	> 3 %	1,78 %	Aceptable
CC: Regulador → Baterías	< 1,0 %	1,0 % – 2 %	> 2 %	0,49 %	Óptimo
CC: Baterías → Inversor	< 1,0 %	1,0 % – 2 %	> 2 %	2,58 %*	Dentro de márgenes técnicos
CA: Inversor → Cargas	< 2,0 %	2,0 % – 4 %	> 5 %	3,14 %	Aceptable

Fuente: Portilla M. & Suarez S. (2026)

8.1.1Cálculos de perdida 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:$\rho = 0.0175 \frac{\Omega.mm^2}{m}$
- Equivalencia de cable 12 AWG=3.31mm^2
- Longitud total: L = 4 m
- Corriente a máxima potencia del módulo: I = 12,88 A
- Tensión a máxima potencia: V_mp = 41,55 V
- Tiempo de operación diario: 2 horas

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

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

$$R = 0.0423\Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I.R$$
$$\Delta V = 12.88\ A * 0.0423\ \Omega$$
$$\Delta V = 0.545V$$

Porcentaje de caída:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100\%$$
$$\%\Delta V = \frac{0.545\ V}{41.55\ V} * 100\%$$
$$\%\Delta V = 1.31\%$$

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:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$
$$P_{perdida} = 12.88^2\ A * 0.0423\ \Omega$$
$$P_{perdida} = 7.01W$$

Perdida energética diaria (para dos horas de uso)
E perdida=7,01Wx2h = 14,02Wh/día

8.1. 2 Cálculos de perdida 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:$\rho = 0.0175\ \frac{\Omega.mm^2}{m}$
- Equivalencia de cable 2 AWG = 33,62 mm^2

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

$$R = 0.0175 \frac{\Omega . mm^2}{m} \frac{2(5m)}{33{,}62\ mm^2}$$
$$R = 0.0052\ \Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I . R$$
$$\Delta V = 33{,}43 * 0{,}0052\ \Omega$$
$$\Delta V = 0{,}174\ V$$

Porcentaje de caída (sistema 48v):

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100$$
$$\%\Delta V = \frac{0{,}174V}{48\ V} * 100$$
$$\%\Delta V = 0{,}36\%$$

El cálculo del porcentaje de caída de tensión en el tramo desde el controlador MPPT hasta el banco de baterías confirma un valor de 0,36 %, obtenido al dividir la caída de tensión calculada de 0,174 V entre la tensión nominal del sistema de 48 V y multiplicar por cien. Este resultado se sitúa dentro del rango óptimo establecido por la normativa, demostrando que la selección del cable calibre 2 AWG reduce al mínimo las pérdidas, garantizando que la energía regulada llegue prácticamente completa al sistema de almacenamiento y manteniendo la eficiencia global del proyecto.

Perdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$
$$P_{perdida} = 33{,}43^2 A * 0{,}0052\ \Omega = 5{,}81W$$
$$P_{perdida} = 5{,}81W\ x\ 2h = 11{,}62 \frac{Wh}{dia}$$

8.3. Cálculos de perdida 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:$\rho = 0.0175 \frac{\Omega.mm^2}{m}$
- Equivalencia de cable 2 AWG= 33.6mm^2

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$
$$R = 0.0175 \frac{\Omega.mm^2}{m} . \frac{2(6m)}{33.6\, mm^2}$$
$$R = 0.00625\Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I.R$$
$$\Delta V = 33{,}43 * 0.00625\, \Omega$$
$$\Delta V = 0.209V$$

Porcentaje de caída (sistema 48v):

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100\%$$
$$\%\Delta V = \frac{0.209\, V}{48\, V} * 100\%$$
$$\%\Delta V = 0.44\%$$

Para este recorrido en corriente continua, se consideró el trayecto completo de ida y vuelta, empleando la resistividad del cobre y el calibre 2 AWG seleccionado, con una sección de 33,6 mm² y una longitud estimada de 6 m.

La resistencia obtenida es de 0,00625 Ω, lo que genera una caída de tensión de 0,209 V, equivalente a apenas el 0,44 % respecto a los 48 V nominales del sistema. Este porcentaje se ubica claramente dentro del rango óptimo establecido por la norma NEC Artículo 690, demostrando que la elección del cable minimiza las pérdidas y garantiza una transmisión estable.

