

Dirección de Área de Conocimiento Industria y Producción

Diseño de un Sistema automatizado alimentado por sistema híbrido fotovoltaico que mejore la eficiencia energética y garantice el suministro continuo de electricidad en la biblioteca Esman Marín (UNI-RUSB).

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Eléctrico

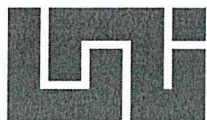
Elaborado por:

Tutor:

Br. Ana Francis Aguilar Cano
Carnet: 2019-0089U

Br. Eliezer Barrios Ortiz
Carnet: 2020-0205U

Msc. Pedro Joaquín
Pérez Orozco



Dirección de Área
de Conocimiento
Industria y Producción

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN** hace constar que:

AGUILAR CANO ANA FRANCIS

Carné: **2019-0089U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los dos días del mes de diciembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



Msc. Arlen Patricia Reyes Gomez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

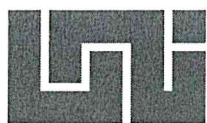


Móvil: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.





Dirección de Área
de Conocimiento
Industria y Producción

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN** hace constar que:

BARRIOS ORTIZ ELIEZER

Carné: **2020-0205U** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRICA**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los tres días del mes de diciembre del año dos mil veinte y cinco.



Msc. Arlen Patricia Reyes Gomez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



Móvil: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.





Universidad
Nacional de
Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6F-BBE31-1		
NOMBRE	AGUILAR CANO ANA FRANCIS		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Eléctrica		
TURNO	Diurno	SEXO	F
AÑO MATRICULADO	5	GRUPO	DIFCE-ELE-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2019

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
5	DIFCE-EL	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

☐

FECHA: 26/02/2026 10:28:00

Creado Por: RGARCIA
Actualizado Por:

RG



INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Universidad
Nacional de
Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6A-66B1F-5		
NOMBRE	BARRIOS ORTIZ ELIEZER		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Eléctrica		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	5	GRUPO	D1FCE-ELE-R
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
5	DIFCE-EL	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.

Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

□

FECHA: 26/02/2026 10:21:41

Creado Por: RGARCIA14
Actualizado Por:



INICIO DE CLASES:

-- NUEVO INGRESO 2026:

- PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
- SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
- DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO

--REINGRESO 2026:

- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
- PRESENCIAL: 9 DE MARZO
- SABATINO: 7 DE MARZO
- DOMINICAL: 8 DE MARZO



Dirección de Área
de Conocimiento
Industria y Producción

Managua, 26 de junio de 2025

Bachilleres

Ana Francis Aguilar Cano
Eliezer Barrios Ortiz

Estimado Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su tema monográfico, titulado. **Diseño de un Sistema automatizado alimentado por sistema híbrido fotovoltaico que mejore la eficiencia energética y garantice el suministro continuo de electricidad en la biblioteca Esman Marín (UNI-RUSB).**, para optar al título de ingeniero Eléctrico. Ha sido aprobado por esta Dirección.

Asimismo, les comunico estar totalmente de acuerdo, con la tutoría del **MSc. Pedro Joaquín Pérez Orozco**.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **19 de diciembre de 2025**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

MSc. Augusto César Palacios Rodríguez
Director de Área de Conocimiento Industria
y Producción



CC: Protocolo
Archivo



Móvil: (505) 2251 8276



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



www.uni.edu.ni

Managua, 01 de diciembre de 2025.

Msc. Augusto César Palacio Rodríguez.

Director

Area de conocimiento Industria y producción.

Su Oficina.

Estimado Msc. Palacios:

En mi calidad de Tutor de la Tesis Monográfico titulado **“Diseño de un Sistema automatizado alimentado por sistema hibrido fotovoltaico que mejore la eficiencia energética y garantice el suministro continuo de electricidad en la biblioteca Esmán Marin (UNI-RUSB)”**., desarrollada por los Bachilleres:

Br: Ana Francis Aguilar Cano.

Carnet:2019-0089U

Br: Eliezer Barrios Ortiz

Carnet: 2020 - 0205U

Se encuentra lista para su predefensa, por lo cual,

Solicito a usted, se programe la misma según calendario.

Sin otro particular y en espera de su atención a la presenta le saludo.

Atentamente.



Msc. Pedro Joaquín Pérez Orozco

Tutor.

88969495.

C.c

Msc. Ing. Marlon Efrén Suarez Dávila. Jefe Dpto.Mecánica-Eléctrica.

Índice de Contenido

I.	Introducción	1
II.	Antecedentes.....	3
III.	Objetivos.....	8
3.1	Objetivo General:.....	8
3.2	Objetivos Específico:	8
IV.	Justificación	9
V.	Marco Teórico.....	11
5.1	Sistemas híbridos.....	11
5.2	Principales componentes de un sistema hibrido	11
5.2.1	Paneles monocristalinos.....	11
5.2.2	Inversor	13
5.2.3	Sensor de Potencia Inteligente.....	14
5.2.4	Batería en sistemas fotovoltaicos.....	14
5.2.5	Tipos de estructura para sistemas de soporte o montaje.....	15
5.3	Automatización de edificios y eficiencia energética.....	16
5.3.1	Evolución de los sistemas de automatización.....	16
5.3.2	Sistema Automatizado	17
5.3.3	PLC.....	17
5.4	Integración del control automático	18
5.5	Gestión Centralizada	20
VI.	Análisis y presentación de resultados	20
6.1	Identificación de cargas eléctricas.....	20
6.1.1	Estimación de la carga eléctrica del edificio.....	22
6.1.2	Clasificación de cargas y características.....	23
6.1.3	Cargas críticas.....	23
6.1.4	Cargas no críticas.....	24
6.2	Perfil de carga	26
6.2.1	Comportamiento de Cargas Criticas.....	26
6.2.2	Comportamiento de Carga No Criticas.....	27
6.3	Integración de las energías renovables	30
6.3.1	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	31

6.3.2	Selección del Panel Solar.....	32
6.3.3	Geolocalización del sistema fotovoltaico.	34
6.3.4	Cálculo de la cantidad de modulo fotovoltaicos:.....	34
6.3.5	Determinación de la capacidad de almacenamiento de energía.....	35
6.3.6	Cálculo del banco de baterías para el respaldo energético	36
6.3.7	Especificación y selección de Inversores.....	37
6.3.8	Cálculo de paneles por String para cada inversor.	38
6.3.9	Sensor de Potencia Inteligente.	40
6.3.10	Funcionamiento del sistema.....	41
6.3.11	Análisis y determinación optima de las estructuras de montaje.	43
6.3.12	Cálculo de Inclinación y Orientación, de los módulos Fotovoltaicos.	45
6.4	Implementación de automatización	51
6.4.1	Criterios de operación de climatización.....	51
6.4.2	Algebra Booleana y Tabla de la verdad de climatización.....	53
6.4.3	Criterios de operación de iluminación	55
6.4.4	Algebra Booleana y Tabla de la verdad de iluminación	57
6.4.5	Tipo de arquitectura del programa	58
6.4.6	Programación del sistema de PLC LOGO!.....	59
6.4.7	Dispositivos eléctricos y electrónicos integrados en el sistema.....	67
6.4.8	Dispositivos del sistema de control.....	67
6.4.9	Dispositivos del sistema de potencia	69
6.5	Evaluación del desempeño energético mensual	70
6.5.1	Comparación entre el sistema convencional manual y el sistema automatizado....	70
6.5.2	Generación de energía del sistema fotovoltaico.	73
6.6	Análisis técnico comparativo entre la generación y el consumo energético.	74
6.7	Selección del controlador de Transferencia automática (ATS), para el sistema Híbrido.....	75
6.7.1	Tipo de Transferencia: Automática con Conmutación Segura.	76
6.7.2	Compatibilidad con Señalización de Contacto Seco (Dry Contact).	77
6.7.3	Capacidad de Transferir entre Dos Fuentes con Prioridad Definida.	78
6.7.4	Activación de la ATS, la fuente renovable no puede cubrir la demanda.....	79
6.7.5	Restablecimiento de Prioridad al Recuperarse la Fuente Principal.	80
6.7.6	Lógica de Prioridad Integrada en el Control Interno del ATS.....	80

6.8	Análisis Financiero.	81
6.8.1	Flujos de caja proyectado.....	83
6.8.2	Indicadores Financieros	86
6.8.3	Valor Actual Neto (VAN).....	86
6.8.4	TIR (La tasa de Interés)	89
6.8.5	Periodo de recuperación de la inversión (PIR)	90
VII.	Conclusión	91
VIII.	Recomendaciones.	93
IX.	Bibliografía	94
X.	Anexo.....	96

I. Introducción

La eficiencia energética y el uso de energía renovable se han convertido en elementos claves para el desarrollo sostenible y la optimización de recursos en edificaciones modernos. La integración de un sistema híbrido fotovoltaico y el sistema de automatización permite no solo reducir la dependencia de la red convencional sino también busca optimizar la gestión energética mejorando la confiabilidad del suministro por tal razón, la propuesta del proyecto se contempla en el edificio de la biblioteca Esman Marin, donde se ha realizado estudios con propuestas de mejoramientos representando oportunidad para implementar sistemas autónomos.

Según (Trejos y Gutiérrez, 2017), el sistema de climatización representa el 86 % del consumo eléctrico total de la biblioteca, con su propuesta de mejoramiento del sistema de climatización se puede obtener aproximadamente el 61% de ahorro energético. (p, 73). Con la finalidad de implementar la propuesta del diseño de un sistema automatizado alimentado por un sistema híbrido fotovoltaico que mejore la eficiencia energética y garantice el suministro continuo de electricidad en la biblioteca Esman Marin (UNI-RUSB), se establecen las siguientes etapas de desarrollo.

En la primera fase, se efectuó un diagnóstico del estado actual de las instalaciones eléctricas del edificio. Para esto se realizó un censo de carga de los equipos eléctricos instalados permitiendo clasificar las cargas en críticas y no críticas según su potencia, así mismo se identificó la existencia de aires acondicionados con tecnología inverter como convencional.

En la segunda fase, se planteó la integración de un sistema híbrido fotovoltaico como una fuente alterna de generación eléctrica, tomando como referencia la clasificación de las cargas para su adecuado dimensionamiento siendo el objetivo principal del sistema cubrir de manera

parcial la demanda energética total del edificio mediante una fuente renovable reduciendo la dependencia de la red eléctrica contribuyendo a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero además este sistema híbrido fotovoltaico integrara un sistema de respaldo que garantiza el suministro continuo a las cargas.

En la tercera fase se implementó un programa de automatización para la gestión operativa de las instalaciones eléctricas del edificio, empleando el lenguaje de programación FBD (Function Block Diagram). El sistema de control fue configurado mediante la definición de horarios de operación, la integración de sensores de luminosidad (LDR) y temperatura (PT100), y el establecimiento de bandas de histéresis optimizadas para evitar conmutaciones frecuentes y mejorar la estabilidad del sistema. Adicionalmente, se diseñó una estrategia de control secuencial de las cargas mediante temporizadores, permitiendo un arranque escalonado de los equipos eléctricos, lo que reduce los picos de demanda, mejora el factor de carga y contribuye a la optimización del consumo energético del edificio.

La investigación a realizar es de tipo aplicada, descriptiva y explicativa, orientada a diagnosticar el estado de las instalaciones eléctricas, clasificando cargas para implementar un sistema fotovoltaico con automatización para optimizar la eficiencia energética. La investigación se respalda en una metodología mixta combinando enfoque cualitativo y cuantitativo. El enfoque cuantitativo permite analizar y medir la demanda energética, clasificando cargas y dimensionando el sistema fotovoltaico, mientras el enfoque cualitativo se centra en la evaluación de los procesos de automatización y control de las instalaciones eléctricas.

II. Antecedentes.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) es, una institución estatal de educación superior dedicada a la formación integral de profesionales en ingeniería y arquitectura. Dentro de sus recursos fundamentales, destaca la Biblioteca Esman Marín (UNI-RUSB), la cual desempeña una función esencial ofreciendo servicios a sus usuarios de diversas sedes a nivel nacional. En este contexto, se propone el diseño de un sistema automatizado alimentado por un sistema híbrido fotovoltaico, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética y garantizar un suministro continuo de electricidad en el edificio.

En Nicaragua, la generación fotovoltaica ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años. Actualmente, la capacidad instalada en las principales plantas de energía solar La Trinidad, Jaguar y Solaris asciende a aproximadamente 29.4 MW, consolidándose como pilares de la generación solar en el país.

A nivel nacional también se cuenta con las plantas fotovoltaicas del proyecto DOSA, que en conjunto aportan una capacidad de 10,056 kW distribuidos en siete instalaciones ubicadas en distintas regiones del país: Orinoco, Planta Corn Island, Karawala, Little Corn Island, San Juan de Nicaragua, Tasbapaune y El Ayote. Estas plantas han sido claves para ampliar el acceso a energía limpia en zonas aisladas y rurales.

Según el Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN), existe una proyección de alcanzar 100 MW de capacidad fotovoltaica en el marco del plan energético nacional 2021–2035, lo que representaría cerca de un 3 % de participación en la matriz energética. Actualmente, aproximadamente el 69 % de la energía generada en el país proviene de fuentes renovables, lo cual refleja el avance hacia una matriz más sostenible.

En este contexto, instituciones públicas y privadas han apostado por la energía fotovoltaica; entre ellas se encuentran el Banco Central de Nicaragua y ENATREL, que impulsan la incorporación de tecnologías solares en sus instalaciones. Además, estudios previos han evidenciado la importancia de implementar nuevas tecnologías y utilizar adecuadamente las instalaciones existentes para asegurar mayores beneficios en la gestión operativa y eficiencia del sistema eléctrico.

Estudios previos han evidenciado la importancia de implementar nuevas tecnologías y el uso adecuado de las instalaciones, asegurando mayores beneficios en gestiones operativas.

Un estudio elaborado por (Trejos y Gutiérrez, 2017), enfocado en una propuesta de mejoramiento del sistema de climatización del edificio de la biblioteca Esman Marín (UNI-RUSB). Donde, las recomendaciones se objetivaron en la sustitución de nuevos equipos específicos, y mantenimientos de este, al finalizar el estudio se concluyó que, el coste de la energía es vital en un ámbito como lo es la climatización el cual, requiere un elevado consumo, por lo que su optimización es el principal criterio en el diseño de sistemas climatizados.

Así mismo (Cárdenas y Flores, 2019), realizaron una auditoría eléctrica en el recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI - RUSB), Con la finalidad de identificar medidas efectivas para el ahorro de energía eléctrica, se llevó a cabo un diagnóstico del edificio de la Biblioteca Esman Marín, el cual representa una de las mayores demandas energéticas del recinto universitario, especialmente en los sistemas de climatización e iluminación. Este análisis permitió formular recomendaciones que buscaron optimizar el consumo energético y asegurar el funcionamiento más adecuado de las instalaciones.

En el ámbito internacional se han realizado trabajos investigativos relacionados a la temática de automatización, entre estos se encuentra, una investigación inscrita en una tesis para optar al título de ingeniería en electrónica y automatización de la Escuela Superior Politécnica de Litoral (Ecuador), donde Atiaga y Loayza (2021), elaboró el; ¡Diseño de un sistema inmótico robusto usando el plc logo! con conexión a la nube para oficinas en la ciudad de Guayaquil.

Un estudio elaborado por Largo, E. J. G., Flores, S. J. P., & Moscoso, S. A (2024). Orientado en la implementación de un sistema de generación fotovoltaica con seguidor solar y control automático, con la finalidad de desarrollar un sistema de control que permitiría mejorar la captación de energía solar, lo que a su vez incrementaría la generación de electricidad, la investigación ha permitido analizar y realizar una mejor propuesta para la eficiencia energética de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Rivas Baltodano, W (2019). Análisis estadístico de la radiación solar mensual del periodo 2013-2015 en la ciudad de Managua y modelo de proyección para cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónomo a nivel domiciliario (Tesis para optar al título de Ingeniero, Universidad Nacional de Ingeniería). Repositorio institucional- Universidad Nacional de Ingeniería. La energía solar es una de las principales energías renovables que se ha venido implementando en Nicaragua, a partir del año 2012, por sus ventajas con el medio ambiente y principalmente debido a que es inagotable y un menor impacto contaminante en el medio ambiente. (p. 5)

A nivel nacional se observa un crecimiento significativo en la oferta de servicios especializados en eficiencia energética, automatización y aprovechamiento de fuentes renovables. Empresas como **SINSA**, **EDISA** y **SINTER** han desarrollado proyectos que integran

auditorías energéticas, diseño de sistemas eléctricos y soluciones de automatización aplicadas a edificaciones residenciales, comerciales e institucionales. Estas iniciativas demuestran la viabilidad técnica de incorporar tecnologías inteligentes para optimizar el consumo energético y mejorar el desempeño operativo de las instalaciones.

De igual manera, la empresa **Arte y Técnica** ha promovido la construcción sostenible mediante la implementación de sistemas domóticos, principalmente en zonas semirurales del país. Sus proyectos se fundamentan en principios como la eficiencia energética mediante el uso de paneles solares e iluminación LED, la gestión eficiente del recurso hídrico, la incorporación de sistemas de filtración y reutilización de aguas grises, y la automatización inteligente para la regulación del consumo de energía y agua.

Estos antecedentes evidencian que en Nicaragua existe experiencia práctica en el diseño e implementación de soluciones sostenibles basadas en automatización y energías renovables. Por tanto, constituyen un respaldo técnico y conceptual para la presente propuesta, orientada a la incorporación de sistemas de automatización y eficiencia energética en el edificio de la biblioteca Esman Marín, fortaleciendo su sostenibilidad, optimización de recursos y desempeño energético.

diversos estudios han permitido visualizar y analizar alternativas orientadas al mejoramiento de la eficiencia energética en edificaciones mediante la integración de sistemas híbridos fotovoltaicos con transferencia automática a la red eléctrica. Estas propuestas evidencian la viabilidad de combinar fuentes renovables con el suministro convencional, garantizando mayor confiabilidad y optimización en el uso de la energía.