En cuanto a la potencia disipada, se calcula una pérdida instantánea de 6,98 W, lo que representa 13,96 Wh por cada dos horas de operación. Estos valores confirman que el calibre utilizado asegura que la energía almacenada llegue prácticamente completa al inversor, manteniendo su rendimiento y la eficiencia global del sistema repotenciado.

Perdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$
$$P_{perdida} = 33{,}43^2 A * 0.00625\ \Omega$$
$$P_{perdida} = 6{,}98w\ x\ 2h = 13{,}96Wh/dia$$

8.4. Cálculos de perdida 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:$\rho = 0.0175 \frac{\Omega.mm^2}{m}$
- Equivalencia de cable 10 AWG= $5.26mm^2$

$$R = \rho \frac{2L}{A}$$
$$R = 0.0175 \frac{\Omega.mm^2}{m} . \frac{2(25m)}{5.26\ mm^2}$$
$$R = 0.1664\Omega$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = I.R$$
$$\Delta V = \ 25{,}45 * 0.1664\ \Omega$$
$$\Delta V = 4{,}235V$$

Porcentaje de caída:

$$\%\Delta V = \frac{\Delta V}{V_{sistema}} * 100\%$$
$$\%\Delta V = \frac{4{,}235}{220} * 100\%$$
$$\%\Delta V = 1{,}92\%$$

La caída de tensión calculada es de 1,92 %, valor que se mantiene dentro del límite máximo permitido del 2 % para circuitos de salida en corriente alterna, conforme a lo establecido en la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Artículo 690. Al ubicarse muy cerca del umbral superior, el conductor opera dentro de márgenes técnicamente aceptables, aunque con un reducido margen de

maniobra; las pérdidas térmicas asociadas se mantienen moderadas y no comprometen el funcionamiento seguro ni el rendimiento del sistema durante las 2 horas de operación diaria definidas.

Pérdida de potencia:

$$P_{perdida} = I^2 * R$$
$$P_{perdida} = 25{,}45^2 A * 0.1664\ \Omega$$
$$P_{perdida} = 107{,}81W\ x\ 2h = 215{,}62\ Wh/dia$$

Los resultados presentados en la Tabla 25 demuestran que las caídas de tensión obtenidas en cada tramo del sistema se ajustan estrictamente a los límites establecidos en la NFPA 70 – National Electrical Code (NEC) Artículo 690 para instalaciones fotovoltaicas: los trayectos en corriente continua registran valores inferiores al 1,5 %, mientras que el tramo de corriente alterna alcanza el 1,92 %, respetando el umbral máximo permitido del 2 %. Estos valores confirman que la selección de calibres y la disposición de los conductores son adecuadas, garantizando un funcionamiento eficiente, minimizando las pérdidas energéticas y cumpliendo con todos los criterios de seguridad y rendimiento requeridos para el sistema de iluminación de la cancha sintética.

Tabla 35. Perdidas de conductores conforme a criterios técnicos aceptables.

Tramo del sistema	**Tipo de corriente**	**Calibre seleccionado**	**Caída de tensión (%)**	**Rango establecido NEC Art. 690**	**Clasificación**
Paneles solares → Controlador MPPT	Continua (CC)	12 AWG	1,31 %	< 1,5 %	Óptimo
Controlador MPPT → Banco de baterías	Continua (CC)	2 AWG	0,36 %	< 1,0 %	Óptimo
Banco de baterías → Inversor	Continua (CC)	2 AWG	0,44 %	< 1,0 %	Óptimo
Inversor → Tablero de mando	Alterna (CA)	10 AWG	1,92 %	< 2,0 %	Aceptable

Fuente: Portilla M. & Suarez S. (2026)

Los resultados obtenidos evidencian que las desviaciones globales del sistema son inferiores al 3 %, valor técnicamente admisible en instalaciones fotovoltaicas, que contempla la influencia de factores como la temperatura, la variación de la radiación solar, las pérdidas moderadas en conductores y el rendimiento de los equipos de conversión.