Asimismo, las investigaciones previas no solo se han enfocado en la eficiencia energética de los equipos existentes —como los sistemas de climatización e iluminación—, sino también en el rediseño de su operación a través de la incorporación de tecnologías de automatización. En este sentido, se ha planteado la utilización de controladores lógicos programables, específicamente el Siemens LOGO! **V8**, para gestionar la transferencia automática del sistema fotovoltaico hacia la red eléctrica y adecuar la funcionalidad de las cargas conforme a los requerimientos del diseño.

Estos antecedentes demuestran que la implementación de sistemas automatizados basados en PLC constituye una alternativa técnica viable para optimizar el desempeño energético de las instalaciones, sentando las bases conceptuales y tecnológicas que respaldan la presente propuesta de investigación.

III. Objetivos

3.1 Objetivo General:

Diseñar un sistema automatizado alimentado por un sistema híbrido fotovoltaico que mejore la eficiencia energética y garantice el suministro continuo de electricidad en la biblioteca Esman Marín (UNI-RUSB).

3.2 Objetivos Específico:

- Realizar un diagnóstico técnico detallado del sistema eléctrico del edificio de la biblioteca Esman Marín evaluando su desempeño y detectando posibles deficiencias.
- Determinar la capacidad energética del sistema híbrido fotovoltaico, en función de la demanda energética logrando un equilibrio óptimo entre la generación y el consumo de energía.
- Desarrollar un sistema automatizado utilizando, PLC Logo! que permita el accionamiento escalonado de climatización y controle el encendido automático de iluminación modificando su operación a través de sensores según las condiciones.
- Seleccionar un controlador adecuado, según las especificaciones técnicas del sistema híbrido que facilite la transferencia automática entre la red eléctrica y la energía renovable.

IV. Justificación

En el edificio de la biblioteca se ha identificado un elevado consumo de electricidad, lo que genera costos operativos altos y un impacto negativo en el uso de la energía. Ante esta situación, surge la necesidad de implementar una solución que permita reducir el consumo energético sin comprometer el funcionamiento continuo de las instalaciones. Para ello, se propone diseñar un sistema automatizado utilizando un PLC LOGO, cuyo objetivo sea optimizar el uso de energía y garantizar su suministro de manera ininterrumpida. Este sistema será alimentado no solo por la red eléctrica convencional, sino también por un sistema fotovoltaico, lo que permitirá integrar fuentes de energía renovables y así contribuir al ahorro energético y la reducción de la dependencia de la red eléctrica.

La automatización del sistema permitirá una gestión más eficiente del uso de energía eléctrica y mejorará la eficiencia operativa del edificio. La implementación del PLC permitirá un control inteligente de los equipos y dispositivos eléctricos, tales como la iluminación y los sistemas de climatización. Se implementará un encendido escalonado de los aires acondicionados, lo que mitigará los picos de demanda energética, reduciendo el estrés en el sistema eléctrico y prolongando la vida útil de los equipos al evitar fallas transitorias o no transitorias.

Este enfoque también minimizará el consumo innecesario de electricidad durante los periodos de baja demanda controlando automáticamente el sistema mediante sensores y actuadores. Al incorporar un sistema híbrido fotovoltaico se garantizará un suministro estable de energía incluso durante fallas o interrupciones en la red eléctrica. Además de fomentar el uso de fuentes renovables se contribuirá a la sostenibilidad reduciendo la huella de carbono.

Este proyecto tendrá un impacto significativo en la operación del edificio, Favorecerá al personal administrativo ya que al automatizar el sistema se elimina la necesidad de intervención manual así mismo a los estudiantes que utilizan las instalaciones. La integración de nuevas tecnologías permitirá la optimización de la demanda eléctrica y la incorporación de fuentes de energías renovables lo que reducirá significativamente los costos energéticos.

La reducción de cargas térmicas y eléctricas en las instalaciones contribuirá a mejorar el rendimiento del sistema, generando un impacto positivo tanto en la eficiencia operativa como en uso de los recursos dentro de la universidad.

De manera más amplia, el logro de las metas de sostenibilidad y eficiencia energética permitirá a la universidad alinearse con las normativas ambientales vigentes. Además de promover, el uso eficiente de los recursos financieros.

V. Marco Teórico

La integración de energías renovables en la red eléctrica es un paso fundamental hacia un sistema energético más sostenible. Este proceso consiste en incorporar fuentes como la energía fotovoltaica, eólica o hidroeléctrica dentro de la infraestructura eléctrica existente, lo que reduce la dependencia de los combustibles fósiles y contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.1 Sistemas híbridos.

Entre los sistemas de energías que combinan fuentes renovables y no renovables, la combinación de energía fotovoltaica y la red eléctrica es un ejemplo de los distintos tipos de sistemas híbridos. Según la IEEE, un sistema híbrido se define como un conjunto de componentes interrelacionados que pueden incluir tanto elementos continuos como discretos, este concepto es aplicado ampliamente en diversas áreas, incluyendo la generación de energía donde los sistemas híbridos combinan fuentes renovables (fotovoltaica), con fuentes no renovable para optimizar la producción y el suministro de energía. (IEEE 1547.1 a -2015).

5.2 Principales componentes de un sistema híbrido

Dentro de las categorías de los paneles fotovoltaicos, se distinguen tres tipos; paneles monocristalinos, policristalinos y de silicio (silicio amorfo). El análisis en diversos proyectos a nivel nacional y las características técnicas del panel fotovoltaicos monocristalino lo convierte en una elección inteligente para lograr los objetivos.

5.2.1 Paneles monocristalinos

Destacada por su rendimiento y eficiencia, dentro de los distintos tipos de placas que podemos diferenciar puede alcanzar rendimiento aproximado entre el 15-22 %, dependiendo de los parámetros del fabricante, las normalizaciones debido a las células monocristalinos de su diseño y área donde estén instalados se puede lograr la máxima eficiencia.

Parámetros eléctricos para considerar para la selección del módulo fotovoltaico.

Los parámetros eléctricos tomados con mayor consideración de la ficha técnica del fabricante, al momento de realizar el dimensionamiento son los siguientes:

La corriente de cortocircuito (I_{sc}): Es la máxima corriente que el panel puede entregar cuando sus terminales positivo y negativo están directamente conectados entre sí (sin carga, es decir, con resistencia cero).

La tensión de circuito abierto (V_{oc}): Es la máxima tensión que puede medirse entre los terminales positivo y negativo del panel cuando este se encuentra iluminado y no está conectado a ninguna carga o circuito externo, es decir, cuando la corriente que circula es cero.

Punto de Máxima Potencia (MPP): Es el punto específico de la curva corriente-voltaje (I-V) donde el producto de la corriente (I_{mpp}) y el voltaje (V_{mpp}) es máximo, es decir, el punto en que el panel entrega su máxima potencia eléctrica bajo condiciones óptimas de irradiancia y temperatura.

La eficiencia (η): es la capacidad del panel para convertir la energía solar que incide sobre su superficie en energía eléctrica útil, expresada como un porcentaje. Este valor indica qué proporción de la radiación solar que recibe el panel se transforma efectivamente en electricidad que puede ser utilizada para alimentar cargas o almacenarse.

5.2.2 Inversor

El inversor es un dispositivo eléctrico de suma importancia, en cualquier sistema fotovoltaico o híbrido, permite convertir la energía de corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA), que es el tipo de energía utilizada en las mayorías de las aplicaciones domésticas, comerciales e industriales.

Gestiona eficientemente la distribución de energía decidiendo en tiempo real si se alimentan las cargas con energía solar o si se almacena en baterías. Además, controla la carga y descarga de la batería y envía señales al controlador de transferencia automática para conectar o desconectar la red eléctrica.

Los inversores solares deben contar con dispositivos electrónicos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) para evitar la disminución del rendimiento causada por variaciones en la potencia de entrada de los paneles solares. Estos dispositivos ajustan continuamente el voltaje y la corriente para operar en el punto óptimo donde los paneles entregan la máxima potencia posible, maximizando así la eficiencia del generador fotovoltaico bajo diferentes condiciones de funcionamiento.

Además, el rango de voltaje de operación del inversor es crucial, ya que el voltaje generado por los paneles varía con la temperatura. Con el aumento de temperatura, el voltaje disminuye, y con la disminución de temperatura, el voltaje aumenta, lo que puede situar la entrada del inversor fuera del rango óptimo de funcionamiento. Por ello, el inversor debe ser capaz de adaptarse a estas variaciones para mantener un rendimiento eficiente y evitar pérdidas energéticas.

Funciones principales del Inversor:

- **Transformación de energía:** Transforma la energía generada en corriente continua por los paneles solares en corriente alterna, permitiendo su uso en dispositivos eléctricos.
- **Optimización de producción:** Mejora la eficiencia del sistema solar mediante técnicas como el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que ajusta la carga para maximizar la producción.
- **Protección del sistema:** monitorea el rendimiento del sistema y puede desconectar la producción eléctrica en caso de fallos o cortocircuitos, asegurando el sistema.
- **Interconexión a la red:** asegura que la energía producida sea compatible con los parámetros de voltaje y frecuencia requeridos por la red.

5.2.3 Sensor de Potencia Inteligente.

El Smart Power Sensor, es un sensor trifásico inteligente diseñado para sistemas fotovoltaicos híbridos, que permite el monitoreo bidireccional y en tiempo real del flujo de energía. Funciona como un sistema avanzado de gestión y control de energía (EMS), optimizando recursos mediante la supervisión precisa de parámetros eléctricos clave como voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, frecuencia, factor de potencia y energía consumida o generada.

Su alta precisión y comunicación mediante protocolo Modbus-RTU facilitan la integración con inversores y controladores, contribuyendo a una gestión eficiente de la producción y el consumo eléctrico, así como al mantenimiento preventivo y ahorro energético.

5.2.4 Batería en sistemas fotovoltaicos

En los sistemas fotovoltaicos se pueden utilizar distintos tipos de baterías para el almacenamiento de cargas entre ellas; baterías de Plomo-Acido, Baterías de Litio, Baterías Estacionarias, Baterías Monoblock. Estaremos analizando y definiendo la batería de litio siendo la más ideal para la investigación propuesta.

Las baterías de litio son dispositivos de almacenamiento de energía que utilizan tecnologías de iones de litio para almacenar y liberar electricidad maximizando el uso de la energía generada por los paneles solares.

5.2.5 Tipos de estructura para sistemas de soporte o montaje.

La elección adecuada de las estructuras de soportes en sistemas fotovoltaicos es fundamental para garantizar tanto la máxima producción de energía como la longevidad del sistema. Las estructuras bien diseñadas aseguran, la estabilidad, la resistencia a condiciones climáticas, así mismo la optimización de la radiación solar.

Existen diferentes tipos para fijación de estructuras de paneles solares, entre las modalidades más habituales se encuentran:

Estructuras de fijación de paneles solares en ángulo: Se forman estructuras triangulares con rieles de aluminio reforzado se atornillan a la cubierta del edificio y su diseño permite instalar las celdas solares a la inclinación que se desee, sujetas a la estructura con placa metálica.

Estructuras coplanares: Dispone los paneles solares literalmente dispuestos a la cubierta, sin levantar más que unos pocos centímetros y sin crear ningún ángulo, de manera que la integración es casi completa.

Estructura para fijación de paneles solares lastradas: Ideales para cubiertas PVC, tela asfáltica o para cubiertas planas que cuentan con elementos como gravilla, losetas etc.,

Estructura de instalación integrada: Los módulos fotovoltaicos forman parte estructural y estético del propio techo del edificio, sustituyéndose o integrándose con los materiales de cubierta tradicional como losetas, tejas entre otros.

5.3 Automatización de edificios y eficiencia energética

La automatización en edificios consiste en integrar sensores, actuadores y sistemas de control para gestionar el uso de energía de manera inteligente. Permite optimizar iluminación y climatización según condiciones ambientales.

En la biblioteca, un sistema automatizado contribuye a ahorrar energía y mantener condiciones confortables para los usuarios y los equipos electrónicos.

5.3.1 Evolución de los sistemas de automatización.

Es de mucha relevancia hacer énfasis en la evolución de los sistemas automatizados aplicados a industrias o edificaciones, desde tiempo prehistóricos la humanidad ha buscado métodos para minimizar el trabajo y tener mejores comodidades, desde las primeras civilizaciones se diseñaban los primeros dispositivos de la automatización, consistente en trampas para cazar animales, actualmente la automatización ha permitido orientarnos de forma segura optimizando recursos.

En cada una de las épocas históricas hay, registro como la humanidad ha intentado reemplazar el esfuerzo humano por máquinas y por sistemas de control, en diferentes culturas,

por ejemplo, en la edad antigua los sistemas de regadíos en Babilonia, en la edad media los relojes mecánicos desarrollados en Asia, en la edad moderna en el apogeo de la revolución científica nos encontramos muchas genialidades entre ellas, el regulador centrífugo (máquina de vapor), que se le atribuye a James Watts (1736-1819). A este se le puede tomar como punto de referencia para trazar el desarrollo del control automático como disciplina científica.

De la edad contemporánea hasta nuestros tiempos, la automatización ha sufrido una evolución exponencial y es imposible narrar todos los inventos que han tenido lugar sin embargo es de nuestro conocimiento, en la década de 1990, comenzaron a montarse las primeras fabricas totalmente automatizada.

5.3.2 Sistema Automatizado

La automatización puede definirse en general como el proceso de seguir una secuencia predeterminada de operaciones con poca o ninguna mano de obra humana, utilizando equipos y dispositivos especializados que realizan y controlan los procesos de fabricación. La automatización en su sentido pleno se logra mediante el uso de una variedad de dispositivos, sensores, actuadores, técnicas y equipos que son capaces de observar el proceso de fabricación, tomar decisiones sobre los cambios que deben realizarse en la operación y controlar todos los aspectos de la misma. La automatización es el proceso en la industria donde varias operaciones de producción se convierten de un proceso manual a un proceso automatizado o mecanizado. (AK. Gupta, S.K Arora, Jean Riescher Westcott, 2017).

5.3.3 PLC.

NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) proporciona la siguiente definición de un PLC: Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar

instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

El más utilizado en la industria es el logo de SIEMENS que se define como un módulo lógico inteligente que permite el control de varias salidas mediante la programación de varias entradas. Fue diseñado para apoyar la sustitución de la antigua lógica de relés y contactores. (Manual LOGO SIMIENS. 2003).

Lenguajes de programación de los PLC: IEC 61131-3, es la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.

Diagrama de bloques funcionales (FBD): Es muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados, se asemejan a la implementación de circuitos digitales basados en el uso de compuertas digitales y flip-flops.

5.4 Integración del control automático

Sensores

Sensores, son el sentido del sistema de control: Le proporcionan información sobre lo que está ocurriendo. **Los actuadores** son las manos del sistema de control: le permite modificar lo que ocurre en la planta. (Brunete & segundo y Rebeca Herrera, 2024, cap. 2).

- **Sensor de luminosidad.**

Un sensor de luz es un dispositivo electrónico utilizado para detectar, medir y transformar la radiación luminosa en una señal eléctrica proporcional a su intensidad. Su principio de funcionamiento se fundamenta en fenómenos fotoeléctricos, donde la resistencia, el voltaje o la corriente del material sensible varían en función de la cantidad de luz incidente.

Entre los tipos más comunes destacan los fotorresistores (LDR), que modifican su resistencia según la intensidad luminosa; los fotodiodos y fototransistores, que generan corrientes eléctricas al recibir luz; y los sensores digitales de luminosidad, que integran circuitos de conversión y permiten una lectura más precisa.

- **Sensor de temperatura**

Un sensor de temperatura es un dispositivo de medición que detecta variaciones térmicas en un medio y las convierte en una señal eléctrica proporcional, utilizable en sistemas de control y automatización. Su principio de operación se fundamenta en fenómenos físicos como la variación de resistencia eléctrica (RTD y termistores), la generación de una fuerza electromotriz por el efecto Seebeck (termopares) o la respuesta de semiconductores ante cambios térmicos.

Actuador

Actuador, está estrechamente relacionado a los sensores de los cuales son esenciales en sistemas automatizados y control. Los actuadores (también llamados accionadores) constituyen la interfaz entre las señales de control del dispositivo de control (por ejemplo, del autómatas) y el mismo proceso industrial. (Brunete & segundo y Rebeca Herrera, 2024, cap. 2).

5.5 Gestión Centralizada

Sistema Centralizado

Este tipo de instalación automática dispone de una UC (Unidad de control) de la que depende la gestión de toda la instalación. Este elemento procesa la información recibida de los sensores y en función de la programación diseñada por el usuario, da las órdenes a los actuadores. (Leopoldo Molina González, 2010).

Este tipo de tipología presenta la evidencia de que todo el sistema depende de la unidad central de control y una avería generaría una inestabilidad en el sistema. (Miguel Sánchez Hernández, 2017).

Figura 1

Arquitectura del sistema de control centralizado

Fuente: Fundamentos de Automatización y Redes Industriales.



VI. Análisis y presentación de resultados

6.1 Identificación de cargas eléctricas

Este acápite comprende la realización de un análisis preliminar del edificio, en el que se lleva a cabo un análisis específico del sistema eléctrico. Esta acción nos permite obtener un diagnóstico integral del estado actual de la infraestructura, observando aspecto a mejorar en

cuanto al sistema eléctrico, identificando las áreas de consumo en estado crítico y no crítico. Así mismo detectando posibles deficiencias.

Analizando, el tipo de conexión desde la red eléctrica. Identificamos lo siguiente, el edificio de la biblioteca Esman Marin (UNI-RUSB) cuenta con:

- Banco de transformadores: 3 x 75 kVA
- Capacidad total: 225 kVA
- Tensión Primaria: 7.6/13.2 kV
- Tensión Secundaria: 120/240/208 V. En conexión Delta/Delta.

La acometida que alimenta directamente al edificio se proyecta de forma aérea, esta se dimensiona con conductor tríplex 3/0 THWN, más un conductor adicional sin aislamiento que funciona como neutro, la acometida se conecta a un panel central el cual cuenta con un interruptor principal de 3P de 600 A.