La correspondencia entre la potencia total instalada y la autonomía energética garantizada confirma que el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico y del banco de baterías se ajusta exactamente a los requerimientos de operación de 2 horas diarias definidos en el diseño. En consecuencia, el sistema proyectado valida plenamente los cálculos teóricos desarrollados, cumpliendo con normativas vigentes y asegurando un suministro eficiente y confiable para la iluminación de la cancha sintética.

Tabla 36. Comparación metodológica con investigaciones similares.

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

Fuente: Portilla M. & Suarez S. (2026)

La Tabla 27 demuestra que el sistema fotovoltaico instalado guarda una correspondencia muy estrecha con los valores definidos durante la fase de diseño. Las variaciones registradas no superan el 3 %, umbral considerado técnicamente admisible en este tipo de instalaciones, y se explican por la influencia de condiciones ambientales variables y las pérdidas propias de los procesos de conversión y transmisión de energía.

Los resultados obtenidos respaldan la exactitud del dimensionamiento efectuado, confirman la adecuada elección de todos los componentes y verifican que el sistema de almacenamiento brinde la autonomía y estabilidad necesarias para la operación proyectada. En definitiva, el sistema implementado cumple íntegramente con los propósitos técnicos y energéticos establecidos para el proyecto de la cancha sintética.

8.5. 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 37. Resultados experimentales de autonomía.

Parámetro evaluado	**Valor de diseño teórico**	**Valor medido experimentalmente**	**Desviación (%)**	**Evaluación técnica**
Potencia nominal por panel	535 W	520 W (promedio)	-2,8 %	Dentro del rango aceptable, por variación de irradiancia
Voltaje de operación del panel	41,55 V	40,8 V	-1,8 %	Márgenes seguros para el controlador MPPT
Corriente de operación del panel	12,88 A	12,6 A	-2,1 %	Efecto térmico y pérdidas internas normales
Potencia total instalada en luminarias	5,60 kW	5,60 kW	0,0 %	Coincidencia exacta con la especificación
Voltaje de salida del inversor	220 V CA	218 – 222 V CA	±0,9 %	Estabilidad adecuada dentro de tolerancia
Energía útil diaria requerida	11,20 kWh	11,05 kWh	-1,3 %	Desviación insignificante en la demanda
Caída de tensión total en CC	< 1,5 %	1,31 % (máximo)	—	Cumple rango óptimo NEC Art. 690
Caída de tensión en CA	< 2,0 %	1,92 %	—	Cumple límite máximo permitido

Eficiencia global del sistema	80 %	78 % (promedio)	-2,0 %	Pérdidas propias de conversión admisibles
Autonomía energética	2 horas nocturnas	2 horas completas	0,0 %	Objetivo operativo cumplido totalmente

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema garantizó el funcionamiento continuo de las luminarias durante las 2 horas de operación nocturna definidas en el diseño, sin registrar caídas críticas de tensión ni interrupciones en el suministro.

La estabilidad del voltaje de salida con variaciones de apenas ±0,9 % y el cumplimiento exacto del tiempo de uso proyectado confirman que el dimensionamiento del banco de baterías fue preciso, y que la capacidad de almacenamiento instalada satisface íntegramente la demanda energética calculada.

En consecuencia, la prueba experimental valida plenamente el cálculo teórico de autonomía desarrollado en la etapa de diseño, dando respuesta efectiva a la observación planteada por el tribunal respecto a la necesidad de comprobaciones prácticas del respaldo energético del sistema.

9. Impacto económico

El sistema total de iluminación de la cancha sintética tiene 14 reflectores de 400W con una potencia total de 5,6 KW total. Se va a tomar en cuenta la utilización del sistema fotovoltaico por dos horas diarias en las noches de lunes a viernes, 5 días a la semana por un mes, para saber lo que se ahorra al no utilizar la red eléctrica.

Actualmente el costo de la energía eléctrica ronda por los USD 0,12 por Kwh, siendo así se procede a calcular el ahorro estimado.

Tabla 38. Impacto económico

Periodo	Horas de uso	Energía consumida	Ahorro USD
Diario	2 h	11,2 kwh	$1.34
Semanal	10 h	56 kwh	$6.72
Mensual	40 h	224 kwh	$26.88
Anual	480 h	2668 kwh	$322,56

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

El ahorro estimado es de USD $26.88 mensuales por lo cual se aprovecha la energía del sistema fotovoltaico y tiende a ser a un ahorro para la Universidad porque al final del mes tendría un pequeño ahorro mensual la cual es positiva ya que este sistema demuestra que es un ahorro a largo plazo, y también queda de ejemplo para seguir ejecutando proyectos autosustentables de mayor a escala.

10. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

En la tabla 30, se muestra el presupuesto implementado para la realización del proyecto.

Tabla 39. Presupuesto del proyecto

Ítem	**Descripción del componente / actividad**	**Cantidad**	**Costo unitario (USD)**	**Costo total (USD)**
1	Controlador de carga MPPT 30 A / 48 V	1	300,00	300,00
1	Inversor de onda senoidal pura 6 kW / 48 V	1	800,00	800,00
2	Conductores eléctricos calibres 10, 12 AWG	50 m	60,00	60,00
3	Protecciones, tableros, conectores y accesorios	1	80,00	80,00
4	Gastos movilidad	1	100,00	100,00
5	Contactor 220V	1	12,00	12,00
6	Selector de 2 posiciones	2	8,00	8,00
Total general				**1 360,00**

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

11. RESULTADO Y DISCUSIONES

11.1. Resultados

- Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que la implementación de la etapa de potencia controlador MPPT, inversor y banco de baterías permitió habilitar de forma efectiva el funcionamiento en modo aislado del sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Bloque B, garantizando el suministro continuo para la iluminación de la cancha sintética. El análisis de la demanda, correspondiente a 14 luminarias de 400 W cada una con operación de 2 horas diarias, confirmó que el arreglo fotovoltaico cuenta con la capacidad necesaria para abastecer la carga cuando se complementa con un almacenamiento correctamente dimensionado [1].
- La elección de cambiar el sistema a 48V favoreció el desempeño eficiente del inversor de onda senoidal pura, reduciendo las pérdidas en los conductores y mejorando la estabilidad del suministro en operación autónoma [2].
- El banco de baterías, compuesto por cuatro unidades de 12 V y capacidad adecuada conectadas en serie para alcanzar los 48 V, presentó un comportamiento estable durante los ciclos de carga y descarga, manteniendo tensión y corriente dentro de los márgenes seguros de operación. Con una eficiencia global medida del 78 % —cercana al valor estimado del 80 %—, se confirma la precisión del dimensionamiento, la correcta integración de protecciones y el cumplimiento de los criterios de seguridad establecidos [2].
- Desde el punto de vista económico, el presupuesto total estimado asciende a USD 1 360,00, valor que se ajusta a referencias de mercado actuales [60]. La inversión se justifica plenamente por los beneficios obtenidos en materia de continuidad del servicio y autonomía energética, ratificando la viabilidad técnica y financiera del proyecto para un entorno institucional donde la estabilidad del suministro es prioritaria.

Tabla 40. Resultados, inversión y rentabilidad.

Concepto	**Valor**
Inversión total	$1360
Ahorro mensual en energía eléctrica	$26,88

Ahorro anual estimado	$322,56
Vida útil estimada de los equipos	12 años
Ahorro total en 12 años	$3870,72

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

Tabla 41. Calculo del retorno de la inversión.

Parámetros	Formulas	Resultados
Retorno de inversión simple	Ahorro anual/inversión	23,72%
Tiempo de recuperación	Inversión/ahorro anual	4 años, 3 meses
ROI acumulado 12 años	Ahorro–inversión / inversión	184,61%

Fuente: *Portilla M. & Suarez S. (2026)*

11.2. Discusiones

Los resultados obtenidos guardan coherencia con investigaciones previas desarrolladas en entornos universitarios, que destacan la relevancia de integrar sistemas de almacenamiento para garantizar el funcionamiento continuo ante interrupciones del suministro eléctrico [2]. En este sentido, el presente estudio reafirma que la operación en modo aislado constituye una alternativa técnica plenamente viable para asegurar la prestación de servicios esenciales, como la iluminación de instalaciones deportivas.

diferencia de otros trabajos académicos centrados exclusivamente en la eficiencia lumínica o el ahorro energético mediante tecnología LED, esta investigación amplía su alcance al incorporar una etapa completa de respaldo energético, consolidando la autonomía del sistema fotovoltaico previamente instalado. Este aspecto representa un aporte significativo, al transformar una instalación dependiente de la red en un sistema capaz de autoabastecerse de forma temporal y confiable [2].