Este centro de carga se encuentra instalado en la parte baja del edificio, exactamente en el área de la hemeroteca. Del panel central se derivan los sub-paneles que alimentan los sistemas de climatización, iluminación entre otros circuitos de las diferentes áreas.

Uno de los objetivos primordial es estimar el consumo de energía del edificio, mediante el diagnostico técnico detallado, determinando que porcentaje de energía se consume para el correcto dimensionamiento del sistema propuesto. Esto se logrará en tres principales etapas, las cuales son:

- La primera etapa, realizar el censo de carga mediante el cual se obtiene la cantidad de dispositivos eléctricos instalados, parámetros eléctricos de cada uno de esos dispositivos, ubicación y selección de tipo de carga instaladas.

- La segunda etapa, se centraliza en la aproximación de las horas de uso de cada uno de los equipos según, el área en el que se encuentran, así como su factor de simultaneidad.
- Finalmente, se estimará el consumo promedio diario del edificio, en función de la carga instalada, según sus horas de uso y factor de simultaneidad.

6.1.1 Estimación de la carga eléctrica del edificio.

Para estimar la carga eléctrica del edificio (Biblioteca Esman Marin UNI-RUSB. Se procederá a realizar un censo de carga. Según la IEEE (2022). El censo de carga es un estudio detallado que consiste en la recopilación y análisis de la demanda energética de una instalación eléctrica, identificando y cuantificando todas las cargas conectadas, sus características eléctricas y patrones de consumo. Los datos obtenidos en la presente investigación han sido extraídos y evaluados de la placa característica de los dispositivos instalados.

La caracterización de la información recolectada permite determinar con precisión la demanda eléctrica total proyectada del edificio, constituyendo la base para un dimensionamiento óptimo del sistema eléctrico. Así mismo la aplicación de factores de simultaneidad posibilita la estimación de la carga máxima probable considerando los patrones de uso.

Tabla 1
Potencia Instalada por Área de la biblioteca

UBICACIÓN	POTENCIA NOMINAL (W)	CONSUMO DIARIO (kWh)	CONSUMO MENSUAL (kWh)
ENTRADA	40	0.32	9.60
RECEPCIÓN	1,580	12.04	361.20
RECEPCION DE LIBROS	15,150	91.14	2,734.20
OFICINA 1	720	5.76	172.80
OFICINA 2	620	4.96	148.80

OFICINA 3	304	2.43	72.96
CUARTO DE BAÑO	40	0.16	4.80
AREA DE COMEDOR	2,760	6.40	192.00
HEMEROTECA	1,848	14.44	433.08
LABORATORIO DE COMP.	23,210	177.78	5,333.40
SALA DE LECTURA	21,913	127.19	3,815.73
TOTAL	68,185	443	13,279

Elaboración Propia: Potencia instalada por cada una de las áreas que conforman la biblioteca.

6.1.2 Clasificación de cargas y características

El sistema eléctrico debe estar diseñado, para cumplir con las funciones requeridas por las cargas instaladas, por lo tanto, un sistema eléctrico critico está relacionado directamente con el consumo eléctrico, por ende, es necesario analizar previamente y categorizar los dispositivos eléctricos para el dimensionamiento de dicho sistema.

El dimensionamiento de un sistema eléctrico se realiza según la demanda energética, clasificando las cargas en críticas y no críticas. Esta demanda establece la selección de protecciones y la necesidad de un sistema de respaldo (Sistema hibrido fotovoltaico). Un análisis detallado de dichas cargas evitara sobredimensionamiento innecesario.

6.1.3 Cargas críticas.

Son aquellas cargas que no pueden experimentar sobrecargas eléctricas e impedancia eficaz elevada (Caídas de tensión), ya que su funcionamiento es esencial para la operación o preservación de los servicios y equipos.

Los sistemas de climatización en un edificio se consideran cargas criticas debido a su papel fundamental en mantener condiciones ambientales optimas que garantizan tanto la

conservación de los bienes y equipos, como el bienestar y seguridad de los usuarios. Además, en espacios con alta densidad de equipos electrónicos o servidores (Sala de lectura, Sala de computación, hemeroteca), la climatización es indispensable para evitar el sobrecalentamiento que podría causar fallos o daños irreversibles en dichos equipos, afectando la continuidad operativa.

Tabla 2
Equipos Instalados por ubicación, cargas críticas.

UBICACIÓN	EQUIPO	CANT.	T. CARGA	POTENCIA	POTENCIA /M ²
RECEPCIÓN	AA	2	CRITICA	174	348
HEMEROTECA	AA	2	CRITICA	174	348
LABORATORIO DE COMP.	AA	1	CRITICA	7,900	7,900
SALA DE LECTURA	AA	2	CRITICA	7,900	15,800
	AA	3	CRITICA	155	465
	AA	2	CRITICA	340	680
	AA	2	CRITICA	174	348
CONSUMO TOTAL				16,817	25,889

Elaboración Propia: La tabla muestra únicamente la carga crítica correspondiente a los aires acondicionados, debido a que representan el mayor consumo dentro de la instalación.

6.1.4 Cargas no críticas.

Son equipos o sistemas eléctricos cuya interrupción del suministro no afecta la integridad funcional de la infraestructura esencial, la preservación de activos prioritarios o la seguridad

operativa. Estas cargas presentan una prioridad de alimentación secundaria dentro del esquema de distribución eléctrica, caracterizándose por una demanda energética reducida.

Esta categoría incluye aquellas cargas cuya operación puede suspenderse temporalmente sin afectar la continuidad del servicio de los sistemas esenciales. Entre ellas se encuentran iluminación no esencial, tomacorrientes de uso general y equipos auxiliares. La correcta clasificación de estas cargas resulta fundamental para jerarquizar el suministro eléctrico.

Tabla 3
Equipos Instalados por ubicación, cargas no críticas.

UBICACIÓN	EQUIPO	CANT.	T. CARGA	POTENCIA	POTENCIA/M ²
ENTRADA	LUMINARIA	1	NO CRITICA	40	40
RECEPCIÓN	TELEVISOR	1	NO CRITICA	300	300
	LUMINARIA	17	NO CRITICA	40	680
RECEPCION DE LIBROS	LUMINARIA	6	NO CRITICA	20	120
	TRIPPLITE	11	NO CRITICA	450	4,950
	CPU	21	NO CRITICA	480	10,080
OFICINA 1	LUMINARIA	6	NO CRITICA	40	240
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	480	480
OFICINA 2	LUMINARIA	2	NO CRITICA	40	80
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	540	540
OFICINA 3	LUMINARIA	4	NO CRITICA	40	160
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	144	144
CUARTO DE BAÑO	LUMINARIA	1	NO CRITICA	40	40
AREA DE COMEDOR	MICROONDA	1	NO CRITICA	1,200	1,200
	CAFETERA	1	NO CRITICA	1,000	1,000
	REFRIGERADORA	1	NO CRITICA	480	480
	LUMINARIA	2	NO CRITICA	40	80
HEMEROTECA	TELEVISOR	1	NO CRITICA	300	300
	LUMINARIA	60	NO CRITICA	20	1,200
	LUMINARIA	7	NO CRITICA	40	280

UBICACIÓN	EQUIPO	CANT.	T. CARGA	POTENCIA	POTENCIA/M ²
LABORATORIO DE COMP.	TRIPPLITE	11	NO CRITICA	450	4,950
	CPU	21	NO CRITICA	480	10,080
SALA DE LECTURA	LUMINARIA	131	NO CRITICA	40	5,240
CONSUMO TOTAL				6,704	42,664

Elaboración propia: La tabla detalla las cargas no críticas identificadas en la instalación, correspondientes a la iluminación, los sistemas UPS y las computadoras de escritorio. Estos equipos se caracterizan por presentar un consumo eléctrico reducido.

6.2 Perfil de carga

Para elaborar el perfil de carga que identifique el comportamiento eléctrico de los dispositivos instalado en el edificio de la Biblioteca Esmán Marín se procedió a analizar la demanda energética con respecto a las cargas críticas y no críticas de cada equipo según su función, patrón de uso y características técnicas.

6.2.1 Comportamiento de Cargas Críticas.

Se detalla el consumo energético correspondiente a las cargas críticas dentro del edificio de la biblioteca. Esta tabla permite identificar las áreas y equipos que requieren un suministro energético continuo y prioritario, facilitando el análisis y la toma de decisiones estratégicas para garantizar la disponibilidad y eficiencia del sistema eléctrico en situaciones de alta demanda o contingencias. De esta manera, se optimiza la gestión energética, asegurando la continuidad operativa de los servicios esenciales del edificio.

Tabla 4

Consumo Diario por cargas críticas

UBICACIÓN	EQUIPO	CANT.	T. CARGA	kWh/DÍA	kWh/MES
RECEPCIÓN	AA	2	CRITICA	2	73
HEMEROTECA	AA	2	CRITICA	2	73
LABORATORIO DE COMP.	AA	1	CRITICA	55	1,659
SALA DE LECTURA	AA	2	CRITICA	111	3,318
	AA	3	CRITICA	3	98
	AA	2	CRITICA	5	143
	AA	2	CRITICA	2	73
CONSUMO TOTAL				181	5,437

En el gráfico presentado, se observa que la **sala de lectura** concentra el mayor consumo energético dentro de las cargas críticas, representando el 66 % de la demanda total, equivalente a 3,632 kWh mensuales. Por otro lado, **recepción y hemeroteca** presenta la menor demanda energética, con un 1.34 % del total, correspondiente a 73 kWh mensuales.

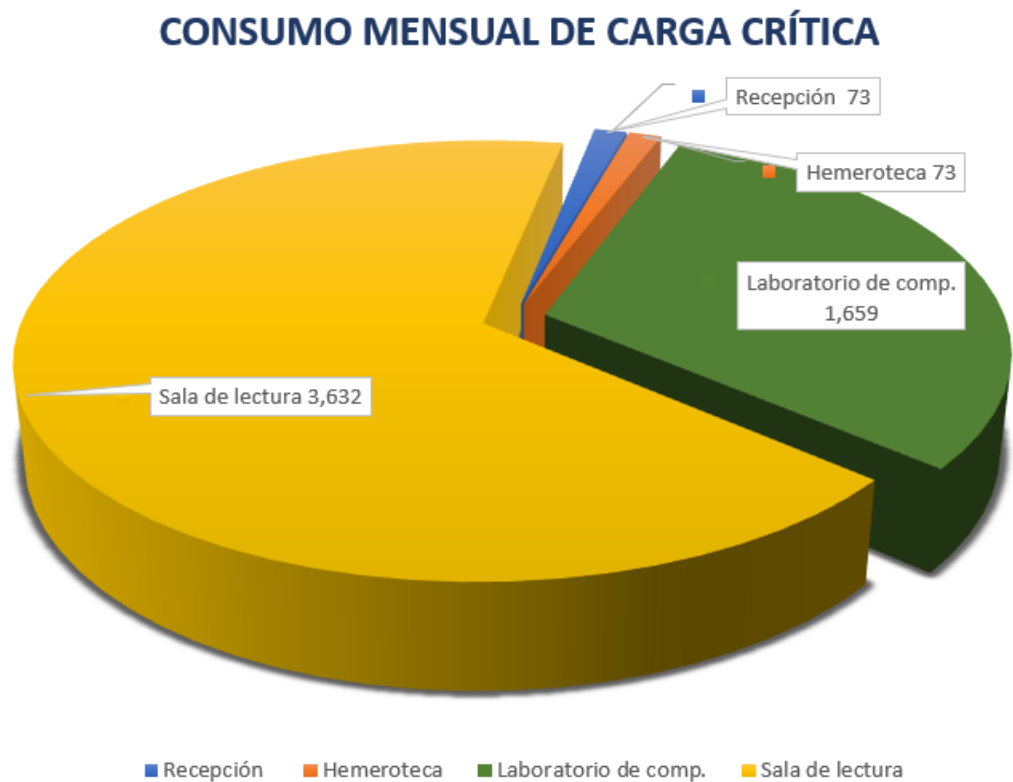
6.2.2 Comportamiento de Carga No Criticas.

En la presente hoja de cálculo, se ilustra el consumo energético distribuido por áreas dentro del edificio de la biblioteca, esta hoja nos permite identificar cuáles son las áreas con

mayor demanda energéticas, facilitando el análisis y la toma de decisiones orientadas a la optimización del uso energético con respecto a las cargas no críticas.

Figura 2
Consumo Mensual de carga critica
Fuente: Elaboración Propia

El gráfico ilustra con precisión la variación mensual en el consumo energético de las cargas



críticas del edificio, destacando las áreas que representan el mayor consumo.

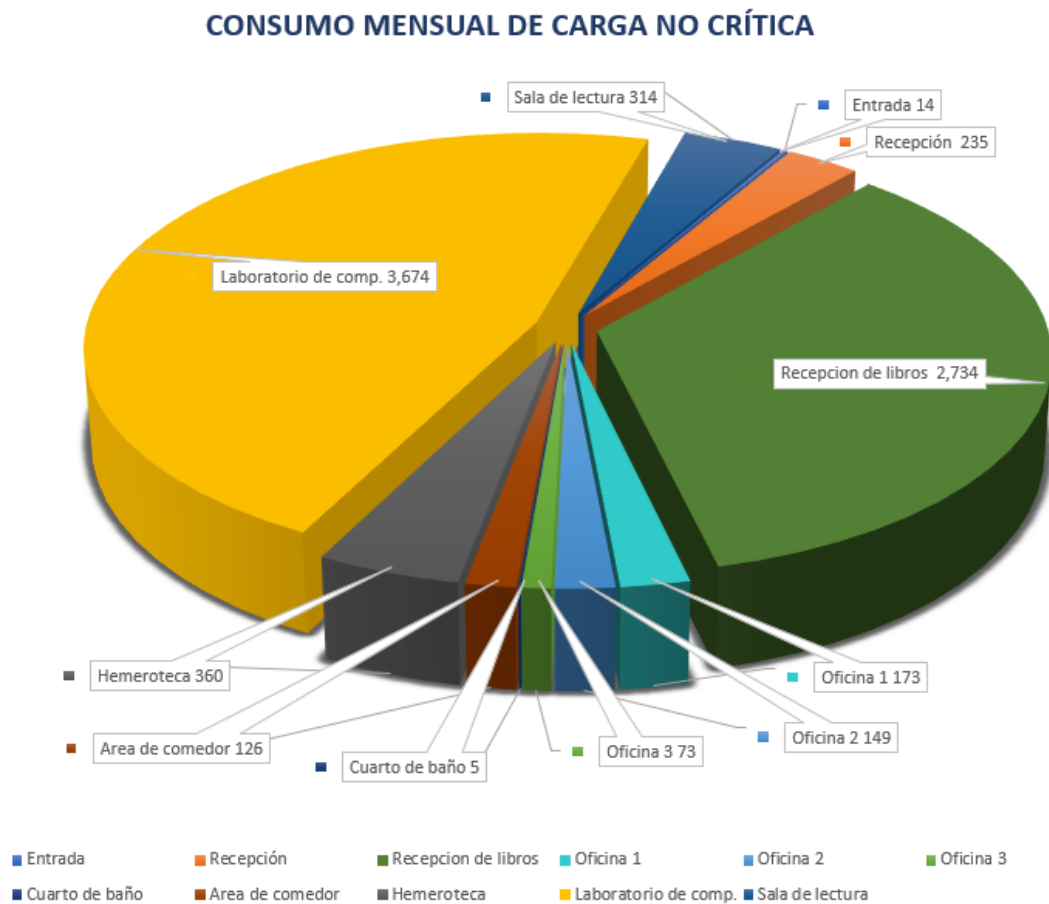
Tabla 5
Consumo Mensual por cargas No criticas

UBICACIÓN	EQUIPO	CANT.	T. CARGA	kWh/DÍA	kWh/MES
ENTRADA	LUMINARIA	1	NO CRITICA	0.32	9.60
RECEPCIÓN	TELEVISOR	1	NO CRITICA	2.40	72.00
	LUMINARIA	17	NO CRITICA	5.44	163.20
RECEPCION DE LIBROS	LUMINARIA	6	NO CRITICA	0.96	28.80
	TRIPPLITE	11	NO CRITICA	29.70	891.00
	CPU	21	NO CRITICA	60.48	1,814.40
OFICINA 1	LUMINARIA	6	NO CRITICA	1.92	57.60
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	3.84	115.20
OFICINA 2	LUMINARIA	2	NO CRITICA	0.64	19.20
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	4.32	129.60
OFICINA 3	LUMINARIA	4	NO CRITICA	1.28	38.40
	IMPRESORA	1	NO CRITICA	1.15	34.56
CUARTO DE BAÑO	LUMINARIA	1	NO CRITICA	0.04	1.20
AREA DE COMEDOR	MICROONDA	1	NO CRITICA	1.20	36.00
	CAFETERA	1	NO CRITICA	1.00	30.00
	REFRIGERADORA	1	NO CRITICA	1.92	57.60
	LUMINARIA	2	NO CRITICA	0.08	2.40
HEMEROTECA	TELEVISOR	1	NO CRITICA	2.40	72.00
	LUMINARIA	60	NO CRITICA	9.60	288.00
LABORATORIO DE COMP.	LUMINARIA	7	NO CRITICA	2.24	67.20
	TRIPPLITE	11	NO CRITICA	39.60	1,188.00
	CPU	21	NO CRITICA	80.64	2,419.20
SALA DE LECTURA	LUMINARIA	131	NO CRITICA	10.48	314.40
CONSUMO TOTAL				262	7,850

Figura 3

Consumo mensual de cargas no críticas energía por área en la biblioteca.

Fuente: Elaboración Propia



El gráfico ilustra con precisión la variación mensual en el consumo energético de las cargas no críticas del edificio.

6.3 Integración de las energías renovables

En la red eléctrica es un proceso crucial para la transición hacia un sistema energético más sostenible esta práctica implica incorporar fuentes de energías como solar, eólica o

hidroeléctrica en la infraestructura eléctrica existente lo que permite reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sistemas Híbrido fotovoltaicos: Es una arquitectura energética avanzada que combina la generación fotovoltaica con almacenamiento en baterías y frecuentemente una conexión a la red eléctrica o una fuente de respaldo adicional. Esta configuración permite maximizar la eficiencia, la autonomía y la fiabilidad del suministro eléctrico adaptándose a distintos perfiles de consumo y condiciones ambientales.

Se ha optado por seleccionar el sistema híbrido fotovoltaico porque ofrece mayor autonomía y resiliencia que un sistema conectado a la red tradicional, ya que protege contra fallas transitorias como por fallas no transitorias y permite el funcionamiento ininterrumpido de servicios críticos.

Entre los sistemas de energías que combinan fuentes renovables y no renovables, la combinación de energía fotovoltaica y la red eléctrica es un ejemplo de los distintos tipos de sistemas híbridos. Según la IEEE, un sistema híbrido se define como un conjunto de componentes interrelacionados que pueden incluir tanto elementos continuos como discretos, este concepto es aplicado ampliamente en diversas áreas, incluyendo la generación de energía donde los sistemas híbridos combinan fuentes renovables (fotovoltaica), con fuentes no renovable para optimizar la producción y el suministro de energía. (IEEE 1547.1 a -2015).

6.3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para el correcto dimensionamiento eléctrico, se consideran dos aspectos principales:

- Se calculará la capacidad necesaria del sistema fotovoltaico para cubrir la demanda energética basada en el análisis de consumo.
- Se considerarán factores como la radiación solar disponible, la orientación e inclinación de los paneles, y las pérdidas del sistema.

De acuerdo con los valores tabulados, la demanda energética diaria proyectada del sistema es de 443 kWh; considerando este consumo, se procede al dimensionamiento y selección del módulo fotovoltaico adecuado para satisfacer la demanda energética del sistema.

6.3.2 Selección del Panel Solar

El módulo fotovoltaico Peimar OR12H670M ha sido seleccionado debido a que su elevada potencia unitaria (670 W) permite disminuir la cantidad de paneles requeridos para alcanzar la capacidad instalada del sistema, optimizando así el uso de espacio y reduciendo los costos asociados al balance de sistema (BOS). El módulo fotovoltaico Peimar de 670 W cuenta con 132 células de alta eficiencia tipo monocristalinas M12 Half Cell con tecnología PERC. Estas células están diseñadas para optimizar la distribución eléctrica y mejorar el rendimiento del panel, ofreciendo una eficiencia aproximada del 22.5 %.

Asimismo, la incorporación de tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell) garantiza una mayor eficiencia de conversión energética, incluso bajo condiciones de baja irradiancia y temperaturas elevadas, mejorando el rendimiento global de la instalación.

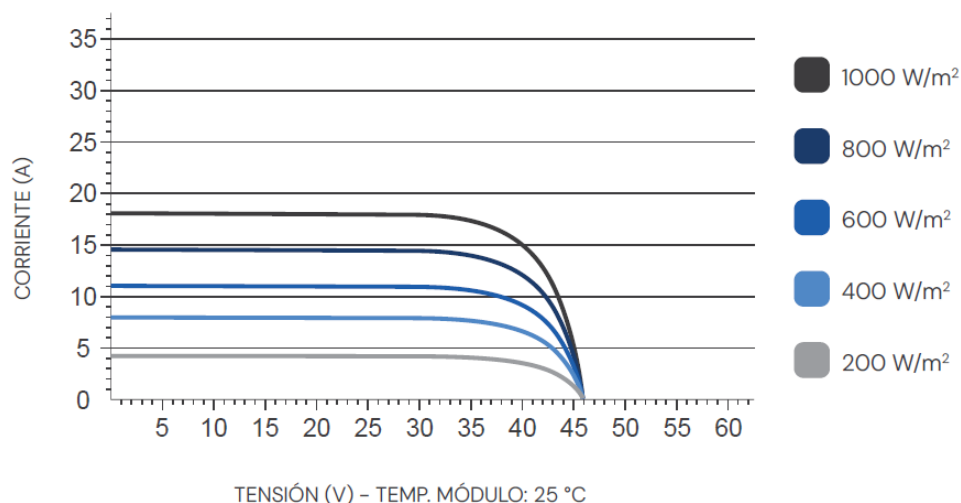
Adicionalmente, su diseño mecánicamente robusto y la versatilidad en el sistema de montaje proporcionan mayor confiabilidad estructural y flexibilidad en la instalación, lo que lo

convierte en una solución idónea para proyectos que demandan altos niveles de desempeño y durabilidad. (Ver Anexo Tabla A.1)

La gráfica que muestra la figura 4 es una curva corriente-voltaje (I-V) del módulo fotovoltaico. Representa la relación entre la corriente (A) y el voltaje (V) entregados por el módulo a una temperatura constante de 25 °C bajo diferentes niveles de irradiancia solar (de 200 a 1000 W/m²).

En esta curva, la corriente es máxima con bajo voltaje (cortocircuito) y disminuye hasta cero cuando el voltaje alcanza su valor máximo (circuito abierto). La potencia máxima se encuentra en un punto intermedio donde el producto de corriente y voltaje es mayor. A mayor irradiancia, la corriente y la potencia generada son más altas, mientras que a menor irradiancia la producción cae.

Figura 4
Comportamiento del módulo voltaico a una temperatura constante
Fuente: Ficha Técnica Modulo Peimar



6.3.3 Geolocalización del sistema fotovoltaico.

Horas sol pico (HSP)

Las horas pico solares representan las horas diarias de máxima irradiancia solar, varían según la ubicación geográfica y la estación del año. Se han realizado los siguientes cálculos a través del programa PVGIS24. (Ver Anexo Figura A.11)

Para simplificar el análisis de la radiación solar, se calcula un promedio mensual a partir de los valores diarios disponibles, lo que permite tener una estimación de la irradiancia media diaria mensual, útil para dimensionar el sistema solar fotovoltaico.

6.3.4 Cálculo de la cantidad de modulo fotovoltaicos:

Cálculo de la Irradiación Mensual (Promedio).

$$IS_M = \frac{\Sigma(Kilowatt\ Hora\ diaria)}{12} = \frac{2016.74\ kWh/m^2}{12} = 175.56\ kWh/m^2$$

Cálculo de la irradiancia solar diaria.

$$IS_D = \frac{175.56\ kWh/m^2}{30} = 5.85\ kWh/(m^2/día).$$

Hora solar pico.

$$H_{sp} = \frac{5.85\ kWh/m^2}{1\ kW} = 5.85\ h/día.$$

Dimensionamiento de la cantidad de paneles requerido.

$$N_p = \frac{\text{Demanda Energetica } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{diario}}\right)}{\text{Horas Solar Pico Diario x Potencia de los paneles.}} = \frac{443 \text{ kWh.}}{5.85 \text{ h x } 0.67} = \mathbf{113 \text{ paneles.}}$$

La demanda consumida diaria es de 443 kWh, calculada en función de lo equipos fijos instalado, considerando que al ser una biblioteca pública los usuarios utilizan sus computadoras portátiles lo que incrementa la demanda energética, además se consideran un porcentaje adicional por los factores de perdidas. Se determino incrementar la cantidad de paneles solares a un total de 120 paneles, para cubrir adecuadamente esta demanda adicional incluyendo las pérdidas a un 85 % es 400.47 kWh diario de generación.

Dimensionamiento de la cantidad de panel a utilizar.

$$N_p = \frac{\text{Demanda Energetica } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{diario}}\right)}{\text{Horas Solar Pico Diario x Potencia de los paneles.}} = \frac{470.3 \text{ kWh.}}{5.85 \text{ h x } 0.67} = \mathbf{120 \text{ paneles.}}$$

6.3.5 Determinación de la capacidad de almacenamiento de energía.

Para asegurar el suministro continuo durante los periodos de baja generación solar, la capacidad optima del sistema de baterías debe calcularse considerando:

- El consumo eléctrico diario o durante el periodo de respaldo deseado.
- El tiempo de autonomía requerido (número de horas o días, que debe de cubrir la batería sin generación solar)
- La profundidad de descarga, (DoD) máxima recomendada para maximizar la vida útil de la batería.

Estimando un respaldo de autonomía de 1 día, y considerando la capacidad del modelo de panel seleccionado que es de 670 W se procede al cálculo del consumo diario estimado (kWh).

6.3.6 Cálculo del banco de baterías para el respaldo energético

Consumo promedio por hora:

$$E_{pro/h} = \frac{Kwh/dia.}{24 h} = \frac{470 kwh}{24 h} = 19.58 kW$$

Energía requerida para 7 horas.

$$E_{Req} = \left(E_{\frac{pro}{h}} \right) (7h) = 19.58 * 7 = 137.06 kWh$$

Profundidad de descarga (DoD) de 85 %

$$D_{oD} = \frac{E_{Req}}{0.85} = \frac{137 kWh}{0.85} = 161.24 kWh$$

Numero de baterías, Modelo LUNA2000-15-S0

$$N_B = \frac{D_{oD}}{15 kWh/Bateria} = \frac{161.24 kWh}{15 kWh/Bateria} = 10.75$$

El modelo de batería seleccionado es, LUNA2000-15-S0, con una capacidad de almacenamiento de 137.06 kWh diseñado para suministrar energía de forma continua durante un periodo de 7 horas, por lo tanto, se requiere la instalación de doce baterías distribuidas en dos unidades por cada inversor. (Ver Anexo Tabla A.2)

6.3.7 Especificación y selección de Inversores.

Para dimensionar un sistema con el inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1 trifásico, 120 paneles solares OR12H670M de 670 W y 12 baterías LUNA2000-5/10/15-S0, se deben considerar los siguientes aspectos técnicos, basados en las especificaciones del inversor y características de los componentes según la ficha técnica. (Ver Anexo Tabla A.3)

El Inversor (Huawei SUN2000-15KTL-M1 trifásico), es una solución avanzada y eficiente para sistemas fotovoltaicos híbridos, destacando por su potencia nominal activa de 15 kW y potencia aparente máxima de 16.5 kVA. Este inversor permite una configuración flexible gracias a sus dos MPPT (seguidores del punto de máxima potencia) independientes, que facilitan la conexión de dos grupos de paneles solares con diferentes orientaciones o inclinaciones. Dentro de las bondades radica sus protecciones integrales que incluyen:

- Seccionador de corriente continua para seguridad en mantenimiento.
- Protección anti-isla para evitar riesgos durante fallas en la red.
- Protección contra sobreintensidad en corriente alterna.
- Protección contra polaridad inversa en corriente continua.
- Detección de aislamiento y monitorización de la corriente residual para mayor seguridad y eficiencia.

Además, cuenta con pantalla LCD integrada que permite la monitorización en tiempo real del rendimiento del sistema y los datos eléctricos. Su rango de tensión de entrada MPPT es amplio (160 V a 950 V) con una tensión nominal de máxima potencia de 600 V, lo que permite elegir paneles solares diversos y adaptar el diseño del campo fotovoltaico para maximizar el rendimiento.

La potencia total generada de los paneles es, **(80.4 kWp)** excede la potencia nominal de un solo inversor (15 kW), por lo que se utilizaría 6 inversores SUN2000-15KTL-M, Instalados en paralelo para cubrir la potencia total sin saturar los inversores. Cada inversor puede manejar como potencia máxima recomendada hasta 22.5 kWp, por lo que 6 inversores pueden manejar hasta 135 kWp, suficiente para el dimensionamiento adecuado de la carga total generada por los 120 paneles tomando en consideración el margen de factores de pérdida al 85% y Sobrecarga de los usuarios como equipos ofimáticos y actividades especiales.

6.3.8 Cálculo de paneles por String para cada inversor.

Para determinar el rango de tensión admisible en la entrada del inversor, se debe diseñar la configuración serie-paralelo de los módulos fotovoltaicos, es decir la cantidad de paneles solares por String de modo que:

- Se cumpla la tensión mínima requerida por el inversor para su funcionamiento.
- El rango de tensión generado por los módulos se mantenga dentro del rango óptimo de voltaje del punto de máxima potencia (MPPT) del inversor.

Esta estrategia garantiza que el sistema opere con máxima eficiencia y rendimiento energético. Para el cálculo de paneles por String por cada inversor, identificamos los criterios para la conexión.

Criterio 1: La potencia generada por el arreglo de paneles (Σ Paneles por la potencia unitaria) no puede ser mayor a la potencia nominal del Inversor.

Criterio 2: El voltaje generado por el arreglo de paneles en serie debe estar dentro del rango permitido por el inversor.

Criterio 3: La corriente generada por el arreglo de paneles en paralelo no puede ser mayor a la permitida por el inversor en cada una de sus entradas y la total del inversor, los límites de corriente del inversor son en la entrada uno 22 amperios y la entrada dos es 22 amperios, para una corriente total de 44 amperios.

Para el cálculo de la cantidad de paneles por inversor, es decir la cantidad de paneles por string que debe tener cada inversor, se procede a la siguiente ecuación:

$$N_P \text{ Serie} = \frac{V_{nd}}{V_{mp}}$$

Donde

- V_{nd} : Voltaje nominal de diseño que es el rango máximo de tensión de MPPT del inversor, el cual es 950 V se deja 100 V de margen de reserva y se usa 850 V.
- V_{mp} : Tensión a potencia máxima V_{mp} del panel fotovoltaico es 38.9 V

$$N_P \text{ Serie} = \frac{850 \text{ V}}{38.9 \text{ V}} = 21.85 \text{ Paneles}$$

Por tanto, la capacidad máxima de paneles por String se redondea a 21 paneles. Tomando en consideración que se propone instalar 10 paneles por String para un total de 20 paneles por inversor, procedemos a calcular la tensión a potencia máxima V_{mp} .

$$V_{mp} = \text{Cant Paneles por String} \times V_{mp}$$

$$V_{mp} = 10 \times 38.9 = 389 \text{ Paneles}$$

Este cálculo nos permite identificar la tensión de potencia máxima V_{mp} por String que esta dentro del rango de (140-980 V), según las especificaciones de ficha técnica del fabricante.

Cálculo de paneles en paralelo:

$$\text{Numero de paneles en Paralelo} = \frac{I_{max}}{I_{max/p}}$$

I_{max} , es la corriente máxima que soporta el inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1 por cada MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) es de 22 A. Este valor es clave para calcular cuántos paneles solares se pueden conectar en paralelo en cada cadena (String) sin exceder la corriente máxima permitida por el inversor.

I_{mp} es la corriente del panel es 13.4 amperios

$$N_p \text{ Paralelo} = \frac{22 A}{13.4 A} = 1.64 \text{ String de Paneles por Inveror.}$$

6.3.9 Sensor de Potencia Inteligente.

Se ha especificado un tipo de sensor de potencia inteligente que cumple con los requerimientos y compatibilidad del sistema propuesto. El sensor soporta tipos de red eléctrica 3P3W y 3P4W, que son las configuraciones trifásicas más comunes en sistemas industriales y comerciales, adecuadas para el manejo de la potencia generada por los grupos de paneles e inversores trifásicos. Permitiendo medir con precisión los parámetros eléctricos en instalaciones que tienen tres fases con o sin neutro. (Ver Anexo Tabla A.4)

El sensor de potencia inteligente cuenta con comunicación RS485 y protocolo Modbus-RTU, facilitando su integración con sistemas de gestión energética (EMS) para un monitoreo

centralizado. Así se optimiza el uso de los 60 kWh de batería distribuidos y la operación de cada inversor según la producción solar y el consumo.

6.3.10 Funcionamiento del sistema.

Panel PEIMAR 670W

Los módulos fotovoltaicos Peimar de 670 W se configuran en arreglos de 10 unidades conectadas en serie por string, con dos strings dispuestos en paralelo, cumpliendo con las especificaciones de tensión y corriente máxima admitidas en el puerto de entrada del inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1.

Inversor HUAWEI SUN200-15KTL-M1

El inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1 recibe la energía generada por los módulos fotovoltaicos y realiza la conversión de corriente continua a corriente alterna, gestionando además el flujo de energía entre la batería LUNA2000-15-S0, las cargas y la red eléctrica. Mediante la configuración “Prioridad Solar + Batería”, y en conjunto con el sensor de potencia inteligente DTSU666-H, el sistema permite una operación completamente automatizada y jerarquizada de las fuentes energéticas, priorizando el uso de la energía solar y del almacenamiento antes del suministro de red, mientras se mantienen los niveles mínimos de estado de carga (SOC, State of Charge) de la batería, garantizando así la continuidad del servicio sin necesidad de intervención humana.

Batería LUNA200-15-SO

La batería almacena la energía excedente generada por los módulos fotovoltaicos, garantizando el suministro durante períodos de baja o nula irradiación solar. El inversor

monitorea continuamente el estado de carga (SOC) del sistema de almacenamiento, evitando el envío de señales al interruptor de transferencia automática (ATS) cuando los niveles de energía no son suficientes para mantener la operación estable del sistema.

Sensor de Potencia Inteligente (DTSU666-H).

Es el encargado de medir el flujo de energía hacia las cargas y puede enviar al inversor señales sobre el consumo, picos de carga o cortes de energía. Funciona como esclavo en el bus RS485.

Todos los dispositivos se conectan en paralelo en un mismo RS485:

- Dos hilos trenzados A/B (Data + / Data -), a veces con un tercer hilo de GND opcional.
- Terminar el bus con resistencia de 120 Ω , en los extremos para evitar reflejos de señal.

Dirección de cada dispositivo, cada uno tiene un ID único, esto permite que el inversor lea la batería y el Smart Sensor Power sin conflicto.