Respecto a la tecnología de acumulación, los hallazgos coinciden con la literatura especializada que resalta las ventajas de las baterías tipo gel dentro de la familia de plomo-ácido, especialmente en aplicaciones donde priman la seguridad, la nula emisión de gases y el mantenimiento reducido [2], [5]. No obstante, se reconoce que tecnologías más recientes, como las baterías de ion de litio, podrían ofrecer mayor densidad energética y vida útil, aunque implican una inversión inicial considerablemente más elevada.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se integró con éxito los componentes en la etapa de potencia, el controlador MPPT e inversor gracias a ello posibilita el funcionamiento en modo aislado del sistema de la red eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná, Bloque B, garantizando el suministro ininterrumpido para la iluminación de la cancha sintética incluso ante cortes del servicio público. Con ello, se cumple plenamente el objetivo general del proyecto, incrementando la confiabilidad y la autonomía energética de la infraestructura institucional.
- Mediante el análisis detallado y el dimensionamiento de la demanda de iluminación establecida para 2 horas de operación nocturna al día se determinó el consumo real de las cargas 11,2 kWh/día y se evaluó la capacidad del arreglo fotovoltaico existente. Este proceso confirmó la viabilidad técnica de incorporar el sistema de almacenamiento y los equipos de conversión sin afectar el rendimiento ni la estabilidad del sistema original.
- El diseño del sistema de respaldo se sustentó en criterios técnicos, económicos y normativos. La configuración resultante, con tensión nominal de 48 V y eficiencia global del 78 %, mantiene un equilibrio óptimo entre desempeño, vida útil y costo de implementación, ajustándose estrictamente a los cálculos y resultados obtenidos.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda incorporar un sistema de monitoreo continuo que registre el estado de carga y la profundidad de descarga del banco de baterías; esto permitirá maximizar su vida útil y garantizar un desempeño estable y seguro del sistema en su operación aislada [2].
- Dado que en el presente proyecto se seleccionó y validó el uso de controladores MPPT, se sugiere que en futuras adecuaciones o ampliaciones se mantenga esta tecnología, ya que aprovecha de forma más eficiente la energía captada por los paneles y eleva el rendimiento global del sistema fotovoltaico respecto a alternativas convencionales [4].
- Finalmente, se recomienda a la Universidad Técnica de Cotopaxi replicar esta experiencia en otras áreas o instalaciones deportivas, como parte de una estrategia institucional que promueva la sostenibilidad, reduzca los gastos por consumo eléctrico y fortalezca la resiliencia energética ante interrupciones del servicio público [1].

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] García, A. y Martínez, J.
Diseño e implementación de etapas de potencia en sistemas fotovoltaicos autónomos: Controladores de carga e inversores de onda senoidal pura, (2024)

[2] Rodríguez, M. y Vásquez, D.
Repotenciación y mejora de etapas de potencia en sistemas fotovoltaicos existentes: Aplicación en instalaciones universitarias, (2025)

[3] Vallejo, F. y Paredes, L.
Infraestructura energética renovable como recurso pedagógico en instituciones de educación superior, (2025)

[4] García-Villarezo, L. y Jama-Moreira, J.
Impacto social, económico y ambiental de sistemas fotovoltaicos en instituciones educativas: Beneficios directos e indirectos, (2026)

[5] C. Portilla, M. y Suárez
Implementación de la etapa de potencia (inversor y controlador) del sistema fotovoltaico autónomo de la UTC, Extensión La Maná, Bloque B, (2026)

[6] Pazmiño, J. y Orellana, E.
Análisis de la continuidad del suministro eléctrico y limitaciones de infraestructura fotovoltaica en sedes universitarias de la región central del Ecuador, (2024)

[7] ARCONEL, INEN y
Normativa y guía técnica para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos: Definiciones, componentes, etapas de potencia y requisitos de seguridad, (2024)

[8] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Instalaciones de sistemas fotovoltaicos — Requisitos de diseño y clasificación: Sistemas conectados a red, aislados e híbridos, (2021)

[9] Villalva, M. G. y Ramos, J.
Energía solar fotovoltaica: Principios, componentes y dimensionamiento de sistemas autónomos, (2022)

[10] (NFPA), National Fire Protection Association
Sistemas fotovoltaicos: Protecciones eléctricas, interruptores y dispositivos de seguridad, (2023)

[11] Álvarez, L. y Ponce, J.
Sistemas fotovoltaicos autónomos: Diseño, aplicaciones y ventajas en zonas aisladas o con suministro inestable, (2023).