El inversor consulta la batería vía RS485, para saber su SOC y disponibilidad de energía. El Smart Sensor Power mide la energía consumida por las cargas y envía los datos al inversor; el inversor decide en tiempo real si suministrar energía desde la batería, o alimentar directamente desde los paneles solares. Toda esta comunicación permite un control inteligente y automático evitando sobrecarga o descarga profunda de la batería. (Ver Anexo Figura A.14)

6.3.11 Análisis y determinación optima de las estructuras de montaje.

Para determinar la selección precisa del lugar exacto de la estructura de montaje se procede a realizar una micro localización a través de Google Earth. (Ver Anexo Figura A.12)

Consiste en determinar la ubicación específica considerando factores como accesibilidad, infraestructura, entorno, y disponibilidad de servicio, con el objetivo de optimizar costos, operatividad y rentabilidad del proyecto. Esta micro localización nos permite definir el sitio definitivo que cumplirá mejor con los requisitos técnicos y logísticos para su funcionamiento, de tal forma se procede a evaluar el tipo de estructura de montaje.

Como ya se ha especificado, la investigación esta desarrollada en la biblioteca Esman Marin, en las coordenadas latitud Norte 12°07'52"N y longitud Oeste 86°16'14, a una elevación del suelo de 104.7 Metros.

Capacidad del Proyecto, respecto al área de Montaje.

El análisis para determinar la capacidad en área de montaje respecto a la cantidad de paneles a utilizar resulta de suma importancia, ya que permite realizar una prospección respecto a costos involucrados en la inversión necesaria para la construcción.

Para determinar la capacidad en área se tomará en cuenta los siguientes factores:

- Espacio disponible para la instalación de paneles.
- Capacidad de paneles a utilizar (Tipo de tecnología y área para el montaje y ubicación.

El área disponible para la instalación de paneles solares en el techo del edificio puede limitar el tamaño del proyecto. Según el plano proporcionado por la Oficina de Unidad de Diseño y el levantamiento realizado durante la etapa de diagnóstico, se identificaron nueve compresores de aire acondicionado ubicados en el techo, los cuales reducen la superficie útil para instalar los paneles y generan sombras que afectan su rendimiento.

El área útil para la instalación de paneles solares en el techo del Edificio de la biblioteca es de aproximadamente 660 m². La siguiente propuesta presenta la distribución preliminar de los paneles en esta superficie.

Estructura de soporte o montaje.

La integración estructural y estética de módulos fotovoltaicos en la cubierta de edificios representa una innovación significativa en la arquitectura sostenible. En lugar de simplemente montar paneles solares sobre un techo convencional, se ha elegido un tipo de estructuras fotovoltaicas integradas (Conocidas también como BIPV, (Building Integrated Photovoltaics) sustituyen o incorporan elementos tradicionales de cubierta como tejas o losetas, convirtiéndose en parte funcional y estética del edificio. Esta integración ofrece ventajas sustanciales, como la optimización del espacio, reducción de costos en materiales y mantenimiento, mejora en la estética arquitectónica, y contribución a la eficiencia energética y sostenibilidad ambiental del inmueble.

Estructura de Instalación Integrada.

La elección de la estructura de instalación integrada es una de las soluciones más eficiente y adecuada debido que maximiza el aprovechamiento del espacio disponible en

cubierta y fachada, que es uno de los aspectos cruciales en edificaciones institucionales donde la demanda energética es elevada y los requerimientos de diseños son estrictos. Además, la adaptabilidad de las estructuras integradas a las condiciones climáticas locales garantiza una mayor durabilidad y resistencia frente a factores ambientales adversos.

La sujeción de los paneles solares no deberá generar sombras indeseadas sobre los paneles. La tornillería utilizada tanto para la sujeción de los paneles fotovoltaicos como para la sujeción de la propia estructura al suelo deberá ser de acero inoxidable con excepción de estructuras de acero galvanizado en cuyo caso podrán ser tornillos galvanizados.

6.3.12 Cálculo de Inclinación y Orientación, de los módulos Fotovoltaicos.

Para la ubicación en la biblioteca Esman Marín con coordenadas 12°07'52" N de latitud y 86°16'14" O de longitud, la radiación solar disponible sobre los módulos fotovoltaicos depende directamente de la radiación incidente y de la orientación e inclinación de los paneles. En este caso, el ángulo de azimut (α) se mide como la desviación respecto al sur geográfico, considerando la posición en el hemisferio norte, mientras que el ángulo de inclinación (β) es el ángulo formado entre la superficie del módulo y el plano horizontal.

La inclinación de los paneles será fija durante todo el año, es necesario calcular el ángulo óptimo que permita recibir la mayor cantidad de radiación solar anual. Este ángulo óptimo de inclinación (β) se relaciona con la latitud (ϕ) del lugar de instalación.

Además, se conoce que el techo del edificio de la biblioteca tiene una pendiente del 12 % que equivale a 6.84°~7°, por lo que los 5° adicionales serían necesarios para alcanzar los 12° se

lograrán mediante el sistema de anclaje de los paneles solares. Esta configuración garantiza el máximo aprovechamiento de la radiación solar disponible a lo largo del año.

Se calcula con la siguiente formula:

$$\beta = 5 + \tan^{-1}\left(\frac{12}{100}\right) = 11.98^\circ \approx 12^\circ$$

Es importante mencionar que las coordenadas ubicadas en el edificio nos permiten triangular el ángulo con respecto al meridiano Norte-Sur, siendo este un ángulo de acimut de 12°.

La distancia “d”, medida sobre la horizontal entre filas de paneles solares, se determina principalmente por la latitud (ϕ) del lugar de instalación, ya que afecta el ángulo de incidencia solar y la proyección máxima de la sombra durante el solsticio de invierno. Esta distancia debe garantizar al menos cuatro horas de exposición solar alrededor del mediodía en el solsticio de invierno, evitando que la sombra proyectada por una fila incida sobre la siguiente y asegurando la máxima captación de radiación en el horario aprovechable del sistema fotovoltaico.

Para calcular la distancia óptima, se deben considerar el ángulo de inclinación de los paneles, la latitud del sitio y la altura del panel. La fórmula empleada ajusta la separación necesaria según la proyección de la sombra máxima, permitiendo que, durante el periodo crítico de menor altura solar anual, las filas de paneles no interfieran entre sí. La siguiente figura ilustra este principio, representando la distancia óptima y la proyección máxima de sombra en condiciones de radiación solar directa.

Entendiéndose que el panel Peimar es modelo OR12H670M, tiene una longitud aproximada de 2.4 m y el ángulo de inclinación es 12° , en el edificio de la biblioteca ($\phi \approx 12^\circ$), los valores se calculan de la siguiente forma.

- $h = 2.4 \times \sin(12^\circ) = 0.49$ metros Altura máxima de proyección del panel.
- $b = 2.4 \times \cos(12^\circ) = 2.34$ metros proyección Horizontal del panel.
- $d = \frac{h}{\tan(61^\circ - 12^\circ)} = 0.42$ metros Distancias mínimas entre las filas para evitar sombras.

La distancia total horizontal desde el borde de una fila hasta la siguiente será $d + b$. Es decir: Distancia horizontal $= 2.34 + 0.42 = 2,7$ metros.

Determinación del conductor y protecciones

Selección del conductor

- La potencia de cada string es aproximadamente 6.7 kW.
- Considerando un voltaje de circuito en serie de 389 V (10 paneles $\times$ 38.92 Vmp), la corriente máxima en el string será:

$$I_{max} = \frac{6700 \text{ W}}{389.2 \text{ V}} = 17.2 \text{ A}$$

- Para seguridad y margen de diseño, se debe considerar un factor de sobre corriente, típico del 25%.

$$I_{Diseño} = 17.2 \times 1.25 = 21.5 \text{ A}$$

Tomando en consideración que el inversor maneja dos String, se multiplicará por dos la corriente de diseño, es decir:

$$I_{Diseño} = 21.5 \times 2 = 43 \text{ A}$$

Un conductor calibre 6 AWG (13.33 mm²) generalmente tiene una ampacidad de aproximadamente 55 A considerando una temperatura de 60°, lo cual supera ampliamente los 43 A calculados, garantizando seguridad térmica.

Caída de tensión admisible

En sistemas fotovoltaicos, la caída de tensión desde paneles hasta el inversor debe mantenerse baja para preservar la eficiencia (tipo <1.5%-2%).

Con el calibre de conductor numero 6 AWG, la resistencia del conductor es suficientemente baja para minimizar pérdidas en el trayecto de cable, incluso a la longitud típica de cables en instalaciones solares residenciales o comerciales. Esto mejora la eficiencia del sistema y maximiza la energía entregada al inversor.

Resistencia a condiciones externas

El conductor calibre numero 6 AWG, usado en cable tipo fotovoltaico con doble aislamiento y blindaje UV tiene la robustez necesaria para resistir condiciones ambientales adversas sin deterioro, asegurando vida útil prolongada y seguridad eléctrica.

Los switch AC entre el inversor y la red secundaria actúan como dispositivos de desconexión, seguridad y control, garantizar la operación segura entre la red comercial y el sistema fotovoltaico.

Selección de protecciones

AC Switch.

La protección en corriente alterna (AC) en la salida del inversor se calcula para proteger el inversor y el sistema eléctrico conectado frente a sobrecorrientes, cortocircuitos o fallas a tierra. Esta protección evita daños en los conductores, en los equipos asociados y en el propio inversor cuando entrega energía hacia la red o las cargas.

La protección a la salida del inversor se calcula únicamente con la potencia nominal del inversor y la potencia de salida. La cantidad de paneles no influye directamente en la protección de corriente alterna.

AC switch salida del inversor

$$I_{Ac} = \frac{P_{AC}}{(V_{LL})} = \frac{10,000 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 41.66 \text{ A}$$

Tomando en consideración el factor de carga continua del 25 %, la corriente de cada inversor es de 52.07 amperios. (Ver Anexo Tabla A.5)

$$I_{Ac} = 41.66 \text{ A} * 25\% = 52.07 \text{ A}$$

Protección en corriente continua. (Fusible por String)

El fusible de corriente continua (CC) en un sistema fotovoltaico se utiliza para proteger cada cadena o string de paneles solares frente a sobrecorrientes ocasionadas por fallas o cortocircuitos. Su función es interrumpir el flujo de corriente cuando esta supera el valor nominal permitido, evitando daños en los módulos, el cableado y el inversor. La capacidad del fusible se calcula a partir de la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del panel. (Ver Anexo Tabla A.6)

Donde se considera 1.56 por el producto de los factores:

- 1.25 considerando mayor producción de los paneles
- 1.25 Sobredimensionando la protección por seguridad.

$$\text{Corriente por String: } I_{m.p \text{ string}} = 17.2 * 1.56 = 26.82 \text{ A}$$

Main Switch Principal.

Para dimensionar correctamente la protección del sistema eléctrico con una potencia de 443 kW/h día y una alimentación de 380 V. (Ver Anexo Tabla A.7)

$$P_{prom.} = \frac{443 \text{ KW}}{380 \text{ V}} = 18.46 \text{ kW}$$

Calculando la corriente de línea.

$$I_l = \frac{18.46 \text{ kW}}{\sqrt{3} (240) * 0.85} = 52.24 \text{ A}$$

Tomando en consideración el factor de carga continua del 25 %, la corriente es:

$$I_{Ac} = 52.24 \text{ A} * 25\% = 65.3 \text{ A}$$

6.4 Implementación de automatización

El sistema automatizado integra sensores, controladores y actuadores para gestionar de forma eficiente los equipos eléctricos. Mediante la adquisición de datos y la lógica de control programable, permite optimizar el consumo energético, automatizar procesos y garantizar la operación segura de los dispositivos.

6.4.1 Criterios de operación de climatización

La climatización en entornos como las bibliotecas universitarias cumple un rol fundamental en la creación de condiciones ambientales que favorezcan tanto la conservación del material bibliográfico como el confort térmico de los usuarios especialmente el de los estudiantes. Sin embargo, los sistemas de climatización tradicionales al funcionar de manera continua o bajo control manual, suelen provocar un consumo energético excesivo.

En la biblioteca de la Universidad Nacional de Ingeniería – Recinto Universitario Simón Bolívar (UNI-RUSB), el sistema de climatización ha operado tradicionalmente de forma manual,

lo cual ha derivado en periodos prolongados de funcionamiento innecesario, especialmente durante condiciones climáticas de temperaturas bajas o cuando los espacios permanecen vacíos. Esta situación representa un consumo energético ineficiente, lo que representa un desgaste prematuro de los equipos.

Ante esta problemática, se propone la automatización del sistema de climatización que realice las siguientes operaciones:

Control Por horario programado

La biblioteca Esman Marín tiene un horario de atención establecidos para sus usuarios en los turnos matutino y verpertino. El turno matutino comprende generalmente desde las **8:00 a.m.** hasta las **12: 00 p.m.** mientras que el turno verpertino se extiende de **1:00 p.m.** hasta la **6:00 p.m.**

La gestión del funcionamiento del sistema de climatización se organiza en función de los horarios de atención establecidos. Esta programación permite optimizar el uso energético activando los equipos durante los periodos en los que se registre afluencia de usuarios.

Control mediante sensores de temperatura.

El control del sistema de climatización tiene como propósito mantener las condiciones ambientales dentro de los niveles adecuado que garanticen el confort térmico, activando o desactivando el aire acondicionado según las lecturas de temperatura.

Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). La temperatura recomendada para garantizar el confort térmico y la eficiencia energética en interiores: En

Invierno (durante el día) entre 21°C y 23°C, en verano mantener el ambiente interior entre 25°C y 26°C evitando diferencias a 12°C respecto al exterior para prevenir golpes de calor.

Por esta razón, con el objetivo de garantizar condiciones de confort adecuadas en el espacio, se han definido los siguientes parámetros de control:

Tabla 6
Parámetros de operación de la lógica de programación

Parámetros de control	Descripción
Control Manual	Garantizar que los usuarios puedan intervenir directamente sobre los Aires Acondicionados
Encendido Semanal	El sistema debe incluir la funcionalidad de encendido y apagado programado de Aires Acondicionado basada en un temporizador semanal integrado en el PLC
Periodos excepcionales	Fines de semana, días feriados y días festivos
SETPOINT de temperatura	Valor de referencia de temperatura que se define en el sistema de control para determinar cuándo un equipo (por ejemplo, el aire acondicionado) debe encenderse o apagarse.

6.4.2 Álgebra Booleana y Tabla de la verdad de climatización

Variables de entrada

- ✓ **I1** – Encendido manual
- ✓ **I2** – Apagado manual
- ✓ **ES** = Encendido Sem. (temporizador semanal)
- ✓ **NTA** = Nivel de Temperatura de Activación (señal = 1 cuando la temperatura está por debajo del umbral de activación)

- ✓ **NTD** = Nivel de Temperatura de Desactivación (señal = 0 cuando la temperatura está por encima del umbral de desactivación)

Numero de combinaciones

Dado que hay 5 variables de entradas, por lo que la tabla tendrá $2^5 = 32$ combinaciones.

Tabla 7

Tabla de la verdad de Climatización

I1	I2	ES	NTA	NTD	Q1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0

I1	I2	ES	NTA	NTD	Q1
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0

Algebra Booleana

$$Q1 = [I1 + (ES * NTA)] * \bar{I2} + \overline{NTD}$$

6.4.3 Criterios de operación de iluminación

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y el confort de los usuarios, se implementará un sistema automatizado de iluminación en la biblioteca, se realizará la programación del encendido y apagado de las luces según horarios de uso mediante un controlador lógico programable (PLC) garantizando que el sistema opere de forma autónoma.

Según IDAE y las normas lumínicas aplicadas en centros docentes, basadas en la NBR5413, el nivel recomendado de iluminancia para salas de lectura en bibliotecas es de 500 lux.

Por lo cual, el sistema realizará las siguientes operaciones:

Control por horario programado

Se implementará un control basado en horarios programados, que permitirá definir franjas específicas de operación para cada subsistema, optimizando el uso de energía conforme a los horarios de actividad de la biblioteca.

Control mediante sensores de Luminosidad

Mediante sensores LDR de luminosidad, el sistema realizará un monitoreo continuo de los niveles de iluminación ambiental en cada zona. Las señales analógicas generadas por los sensores se procesan en el controlador lógico programable, permitiendo que, al cumplirse los umbrales configurados, se active automáticamente el encendido de las luminarias. Esta estrategia de control garantiza un uso eficiente de la energía, ajustando la iluminación de acuerdo con las condiciones reales del entorno y optimizando el rendimiento del sistema.

Para ello se definieron los siguientes parámetros de control:

Tabla 8

Parámetros de control de la lógica de programación

Parámetros de control	Descripción
Control Manual	Garantizar que los usuarios puedan intervenir directamente sobre la iluminación.
Encendido Semanal	El sistema incorpora la funcionalidad de control programado de la iluminación mediante un temporizador semanal, permitiendo el encendido y apagado automático según horarios definidos para cada zona.
Periodos excepcionales	Fines de semana, días feriados y días festivos
Nivel de luz Ambiental	La iluminancia es la cantidad de luz disponible en un espacio, medida en lux (lx), y constituye el parámetro de referencia que permite al sistema automatizado determinar el encendido o apagado de la iluminación en función de las condiciones de luz ambiental.
Histéresis	Banda de tolerancia para evitar que el sistema se encienda y se apague constantemente

6.4.4 Algebra Booleana y Tabla de la verdad de iluminación

Variables de entrada

- ✓ **I3** = Encendido manual
- ✓ **I4** = Apagado manual
- ✓ **ES** = Encendido Sem. (temporizador semanal)
- ✓ **NLA** = Nivel de luz Activación (señal = 1 cuando la luz ambiental está por **debajo** del umbral de activación)
- ✓ **NLD** = Nivel de luz Desactivación (señal = 0 cuando la luz ambiental está por **encima** del umbral de desactivación)

Tabla 9

Tabla de la verdad de iluminación

I3	I4	ES	NLA	NLD	Q2
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	0	1	0

I3	I4	ES	NLA	NLD	Q2
1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0

Para comprobar el comportamiento de la ecuación, se elaboró una tabla de verdad con todas las combinaciones posibles de las cinco variables de entrada. En total, se presentan 32 combinaciones ($2^5 = 32$), donde se observa que la salida Q2 adopta el valor lógico alto únicamente cuando se cumple alguna de las condiciones descritas anteriormente de la verdad

Algebra booleana

$$Q4 = [I3 + (ES * NLA)] * \bar{I4} + \overline{NLD}$$

6.4.5 Tipo de arquitectura del programa

El presente proyecto se empleará un sistema centralizado debido a que se requiere un control unificado de los sistemas eléctricos automatizados en la biblioteca, como la iluminación y la climatización. Este enfoque permite gestionar todos los dispositivos desde un único punto de control según el área, optimizando el uso de los recursos, facilitando el mantenimiento técnico y mejorando la eficiencia energética del sistema.

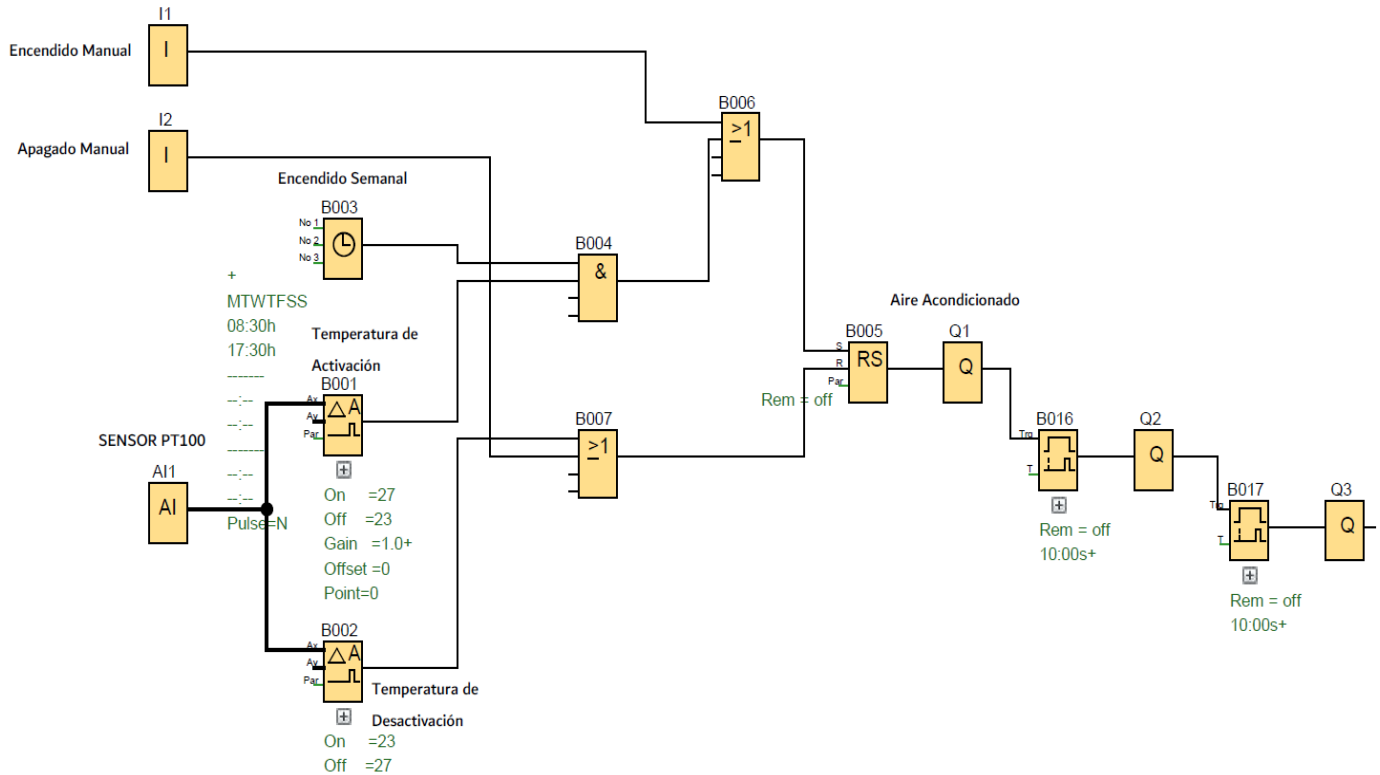
Los sistemas centralizados son ideales cuando se necesita una visión integral del proceso y una coordinación estrecha entre múltiples subsistemas, ya que permiten una programación más sencilla y un monitoreo más eficiente. (Programmable Logic Controllers, 6th Edition).

6.4.6 Programación del sistema de PLC LOGO!

Una vez establecidas las condiciones de operación y definido el algoritmo de control, se procede a desarrollar la programación interna del PLC utilizando el lenguaje **FBD (Function Block Diagram)**. Este enfoque gráfico permite representar la lógica de control mediante bloques funcionales interconectados, facilitando la implementación de las condiciones de encendido manual, automático y de desactivación por temperatura, garantizando que el sistema cumpla de manera rigurosa con los criterios y especificaciones previamente establecidos descripción del software de control de Climatización.

La programación se basa en el uso del autómatas programable Siemens LOGO 12/24 RCE, complementado por el módulo analógico de expansión AM2 RTD, permitiendo así la integración de señales provenientes del sensor de temperatura.

Figura 5
Programación sistema automatizado de climatización
Fuente: Elaboración Propia



Variables del entorno

Se utiliza un sensor de temperatura tipo PT100 de 3 hilos, el cual detecta la temperatura ambiente. Este tipo de sensor no entrega directamente una señal de voltaje ni de corriente; en su lugar, varía su resistencia eléctrica en función de la temperatura (aproximadamente $0,385 \Omega/^{\circ}\text{C}$). Para procesar correctamente esta señal resistiva, se incorpora el módulo de expansión Siemens LOGO! AM2 RTD, diseñado específicamente para sensores RTD como el PT100.

Este módulo lee directamente la resistencia del sensor mediante un puente de medida interno, compensando automáticamente la resistencia de los cables gracias a la conexión de tres hilos. Posteriormente, el AM2 RTD convierte el valor resistivo en una señal analógica

estandarizada e interpretable por el PLC LOGO!, presentándola como una variable analógica en las entradas AI1.

Lógica de control

La programación en LOGO! Soft Comfort se basa en una estructura de bloques que combinan comparadores analógicos, lógica digital, temporizadores y relés autoenclavadores para lograr un control eficiente de la climatización. La secuencia de operación es la siguiente:

El valor de temperatura detectado por el sensor PT100 se representa como una señal analógica en la entrada AI1. Se utiliza un comparador analógico (bloque B001) que evalúa si $AI1 \geq 27\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicando que la temperatura ambiente ha superado el umbral definido para activar la climatización. En caso afirmativo, la salida del bloque pasa a estado lógico alto ("1").

Un temporizador semanal (bloque B003) define los días y horarios permitidos para la activación del sistema. Solo durante estas franjas horarias la salida del temporizador se mantiene en estado alto, impidiendo el funcionamiento fuera de ese periodo.

Las salidas del comparador B001 y del temporizador B003 se conectan a una compuerta AND (bloque B004). Esta solo emite una señal de activación cuando ambas condiciones se cumplen simultáneamente.

La salida de la compuerta AND activa un relé autoenclavador (bloque B005), el cual mantiene su estado activado incluso si la condición de activación desaparece momentáneamente, garantizando la continuidad de funcionamiento hasta que se produzca una señal de apagado.

El relé controla la salida digital Q1, la cual energiza la bobina de un contactor encargado de conectar el aire acondicionado a la red eléctrica, evitando que el PLC controle directamente la carga inductiva.

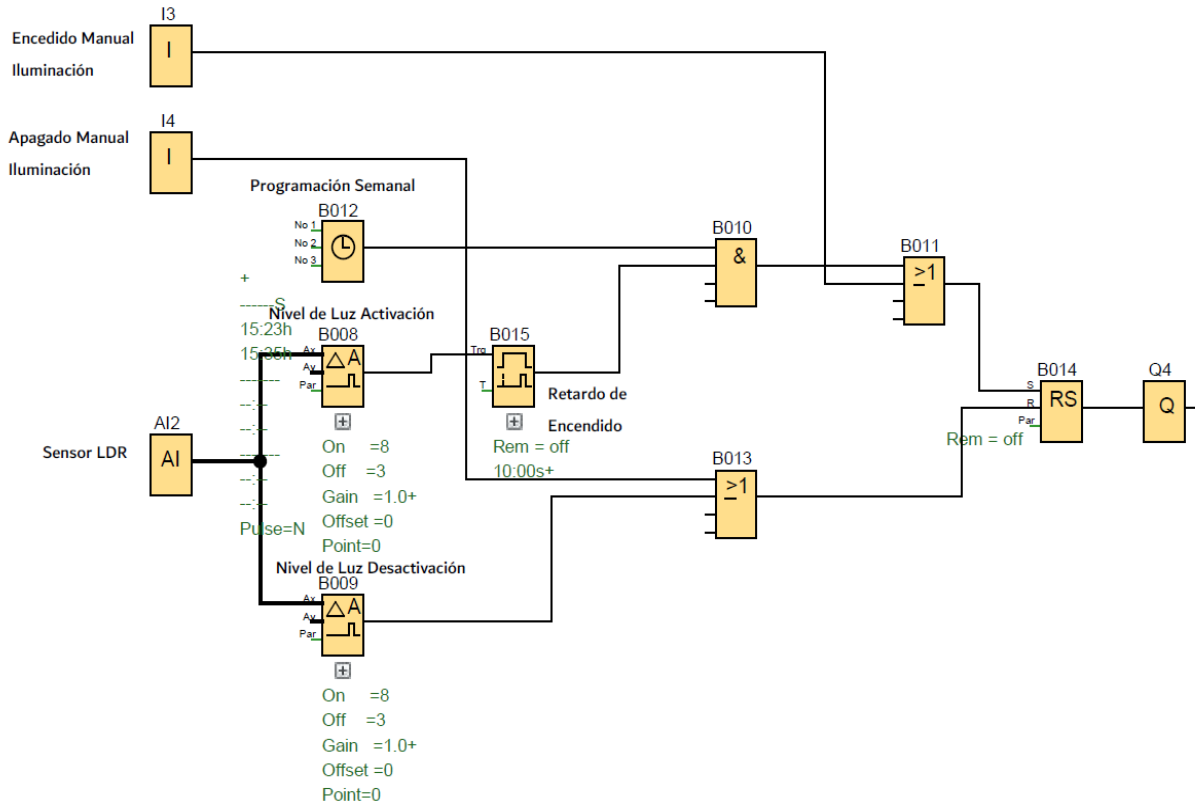
Condición de apagado

Se utiliza un segundo comparador analógico (bloque B002) configurado para detectar cuando la temperatura desciende a 25 °C o menos ($AI1 \leq 23$). Cuando esta condición se cumple, su salida se activa (estado lógico alto).

La salida del comparador B002 se conecta a una compuerta OR (bloque B006), junto con una señal proveniente de un pulsador de apagado manual. Esto permite la desactivación del sistema tanto automática como manualmente.

La salida de la compuerta OR se conecta a la entrada de reset del bloque B005 (relé autoenclavador), desactivando el enclavamiento y, por ende, apagando la salida Q1, lo cual provoca la desenergización del contactor y la detención del sistema de climatización.

Figura 6
Programación del sistema automatizado de iluminación
Fuente: Elaboración Propia



Variables del entorno

La programación del sistema de control de iluminación se basa en la utilización de un sensor LDR (Light Dependent Resistor), modelo GL5528, diseñado para detectar los niveles de luminosidad del entorno. Este sensor se conecta mediante un divisor de voltaje a una de las entradas analógicas del PLC LOGO!, específicamente la entrada AI2. Esta configuración permite al LOGO! realizar una lectura continua en tiempo real del nivel de iluminación ambiental, sin necesidad de módulos de expansión adicionales.

El sensor LDR se incorpora en un divisor de voltaje resistivo, el cual convierte las variaciones de su resistencia dependientes del nivel de iluminación en una señal de voltaje

proporcional. Esta señal es aplicada directamente a la entrada analógica del LOGO!, la cual admite un rango de operación de 0 a 10 V.

Para calcular el valor de la resistencia fija se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$V_o = V_s * \frac{R_{LDR}}{R_{Fija} + R_{LDR}} \rightarrow R_{Fija} = R_{LDR} * \frac{V_s}{V_o}$$

Según la ficha técnica, en oscuridad (alrededor de 10 lux) la resistencia varía entre 8 kΩ y 20 kΩ, por lo que para fines prácticos se utilizará un valor promedio dentro de este rango para GL5528.

- ✓ Con 100 lux (Oscuridad): $V_s = 8V$
- ✓ Con 300 o 500 lux (Luz ambiente): $V_s = 3V$

Por lo tanto, se realiza el siguiente calculo:

$$R_{Fija} = R_{LDR} * \frac{V_o}{V_s} \rightarrow R_{Fija} = 10 \text{ k}\Omega * \frac{24 \text{ V}}{8 \text{ V}} = 20 \text{ k}\Omega$$

Lógica de control

La programación utiliza bloques de comparación analógica, lógica combinacional, y relé autoenclavador para asegurar la operación estable y evitar oscilaciones en la activación de la iluminación.

Se implementan dos bloques comparadores analógicos que establecen los umbrales de encendido y apagado. El sensor LDR GL5528 está conectado a la entrada analógica AI2 del LOGO!, la cual proporciona una señal de voltaje proporcional al nivel de iluminación. Esta señal se evalúa mediante dos comparadores. El bloque B008 compara el valor de AI2 con una

referencia de 8 V, que corresponde a un nivel de iluminación aproximado de 100 lux. Cuando AI2 alcanza o supera este valor, se interpreta como una condición de oscuridad, (Nublado) activando la salida del comparador.

Al igual que en el sistema de climatización, se utiliza un temporizador semanal para limitar la operación de la iluminación a periodos predeterminados. La señal del temporizador es lógica (1 en horario de operación y 0 fuera de este), y se combina con la salida del comparador de encendido mediante una compuerta AND.

De esta manera, la iluminación solo se activará si se cumplen dos condiciones: la detección de oscuridad mediante el comparador y el horario programado. A la salida del comparador de encendido se conecta un temporizador con retardo a la conexión, lo que permite compensar pequeñas fluctuaciones en la señal del sensor (histéresis) y evita el encendido intermitente de las luminarias. Una vez que la compuerta AND confirma que ambas condiciones se mantienen durante el tiempo establecido, su salida activa el relé auto enclavador. Este relé mantiene la iluminación encendida incluso si la señal de entrada varía momentáneamente. La salida estable del relé controla la salida digital (Q2), que a su vez acciona el contactor encargado de energizar las luminarias.

Condición de apagado

Para la desactivación del sistema de iluminación, se emplea un segundo comparador analógico (bloque B009), configurado para detectar valores bajos de iluminación artificial. Este bloque monitorea la señal de AI2 (proveniente del divisor de voltaje con el LDR) y activa su salida cuando $AI2 \leq 4.0$ V, lo cual representa una condición de luz ambiental suficiente.

La salida del comparador se conecta a una compuerta OR (bloque B013), que también recibe una segunda señal proveniente de un pulsador manual de apagado. Esto permite que la iluminación pueda ser desactivada tanto automáticamente (por exceso de luz) como manualmente por el usuario.

La salida de la compuerta OR se utiliza como señal de reset del relé autoenclavador, provocando la desactivación de la salida Q2. Como resultado, el contactor de iluminación se desenergiza, y las luminarias se apagan de forma segura y controlada.

6.4.7 Dispositivos eléctricos y electrónicos integrados en el sistema

Los componentes electromecánicos y de control que integran el sistema de automatización, representado en el diagrama de control (Ver Anexo Figura A.15) y potencia (Ver Anexo Figura A.16) , han sido seleccionado en función de criterios de rendimiento operativo y compatibilidad técnica con el controlador lógico programable.

6.4.8 Dispositivos del sistema de control

Interruptor Termomagnético

Se ha seleccionado un interruptor termomagnético bipolar curva C de 6 A para la protección de la fuente de alimentación LOGO!Power (modelo 6EP3332-6SB00-0AY0). La elección de un interruptor bipolar responde a la necesidad de garantizar una desconexión simultánea de fase y neutro, proporcionando un aislamiento completo del equipo frente a trabajos de mantenimiento y evitando riesgos asociados a una posible inversión de polaridad o presencia de neutros flotantes.

Adicionalmente, su curva de disparo tipo C permite soportar el elevado corriente de irrupción (inrush current) característico de la fuente sin generar disparos intempestivos, al mismo tiempo que asegura una respuesta rápida y confiable ante sobrecargas o cortocircuitos. (Ver Anexo Tabla A8)

Fuente de alimentación:

La incorporación de una fuente de alimentación en el sistema responde a la necesidad de proporcionar al controlador lógico programable Siemens LOGO! un suministro eléctrico estable y adecuado a sus requerimientos operativos. Dado que el LOGO! utilizado en este proyecto

opera con una tensión de entrada específica de corriente continua (24 V DC), la fuente convierte la tensión alterna de la red eléctrica a dicho valor. (Ver Anexo Tabla A.9)

PLC LOGO!

El modelo Siemens LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA2 se selecciona por su alimentación de 24 V DC, sus 8 entradas digitales (4 configurables como analógicas) y 4 salidas a relé, lo que lo hace ideal para pequeños sistemas de automatización como control de iluminación, ventilación o climatización. (Ver Anexo Tabla A.10)

- **Modulo AM2 RTD**

El módulo AM2 RTD se selecciona para ampliar la capacidad del controlador LOGO! en la medición de temperatura mediante sensores de resistencia (Pt100). Su integración permite obtener señales analógicas precisas y linealizadas, necesarias para controlar el procedimiento térmico. (Ver Anexo Tabla A.11)

Sensor de temperatura PT100

El sensor **PT100** se utiliza por su alta linealidad y precisión en la medición de temperatura, estabilidad a largo plazo y compatibilidad con entradas analógicas de control. Su resistencia de platino varía de manera predecible con la temperatura, permitiendo integración directa con módulos como el AM2 RTD del LOGO!, garantizando mediciones confiables y control preciso de procesos térmicos. (Ver Anexo Tabla A.12)

Sensor de luminosidad GL5528

Para el control automático de iluminación según la luz ambiental se emplean LDRs de CdS, cuya sensibilidad máxima coincide con la luz solar visible. El GL5528 se destaca por su

respuesta fotoconductor lineal y rápida: su resistencia disminuye de manera predecible al aumentar la intensidad lumínica, generando una señal analógica compatible con las entradas del LOGO!, lo que permite un control preciso de la iluminación. (Ver Anexo Tabla A.13)

6.4.9 Dispositivos del sistema de potencia

Interruptor Diferencial

Para la protección del circuito que alimenta 3 aires acondicionados de 155 W cada uno y 33 luminarias de 40 W, se seleccionó un interruptor diferencial residual (RCD), siguiendo criterios de seguridad, normativas eléctricas y dimensionamiento de cargas.