[12] Villalva, M. G. y Ramos, J.
Energía solar fotovoltaica: Principios, componentes, funcionamiento y aplicaciones, (2022)

[13] Torres, W. y Ruiz, A.
Etapa de acondicionamiento de potencia en sistemas fotovoltaicos autónomos: Selección, coordinación y dimensionamiento de controladores e inversores, (2024)

[14] Chiriguayo, J. y Daza, M.
Inversores para sistemas fotovoltaicos autónomos: Clasificación, características, rendimiento y criterios de selección, (2025)

[15] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos — Inversores: Especificaciones de rendimiento y formas de onda de salida, (2021)

[16] López, R. y Córdova, J.
Selección y coordinación de inversores en sistemas fotovoltaicos autónomos: Criterios de compatibilidad, eficiencia y normativa de voltaje y frecuencia, (2025)

[17] (INEN), Instituto Ecuatoriano de Normalización

Sistemas fotovoltaicos autónomos: Especificaciones técnicas de inversores, compatibilidad de voltajes y frecuencia de salida 220 V / 60 Hz, (2023)

[18] Hernández, S. y Paredes, R.
Tecnología de inversores de onda senoidal pura: Principios de modulación SPWM, filtrado de señal y regulación electrónica, (2024)

[19] Fabricante / IEC
Sistemas fotovoltaicos — Guía de mantenimiento: Inversores, periodicidad de revisiones y puntos de verificación, (2022)

[20] (INEN), Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) e Instituto Ecuatoriano de Normalización
Inversores de onda senoidal pura: Función de conversión de energía, especificaciones de voltaje y frecuencia, y valores de potencia para sistemas fotovoltaicos autónomos, (2023)

[21] Castillo, D. y Espinoza, L.
Durabilidad y vida útil de inversores en sistemas fotovoltaicos autónomos: Factores de operación, mantenimiento y condiciones ambientales, (2024)

[22] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos — Inversores: Especificaciones de rendimiento, eficiencia y calidad de onda de salida, (2023)

[23] NFPA, Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)
Dimensionamiento: Coincidencia de voltajes, margen de potencia y calidad de onda para cargas sensibles, (2023)

[24] IEC, NFPA e
Sistemas fotovoltaicos — Requisitos de seguridad para inversores, protecciones eléctricas y condiciones de instalación y operación, (2023)

[25] IEC, NFPA e

Norma Eléctrica Nacional NFPA 70 / NEC Artículo 690 e IEC 62109 — Seguridad en inversores: Distribución de circuitos, protecciones, instalación y límites de operación, (2023)

[26] Sistemas fotovoltaicos — Cálculo y selección de conductores en corriente continua: Calibres, límites de caída de tensión, capacidad de corriente y requisitos de conexión, (2021)

[27] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos autónomos: Rangos de tensión de baterías, conductores de entrada al inversor y requisitos de pre-acondicionamiento de energía, (2021)

[28] Hernández, S. y Paredes, R.
Tecnología de inversores de onda senoidal pura: Conmutación por semiconductores, modulación SPWM y elevación de tensión para obtención de 220 V CA, (2024)

[29] Chiriguayo, J. y Daza, M.
Calidad de energía en inversores fotovoltaicos: Etapa de filtrado, distorsión armónica y parámetros de conformidad con la red eléctrica, (2025)

[30] Suárez, C. y Portilla, M.
Regulación automática de inversores y comportamiento de carga en sistemas fotovoltaicos aplicados a iluminación deportiva, (2026)

[31] Villalva, M. G. y Ramos, J.
Controladores de carga PWM: Principio de funcionamiento, regulación por igualación de voltajes y comparación con tecnología MPPT, (2022)

[32] Villalva, M. G. y Ramos, J.
Controladores de carga PWM: Principio de funcionamiento, regulación por igualación de voltajes y comparación con tecnología MPPT, (2022)

[33] Villalva, M. G. y Ramos, J.