El interruptor diferencial asegura que cualquier fuga de corriente hacia tierra superior a 30 mA provocará la desconexión inmediata del circuito, reduciendo el riesgo de electrocución. La corriente nominal de 16 A es suficiente para soportar la demanda total del circuito sin disparos falsos. Esta selección cumple con las **normas IEC 61008**, garantizando seguridad eléctrica y confiabilidad del sistema. (Ver Anexo Tabla A.14)

Contactor

El contactor es un dispositivo electromagnético utilizado para la maniobra y control del aire acondicionado, permitiendo la conexión y desconexión segura de la carga eléctrica de 155 W alimentada a 220 V. Su integración en el sistema automatizado posibilita que el controlador lógico programe y supervise el funcionamiento del equipo de climatización, garantizando una operación confiable, protección de los componentes y una mayor vida útil del sistema. (Ver Anexo Tabla A.15)

Considerando el aire acondicionado FOGEL:

$$I_n = \frac{155 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 0.65 \text{ A}$$

Relé térmico

El relé térmico es un dispositivo de protección de motores y cargas inductivas que protege contra sobrecorriente prolongada causada por sobrecarga, fallas mecánicas o arranques excesivos. (Ver Anexo Tabla A.16)

$$I_n = \frac{155 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 0.65 \text{ A}$$

6.5 Evaluación del desempeño energético mensual

6.5.1 Comparación entre el sistema convencional manual y el sistema automatizado

La evaluación del consumo energético mensual constituye un paso fundamental para analizar la eficiencia de los sistemas de iluminación y climatización en la biblioteca. En este apartado, se comparará el desempeño de un sistema convencional, basado en controles manuales, con un sistema automatizado, que utiliza sensores y programación lógica para optimizar el uso de la energía. Este análisis permitirá identificar los ahorros potenciales, la reducción de la demanda energética y la efectividad de las estrategias de automatización implementadas, proporcionando una base cuantitativa para justificar la adopción de tecnologías más eficientes.

Según estudio realizado por el instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE), el ahorro de energía en un edificio con sistemas automatizados alcanzaría:

- Ahorro en sistema de iluminación aproximadamente un 15 %, en base a parámetros de control como programación horaria, y monitoreo de los niveles de iluminación tomando en cuenta la luz natural.
- Ahorro en el sistema de climatización del 40 %, en base a programación horaria y encendido escalonado, adicionalmente el monitoreo de la temperatura ambiente.

Tomando como referencia los resultados obtenidos del primer objetivo, se analizaron los datos calculados a partir del censo de carga. De este análisis se obtuvo la suma total de las cargas clasificada como críticas y no críticas, determinándose un consumo energético mensual de 120,924.5 kWh/Mes. Posteriormente en el marco del tercer objetivo enfocado en la implementación de un sistema automatizado mediante un PLC-LOGO, y considerando los datos proporcionados por la IDAE asociado a la reducción de energía en los sistemas de iluminación y climatización se procedió a realizar los cálculos correspondientes para estimar el impacto energético del sistema propuesto.

Tomando como referencia el consumo mensual del sistema convencional en operación, se efectuó el análisis energético incorporando una reducción del 40 % en climatización y del 15 % en iluminación. Los resultados obtenidos representan la proyección del desempeño energético tras la implementación del sistema automatizado.

La comparación de ambos escenarios evidencia una reducción significativa en el consumo energético mensual, lo que demuestra la efectividad del sistema automatizado propuesto. (Ver Anexo Figura A.17

Tabla 10

Resumen comparativo de indicadores energéticos

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO ENERGÉTICO MENSUAL					
MES	CARGAS CRÍTICAS (kWh)	REDUCCIÓN DE C.C (kWh)	CARGAS NO CRÍTICAS (kWh)	REDUCCIÓN DE C.N.C (kWh)	CARGA TOTAL kWh/MES
ENERO	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
FEBRERO	5068	3040.8	7336	6235.6	9,276.40
MARZO	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
ABRIL	5430	3258	7860	6681	9,939.00
MAYO	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
JUNIO	5430	3258	7860	6681	9,939.00
JULIO	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
AGOSTO	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
SEPTIEMBRE	5430	3258	7860	6681	9,939.00
OCTUBRE	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
NOVIEMBRE	5430	3258	7860	6681	9,939.00
DICIEMBRE	5611	3366.6	8122	6903.7	10,270.30
TOTAL	66,065	39,639.00	95,630.00	81,285.50	120,924.50

Las cargas críticas corresponden a los componentes del sistema eléctrico con mayor demanda energética, siendo el sistema de climatización el principal factor. se elaboró el gráfico comparativo del consumo energético mensual, diferenciando entre las cargas críticas en el sistema convencional y en el sistema automatizado, considerando un ahorro estimado del 40 % mediante la implementación de estrategias de control automatizado.

Las cargas no críticas, que incluyen equipos auxiliares y luminarias, representan un menor consumo energético. Su gestión automatizada permite optimizar el uso de energía y reducir desperdicios, logrando un ahorro estimado del 15 % en comparación con el sistema convencional.

6.5.2 Generación de energía del sistema fotovoltaico.

En el marco del segundo objetivo desarrollado, enfocado en el dimensionamiento del sistema híbrido fotovoltaico el cual cubre la demanda energética se realizó el cálculo considerando parámetros clave como; la cantidad de paneles solares, la irradiación solar por día, la potencia por panel, y los factores de pérdidas del sistema.

Utilizando el programa **PVGIS24**, se obtuvo la irradiación solar mensual, a partir de estos datos se calculó la irradiación diaria mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{kWh/m^2 \cdot dia} = \frac{\text{Irradiacion por mes}}{\text{Dias del mes.}}$$

Para el mes de enero se realizó el siguiente calculo:

$$\mathbf{kWh/m^2 \cdot dia} = \frac{\text{Irradiacion por mes}}{\text{Dias del mes.}} = \frac{195.23}{31} = \mathbf{6.30 kWh/m^2 \cdot dia}$$

Una vez determinada la irradiación diaria y considerando los 120 paneles de 670 watts cada panel tomado del dimensionamiento del sistema, así mismo se toma en cuenta la sumatorias de pérdidas del 15%, se procede a realizar el cálculo de la energía generada mensual por el sistema híbrido fotovoltaico. (Ver Anexo Tabla A.18)

$$\mathbf{kW/ Mes} = \frac{(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{Mes})(0.85)(120)(670)(31)}{1000} = \frac{13342018.2}{1000} = \mathbf{13,342.02 kWh/m^2 \cdot mes}$$

6.6 Análisis técnico comparativo entre la generación y el consumo energético.

Comparación entre la energía generada por el sistema híbrido fotovoltaico y el consumo del edificio. Una vez determinada la potencia generada por el arreglo fotovoltaico, se realiza la comparación con la energía mensual demandada del edificio, incorporando los ajustes del sistema automatizado. Este análisis permite validar que la generación proyectada es suficiente para cubrir la demanda energética del sistema y evaluar la eficiencia de la integración entre generación y consumo.

Tabla 11

Potencia Generada por el sistema híbrido Fotovoltaico y potencia consumida

ANÁLISIS COMPARATIVO, ENTRE LA POTENCIA GENERADA Y POTENCIA CONSUMIDA.		
MES	POTENCIA GENERADA kW/MES	POTENCIA CONSUMIDA kW/MES
ENERO	13,342.02	10,270.30
FEBRERO	12,819.90	9,276.40
MARZO	14,572.14	10,270.30
ABRIL	13,311.27	9,939.00
MAYO	11,399.80	10,270.30
JUNIO	10,020.69	9,939.00
JULIO	11,091.58	10,270.30
AGOSTO	11,475.65	10,270.30
SEPTIEMBRE	11,147.62	9,939.00
OCTUBRE	10,620.72	10,270.30
NOVIEMBRE	11,399.80	9,939.00
DICIEMBRE	12,772.75	10,270.30
TOTAL	143,973.93	120,924.50

La relación entre la potencia generada por el sistema híbrido fotovoltaico y la potencia demandada por las cargas del sistema. Se observa cómo la generación solar varía a lo largo de

los meses en función de la irradiación disponible, mientras que la potencia demandada se mantiene relativamente constante debido a los consumos habituales del sistema automatizado.

(Ver Anexo Figura A.19)

Esta representación permite evidenciar que, en la mayoría de los meses la potencia generada por los paneles solares es suficiente para satisfacer la demanda energética demostrando la viabilidad técnica del sistema propuesto.

6.7 Selección del controlador de Transferencia automática (ATS), para el sistema Híbrido.

La selección del ATS apropiado para el sistema híbrido de la Biblioteca Esman Marín se basa en un conjunto de criterios técnicos, normativos y operativos que garantizan la continuidad del suministro eléctrico hacia las cargas. El dispositivo elegido, modelo ABB OXB400E3S2QB, cumple con los requisitos eléctricos y funcionales del sistema. A continuación, se describen los criterios considerados en la selección del equipo:

Capacidad de Corriente Nominal (I_n).

El criterio principal es que el ATS soporte la corriente máxima del sistema bajo condiciones nominales y de sobrecarga.

A partir de la potencia total del sistema híbrido:

$$P_{total} = 68,185 \text{ W} \approx 68.2 \text{ kW}$$

Corriente trifásica por fase:

$$I_L = \frac{P_T}{\sqrt{3} * V_{L-L}} = \frac{68.2 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 240 \text{ V}} = 164 \text{ A}$$

Siguiendo las recomendaciones de diseño, se aplica un **factor de seguridad del 125 %**:

$$I_L = 164 \text{ A} * 1.25 = 205 \text{ A}$$

Por tanto, se selecciona un ATS con corriente nominal igual o superior a 205 A.

El ABB OXB400E3S2QB posee una capacidad de 400 A, cumpliendo holgadamente este criterio y permitiendo futuras expansiones del sistema.

Tipo de Conexión Eléctrica (Trifásico, 3P3W en Delta 240 V)

El sistema eléctrico de la biblioteca opera en una configuración:

- **Trifásica Delta-Delta (3P3W)**
- **240 V Entre fases de la red secundaria.**

El ATS seleccionado debe ser compatible con este esquema de distribución. El ABB OXB400E3S2QB está diseñado para operar en configuraciones 3 polos, 3 hilos (3P3W), sin neutro, lo que garantiza su correcta integración. (Ver Anexo Tabla A.19)

6.7.1 Tipo de Transferencia: Automática con Conmutación Segura.

El sistema híbrido requiere un mecanismo que decida de forma autónoma la fuente de alimentación según condiciones operativas del inversor, batería y red. Por ello, se seleccionó un ATS que soporta:

- Transferencia automática sin intervención humana
- Detección disponible de Fuentes.
- Cambio rápido sin interrupciones perceptibles para cargas críticas

- Aptitud para señales externas (contacto seco)

El ABB OXB400E3S2QB integra motores de conmutación y lógica interna que permiten un tiempo de transferencia típico inferior a 300 ms.

6.7.2 Compatibilidad con Señalización de Contacto Seco (Dry Contact).

Uno de los criterios determinantes en la selección del interruptor de transferencia automática (ATS) fue su capacidad para operar mediante señalización por contacto seco, ya que el inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1 utiliza salidas de relé libres de potencial para comunicar su estado operativo al sistema externo.

Este tipo de señalización consiste en un simple cambio de estado físico apertura o cierre sin que el inversor entregue tensión eléctrica. De esta manera, el ATS interpreta la disponibilidad o indisponibilidad de la fuente renovable (FV + batería) sin necesidad de niveles de voltaje específicos, asegurando una integración directa, segura y universal.

Para garantizar una operación coordinada entre el inversor y el ATS, este último debía cumplir con tres requisitos técnicos fundamentales:

• Entradas digitales aptas para contactos libres de potencia:

El ATS seleccionado tiene que ser capaz de leer directamente señales tipo NO/NC provenientes de un relé auxiliar. Esto es indispensable, ya que el inversor Huawei únicamente “abre” o “cierra” el contacto, sin proporcionar voltaje de control. El ATS ABB OXB400E3S2QB incorpora entradas específicas para este tipo de señalización, lo que permite una comunicación totalmente compatible.

- **Capacidad de interpretar señales NO/NC con aislamiento**

Dado que las salidas del inversor pueden configurarse como contacto Normalmente Abierto (NO) o Normalmente Cerrado (NC) según la estrategia de operación, el ATS debe reconocer cualquiera de estas configuraciones sin afectar la lógica de transferencia.

El ATS ABB dispone de aislamiento interno que evita que cualquier interferencia o retorno eléctrico afecte al inversor, garantizando seguridad y confiabilidad en la operación.

- **Lógica interna programable para actuar en función de la señal.**

El inversor envía señales como:

- Disponibilidad de energía renovable
- Estado de operación del sistema FV
- Nivel mínimo de estado de carga (SOC) de la batería
- Condición de falla o indisponibilidad

Por lo tanto, el ATS seleccionado ajusta la transferencia automática únicamente cuando la señal del inversor indique condiciones adecuadas para sostener las cargas críticas.

6.7.3 Capacidad de Transferir entre Dos Fuentes con Prioridad Definida.

El interruptor de transferencia automática (ATS) seleccionado garantiza un cambio seguro y continuo entre dos fuentes de alimentación:

1. Fuente renovable (Inversor + Batería LUNA2000)
2. Red eléctrica comercial

Para este proyecto, se establece una prioridad de operación claramente definida, en la cual la energía renovable es la fuente principal y la red comercial actúa como respaldo. Esta

prioridad es fundamental para maximizar el aprovechamiento de la generación solar y del almacenamiento, reducir el consumo de la red y garantizar un suministro ininterrumpido a las cargas críticas de la biblioteca.

La capacidad del ATS para actuar en función de esta prioridad es un criterio esencial de selección y responde a las siguientes consideraciones:

- **Operación Basada en la Disponibilidad de Energía Renovable**

El inversor Huawei SUN2000-15KTL-M1, en conjunto con la batería LUNA2000, determina continuamente si la fuente renovable es capaz de alimentar la demanda energética del edificio.

- a) La irradiación solar es suficiente.
- b) El estado de carga (SOC) de la batería se encuentra por encima del umbral configurado.

El inversor cierra el contacto seco, enviando al ATS una señal que indica:

“Fuente renovable disponible → mantener prioridad en SFV + batería.”

El ATS debe mantener el sistema conectado a la fuente renovable mientras esta señal continúe activa.

6.7.4 Activación de la ATS, la fuente renovable no puede cubrir la demanda.

Si la fuente renovable deja de ser suficiente para alimentar las cargas (ya sea por baja irradiación, SOC bajo o falla del inversor), la señal enviada al ATS cambia de estado (se abre el contacto seco).

El ATS, reconoce este cambio y ejecuta la transferencia hacia la red comercial de forma que:

1. Automática
2. Estable, sin rebotes de contacto
3. Dentro de los tiempos permitidos para evitar interrupción perceptible en las cargas críticas
4. Bajo condiciones seguras, evitando paralelismo no permitido entre las fuentes

De esta manera, se asegura que las cargas no experimenten caídas de tensión, ni reinicios de equipos.

6.7.5 Restablecimiento de Prioridad al Recuperarse la Fuente Principal.

Cuando la generación solar se restablece y la batería recupera su nivel mínimo de operación, el inversor vuelve a cerrar el contacto seco.

El ATS debe detectar nuevamente la disponibilidad de la fuente renovable y realizar una transferencia inversa (retorno automático a la fuente principal) cumpliendo:

1. Tiempo de verificación de estabilidad de la fuente
2. Lógica anti-retroceso (evitar transferencias repetitivas)
3. Condiciones de seguridad para la maniobra

Esto garantiza que el sistema siempre opere bajo la lógica de “retorno automático a la fuente prioritaria”, optimizando el uso de energía renovable.

6.7.6 Lógica de Prioridad Integrada en el Control Interno del ATS.

El ATS ABB OXB400E3S2QB incorpora un controlador electrónico interno que permite configurar:

1. Fuente preferida (Renewable Priority / Utility Priority)

2. Tiempo de verificación de disponibilidad de cada fuente
3. Retardo de transferencia para evitar oscilaciones
4. Condiciones específicas para retorno a la fuente principal
5. Protección contra transferencia no sincronizada

Esta lógica garantiza una operación segura, eficiente y confiable en la gestión automática del suministro eléctrico, optimizando la continuidad del servicio y la integración de las fuentes variables del sistema de generación fotovoltaico.

6.8 Análisis Financiero.

La estimación de la inversión inicial resulta indispensable para asegurar la correcta planificación y evaluación económica del proyecto. Este paso permite identificar con precisión todos los costos asociados a la implementación del sistema fotovoltaico y del sistema automatizado, considerando equipos, materiales, mano de obra, infraestructura y servicios técnicos necesarios. Al cuantificar estos elementos de forma estructurada y verificable, se garantiza que el análisis financiero se base en datos reales y evita subvaloraciones que puedan comprometer la viabilidad del proyecto durante su ejecución.

Por lo tanto, resulta necesario avanzar al primer paso del análisis financiero, en el cual se procede a calcular de manera detallada los costos correspondientes al sistema automatizado y al sistema fotovoltaico. Este proceso permite establecer con precisión la inversión inicial requerida para la implementación integral del proyecto.