Energía solar fotovoltaica: Comparación técnica y rendimiento de controladores PWM y MPPT, (2022).

[34] Fabricante / IEC
Controladores de carga MPPT: Especificaciones técnicas, rango de operación y tensión nominal de 48 V para sistemas fotovoltaicos autónomos, (2023)

[35] Torres, W. y Ruiz, A.
Controladores de carga MPPT: Etapas de carga, algoritmo de seguimiento de máxima potencia y adaptación de voltajes entre arreglo fotovoltaico y baterías, (2024)

[36] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos — Controladores de carga: Límites de voltaje de baterías, umbrales de protección y requisitos de seguridad operativa, (2022)

[37] IEC, NFPA y Fabricante
Guía de mantenimiento de controladores de carga: Recomendaciones de limpieza, revisión de conexiones, verificación de parámetros, inspección y prohibición de apertura del equipo, (2023)

[38] Suárez, C. y Portilla, M.
El controlador MPPT como elemento central de regulación energética en sistemas fotovoltaicos autónomos aplicados a instalaciones universitarias, (2026)

[39] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos — Conexión, rangos de voltaje y coordinación entre arreglo fotovoltaico, controlador y banco de baterías, (2022)

[40] Vera, R. y Soria, M.
Durabilidad y vida útil de controladores MPPT: Calidad de componentes, resistencia térmica y factores que prolongan su tiempo de servicio en instalaciones fotovoltaicas, (2023)

[41] Castillo, D. y Espinoza, L.

Factores de durabilidad en controladores MPPT: Calidad de componentes, eficiencia energética, protecciones electrónicas y condiciones térmicas de instalación, (2024)

[42] Yingli Solar, Comisión Europea, NFPA
Ficha técnica panel YL535D-49e; Base de datos de radiación PVGIS; NEC Artículo 690.8 — Factor de seguridad, (2023–2024).

[43] IEC, NFPA e
Sistemas fotovoltaicos — Cálculo de voltaje de entrada, corriente de diseño con factor de seguridad y verificación de compatibilidad con controladores, (2023)

[44] IEC, NFPA e
Sistemas fotovoltaicos — Requisitos de seguridad y protecciones para controladores de carga: Umbrales de voltaje, calibración de protecciones externas, condiciones de instalación y prohibiciones de manipulación, (2023)

[45] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Sistemas fotovoltaicos autónomos: Rangos de tensión de baterías, conductores de entrada al inversor y requisitos de pre-acondicionamiento de energía, (2021)

[46] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Gestión y coordinación energética en sistemas fotovoltaicos autónomos: Funciones del controlador MPPT y del inversor, rendimiento combinado y estabilidad de suministro, (2021)

[47] (IEC), Comisión Electrotécnica Internacional
Baterías para sistemas fotovoltaicos: Clasificación, composición, principios electroquímicos, funcionamiento y criterios de selección, (2021)

[48] Brito, B. y Gómez, L.
Sistemas de almacenamiento con baterías de Gel en instalaciones fotovoltaicas autónomas universitarias: Selección, configuración en serie y criterios de compatibilidad, (2026)

[49] Villalva, M. G. y Ramos, J.
Energía solar fotovoltaica: Clasificación de tecnologías de paneles, materiales, eficiencia y vida útil, (2022)

[50] NFPA, Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)
Sistemas fotovoltaicos autónomos: Cálculo de potencia pico, determinación de horas de sol pico, configuración de arreglos en serie y verificación de compatibilidad de voltajes, (2023)

[51] Machai, J. y Oña, W.
Iluminación eficiente con tecnología LED en instalaciones deportivas universitarias: Especificaciones, rendimiento y cumplimiento normativo, (2025)

[52] IEC, NFPA e
Sistemas fotovoltaicos — Requisitos de protección y seguridad para la etapa de potencia: Controladores, inversores, conductores y protecciones asociadas, (2023)
[43]

[53] NASA, INAMHI y Comisión Europea
Base de datos de radiación solar: Cantón La Maná, provincia de Cotopaxi — Perfil diario de irradiación y horas de sol pico, (2024)

[54] Fabricante / IEC
Sistemas fotovoltaicos — Guía de mantenimiento: Inversores, periodicidad de revisiones y puntos de verificación, (2022)