Tabla 12

Componentes principales del sistema hibrido fotovoltaico y el sistema automatizado.

NO.	DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNIT (USD)	TOTAL (USD)
SISTEMA FOTOVOLTAICO				
1	MÓDULO FOTOVOLTAICO PEIMAR 670 W (OR12H670)	120	\$ 180.00	\$ 21,600.00
2	INVERSOR SUN200-15KTL-M1	6	\$ 3,800.00	\$ 22,800.00
3	MÓDULO DE BATERÍA LUNA200 -15W-CO	12	\$ 3,500.00	\$ 42,000.00
4	SENSOR DE POTENCIA INTELIGENTE (DTSU666-H)	1	\$ 400.00	\$ 400.00
5	KIT DE ESTRUCTURAS INTEGRADA PARA SFV	120	\$ 35.00	\$ 4,200.00
6	DISYUNTOR DE CAJA MOLDEADA SERIE (ED2).	6	\$ 50.00	\$ 300.00
7	FUSIBLE SRD.30 (CONEXIÓN DE INTERRUPCIÓN FUSIBLE)	12	\$ 58.00	\$ 696.00
SISTEMA AUTOMATIZADO				
1	FUENTE DE ALIMENTACION, 6EP332-6SB00-0AYO	4	\$ 60.00	\$ 240.00
2	PLC LOGO! 6ED1052-1MD08-0BA2	4	\$ 170.00	\$ 680.00
3	MODULO RTD 6ED1055-1MD00-0BA2	4	\$ 160.00	\$ 640.00
4	MODULO DE EXPANSIÓN PARA CONTROLADOR PLC LOGO	2	\$ 104.00	\$ 208.00
5	MODULO AMD	1	\$ 90.00	\$ 90.00
6	SENSOR PT100 TD0030	6	\$ 13.00	\$ 78.00
7	SENSOR ILUMINOCIDAD GL5528 (GL55)	5	\$ 7.00	\$ 35.00
8	INTERRUPTOR DIFERENCIAL RCD	2	\$ 7.56	\$ 15.12
9	RELÉ TÉRMICO HYUNDAI HGT18	14	\$ 31.43	\$ 440.02
10	CONTACTOR (3-5 A)	14	\$ 25.00	\$ 350.00
11	TRANSFORMADOR DE CONTROL 480-120/240	2	\$ 245.19	\$ 490.38
	MANO DE OBRA DE INSTALACIÓN		\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
TOTAL DE INVERSIÓN			\$ 20,936.18	\$ 107,262.52

El cálculo de los costos operativos anuales constituye un elemento fundamental dentro del análisis financiero, ya que permite estimar los gastos recurrentes asociados al funcionamiento, mantenimiento y supervisión del sistema fotovoltaico y del sistema automatizado. Estos costos incluyen actividades como limpieza y revisión periódica de los paneles solares, mantenimiento preventivo y correctivo de los módulos electrónicos, inspección

de sensores, reemplazo de componentes con vida útil limitada y cualquier otro servicio técnico necesario para garantizar la continuidad y eficiencia del sistema.

Tabla 13

Tipos de mantenimiento del sistema híbrido fotovoltaico y el sistema automatizado

NO.	DESCRIPCIÓN	COSTO	SISTEMA
1	MANTENIMIENTO PREVENTIVO FV	\$ 500.00	FV
2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO SISTEMA AUTOMATIZADO	\$ 150.00	AUTOMATIZACIÓN
TOTAL		\$ 650.00	

6.8.1 Flujos de caja proyectado

Una vez obtenida la energía generada por los paneles solares, este valor se multiplica por la tarifa eléctrica vigente para determinar el ahorro económico anual.

Para la determinación del costo energético en la biblioteca se consideró la aplicación del pliego tarifario de demanda máxima correspondiente a la tarifa general menor T-1A. (Ver Anexo Figura A.20)

Aunque la energía generada por el sistema híbrido no es destinada a la venta, su cuantificación es fundamental, ya que representa un ahorro económico al sustituir energía que de otro modo sería adquirida de la red eléctrica. Por tanto, los kWh generados constituyen ingresos indirectos en forma de costos evitados, los cuales son considerados dentro del flujo de caja para el análisis financiero del proyecto.

Ahorro por reducción en facturación eléctrica

A continuación, se muestra el valor indicado que representa el ahorro energético obtenido al comparar el consumo entre un sistema convencional y un sistema automatizado, esta

diferencia refleja la optimización en el uso de recursos energéticos que se logra mediante la automatización.

El sistema automatizado genera ahorro energético al optimizar el uso de los equipos eléctricos mediante control por sensores y programación horaria. La reducción del consumo innecesario se traduce en una disminución directa del gasto eléctrico, constituyendo un beneficio económico cuantificable dentro del análisis financiero del proyecto.

La proyección de ahorros y flujos de caja constituye un paso esencial dentro del análisis financiero del proyecto, ya que permite estimar el beneficio económico que generarán el sistema fotovoltaico y el sistema automatizado a lo largo de su vida útil. Esta etapa implica proyectar de manera anual los ahorros obtenidos por la reducción del consumo eléctrico y la optimización de los sistemas automatizados, así como considerar los costos operativos y de mantenimiento asociados. Al elaborar estas proyecciones, se obtiene una visión cuantitativa del rendimiento económico del proyecto, lo que facilita la planificación financiera, la toma de decisiones informadas y la evaluación de la viabilidad a largo plazo. Además, estas proyecciones sirven como base para el cálculo de indicadores financieros clave, como el Valor Actual Neto (VAN) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

Tabla 14

Flujo neto de la proyección financiera

AÑO	AHORRO FV (C\$)	AHORRO AUTOMAT(C\$)	AHORRO TOTAL (C\$)	MTTO (C\$)	FLUJO NETO
1	C\$ 941,387.93	C\$ 266,581.99	C\$ 1,207,969.92	C\$ 650.00	C\$ 1,207,319.92
2	C\$ 931,785.77	C\$ 274,579.45	C\$ 1,206,365.22	C\$ 650.00	C\$ 1,205,715.22
3	C\$ 931,785.77	C\$ 274,579.45	C\$ 1,206,365.22	C\$ 650.00	C\$ 1,205,715.22
4	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
5	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
6	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
7	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33

AÑO	AHORRO FV (C\$)	AHORRO AUTOMAT(C\$)	AHORRO TOTAL (C\$)	MTTO (C\$)	FLUJO NETO
8	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
9	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
10	C\$ 921,807.06	C\$ 277,245.27	C\$ 1,199,052.33	C\$ 650.00	C\$ 1,198,402.33
11	C\$ 930,844.38	C\$ 282,576.91	C\$ 1,213,421.29	C\$ 650.00	C\$ 1,212,771.29
12	C\$ 930,844.38	C\$ 282,576.91	C\$ 1,213,421.29	C\$ 650.00	C\$ 1,212,771.29
13	C\$ 930,844.38	C\$ 282,576.91	C\$ 1,213,421.29	C\$ 650.00	C\$ 1,212,771.29
14	C\$ 930,844.38	C\$ 282,576.91	C\$ 1,213,421.29	C\$ 650.00	C\$ 1,212,771.29
15	C\$ 930,844.38	C\$ 282,576.91	C\$ 1,213,421.29	C\$ 650.00	C\$ 1,212,771.29

Ingresos y beneficios del proyecto

Los ingresos del proyecto no se generan mediante la venta directa de energía, sino a través de los ahorros económicos obtenidos por la reducción del consumo eléctrico proveniente de la red. La energía generada por el sistema fotovoltaico disminuye la demanda facturada por la distribuidora, lo que se traduce en una reducción anual en el costo de electricidad de la institución.

Adicionalmente, la implementación del sistema de automatización contribuye a optimizar el uso de la energía al gestionar de manera eficiente la iluminación y climatización, evitando consumos innecesarios fuera de los horarios establecidos o cuando las condiciones ambientales no lo requieren. Esto incrementa el nivel de ahorro energético y, por tanto, el beneficio económico total del proyecto. (Ver Anexo Tabla A.20)

Como beneficio complementario, el sistema podría generar ingresos indirectos mediante la realización de cursos de capacitación, talleres técnicos o alianzas estratégicas con empresas del sector eléctrico, fortaleciendo la sostenibilidad financiera del proyecto en el largo plazo.

En este contexto es necesario definir la fuente de financiamiento del proyecto. El financiamiento del proyecto se plantea mediante capital institucional, considerando que la inversión

inicial puede ser asumida por la universidad como parte de su presupuesto de infraestructura y mejora energética.

También se puede acceder a fondos gubernamentales o programas de apoyo a energías renovables en una fase de implementación real. Existen programas de apoyo a energías renovables promovidos por el Ministerio de Energía y Minas y líneas de cooperación internacional como las gestionadas por el BID y el BCIE, orientadas a proyectos de eficiencia energética y sostenibilidad.

6.8.2 Indicadores Financieros

Este análisis financiero permite evaluar la eficiencia de la inversión total y estimar la rentabilidad del proyecto a lo largo de su vida útil. Para ello, se emplean indicadores financieros clave como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI), los cuales permiten medir la generación de valor y la recuperación del capital invertido.

En este contexto, se adoptó una tasa de interés fija del 12%, seleccionada bajo un enfoque conservador al representar el costo de oportunidad del capital e incorporar una prima de riesgo asociada a factores técnicos, operativos y macroeconómicos. De esta manera, el proyecto se evalúa bajo criterios prudentes y financieramente sustentados. El 12 % Se fundamenta en referencias de mercado, considerando tasas activas promedio, inflación y sostenibilidad financiera del país. Además, en evaluación de proyectos energéticos se suele trabajar con tasas entre 10% y 15% para incorporar incertidumbre técnica y variaciones económicas.

6.8.3 Valor Actual Neto (VAN).

El Valor Actual Neto (VAN) es un método financiero que permite saber si una inversión es rentable. Esta métrica indica cuánto valen hoy los flujos de dinero futuros que generará un proyecto, descontando el coste inicial del capital.

En otras palabras, el VAN traduce todos los ingresos y gastos futuros de un proyecto al valor que tendrían en la actualidad. Si ese valor es positivo, significa que la inversión generará beneficios por encima del coste de inversión. Si es negativo, indica que perderías dinero.

Se calcula, con la siguiente ecuación.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde:

- F_t ; Flujo de caja en un periodo
- r ; Tipo de interés
- t ; Año o periodo
- I ; Inversión inicial
- n ; Número de periodos considerado

Datos del proyecto

- Flujo anual (ahorro total): C\$ 1,207,970.92
- Inversión inicial: C\$ 3,928,414
- Tasa de intereses fija: 12% (0.12)
- Vida útil: 20 años, sistemas fotovoltaicos según estándares técnicos

Calculando el paso a paso:

Elevar la Tasa de Interés:

$$(1 + r)^N = (1 + 0.12)^{20} = (1.12)^{20} = 9.646$$

Invertir el resultado:

$$(1.12)^{20} = \frac{1}{9.646} \approx 0.1036$$

Restar:

$$1 - 0.1036 = 0.8964$$

Dividir la Tasa

$$\frac{0.8964}{0.12} = 7.47$$

Multiplicar por el Flujo Anual:

$$1,207,970.92 * 7.47 = 9,021,557$$

Restar Inversión Final:

$$9,021,557 - 3,928,414 = \text{C\$ } 5,093,143$$

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido es positivo y asciende aproximadamente a C\$ 5,093,143, lo cual indica que, al descontar los flujos de ahorro futuros a una tasa del 12%, el proyecto no solo recupera la inversión inicial, sino que además genera un excedente económico significativo durante su vida útil. Este resultado demuestra que la propuesta es financieramente viable y que la rentabilidad esperada supera el costo de oportunidad del capital considerado. En consecuencia, desde el punto de vista económico, la implementación del sistema fotovoltaico

complementado con automatización resulta una inversión sólida y conveniente para la institución.

6.8.4 TIR (La tasa de Interés)

Para flujos constantes:

$$0 = -I_0 + F\left(\frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}\right)$$

Sustituimos:

$$3,928,414 = 1,207,970.92 \left(\frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}\right)$$

Primero Dividimos:

$$\frac{3,928,414}{1,207,970.92} = 3.25$$

Entonces:

$$3.25 = \left(\frac{1 - (1 + r)^{-20}}{r}\right)$$

Ahora se busca la tasa que haga que esa expresión sea 3.25

Segundo: Prueba de tasa

$$(1.30)^{-20} \approx 0.005$$

$$\frac{1 - 0.005}{0.30} = 3.32$$

Muy cerca de 3.25

El proyecto genera una rentabilidad anual aproximada del 30%, lo cual es considerablemente superior a la tasa mínima aceptable del 12%, demostrando que la implementación del sistema híbrido y automatizado es económicamente viable y financieramente atractiva.

6.8.5 Periodo de recuperación de la inversión (PIR)

El PRI (Período de Recuperación de la Inversión), también llamado Payback, es un indicador financiero que muestra en cuántos años se recupera la inversión inicial del proyecto a partir de los flujos de caja netos que genera. Es muy útil para entender la liquidez y el riesgo del proyecto.

$$PIR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo de Caja Anual Neto}} = \frac{3,928,414.71}{1,207,319.92} = \mathbf{3.26 \text{ años}}$$

El periodo de recuperación simple de la inversión es de aproximadamente 3.26 años, lo que indica que el capital invertido se recupera antes del cuarto año de operación. Considerando que la vida útil del sistema es de 20 años, el proyecto generará beneficios netos durante aproximadamente 16.76 años adicionales.

VII. Conclusión

La presente monografía permitió realizar un diagnóstico técnico exhaustivo del sistema eléctrico del edificio de la Biblioteca Esman Marín, evaluando el comportamiento de la demanda energética y clasificando las cargas en críticas y no críticas de acuerdo con su nivel de consumo. Esta fase constituyó un punto de partida fundamental para establecer estrategias de optimización energética orientadas a la eficiencia operativa y la seguridad eléctrica del inmueble.

Con base en los resultados del primer objetivo, se dimensionó el sistema híbrido fotovoltaico considerando el censo de carga del edificio y el cálculo de irradiancia solar, asegurando que la generación se ajustara a la demanda real. Se seleccionaron módulos Peimar de 670 W y se definió la configuración de strings junto con los inversores correspondientes, garantizando una conversión eficiente de la energía. Se dimensionaron las protecciones en corriente continua (DC) y corriente alterna (AC) se elaboró el diagrama unifilar, representando de manera clara la disposición y montaje de los dispositivos.

El banco de baterías se dimensionó para proporcionar 7 horas de autonomía, considerando profundidad de descarga, rendimiento del inversor, pérdidas del sistema y ciclos de vida útil, priorizando el suministro a cargas críticas. Para el monitoreo y optimización energética, se integró un Smart Power Sensor, que permite medir en tiempo real variables eléctricas como corriente, voltaje y potencia activa, asegurando un seguimiento preciso del flujo de energía entre paneles, baterías e inversores y contribuyendo a la eficiencia global del sistema.

En el tercer objetivo, correspondiente al desarrollo del sistema automatizado, se establecieron los parámetros de control para los subsistemas de iluminación y climatización, garantizando su operación eficiente y coordinada. Como parte de la estrategia de control, se

implementó un encendido escalonado de los aires acondicionados con el propósito de evitar picos de voltaje y reducir el impacto en la red eléctrica al momento de la puesta en marcha de los equipos. A partir de estos parámetros, se aplicó la lógica de control basada en álgebra booleana, permitiendo programar las secuencias de encendido y apagado de acuerdo con las condiciones establecidas.

La integración de los sensores LDR y PT100 permitió incorporar funciones de respuesta automática ante variaciones de iluminancia y temperatura ambiente, contribuyendo a un uso racional de la energía eléctrica. Asimismo, se efectuó el dimensionamiento de las protecciones eléctricas y la elaboración de los diagramas de control y potencia, asegurando la correcta operación y protección del sistema frente a posibles fallas eléctricas.

Finalmente, el análisis comparativo entre la energía generada por el sistema híbrido fotovoltaico y la energía demandada por las cargas evidenció la viabilidad técnica y energética del proyecto. Los resultados demuestran que la implementación del sistema híbrido con automatización inteligente contribuye significativamente a la reducción del consumo energético, mejora la gestión operativa y promueve el uso eficiente y sostenible de los recursos eléctricos dentro del entorno universitario.

VIII. Recomendaciones.

El diseño e implementación del sistema híbrido fotovoltaico automatizado para la biblioteca Esman Marin ha demostrado ser una solución viable para mejorar la eficiencia energética y asegurar el suministro eléctrico continuo. Las recomendaciones presentadas se fundamentan en los hallazgos obtenidos durante el desarrollo de este estudio, donde se identificaron diversas carencias que pueden ser mejoradas, volviendo el sistema más eficiente y eficaz. A continuación, se detallan las medidas sugeridas:

1. Ejecutar el mantenimiento preventivo y análisis estructural previo en la infraestructura para asegurar condiciones adecuadas para la instalación del sistema híbrido fotovoltaico y sistema de control automatizado, con el fin de verificar la integridad de las instalaciones eléctricas y la capacidad del soporte de las estructuras.
2. Se recomienda implementar una estrategia de autoconsumo priorizando el encendido de las cargas durante los periodos de generación fotovoltaico garantizando el balance entre generación y consumo de forma que la energía consumida sea producida en tiempo real, minimizando el uso de la red eléctrica convencional.
3. Desarrollar programas de capacitación dirigido al personal y usuarios orientados al uso responsable y eficiente de los sistemas, asegurando su correcta operación.
4. El presente estudio se puede desarrollar en diversas áreas del recinto universitario donde exista un elevado consumo de energía en sistemas de climatización y flujo de usuarios.
5. Se recomienda la instalación de un único modelo de sistemas de climatización con tecnología inverter en todas las unidades del edificio.

IX. Bibliografía

- Westcott, J. Gupta, A. Arora S. (2017). Industrial Automation And Robotics.
- Molina, L. (2010). Instalaciones Domóticas.
- Rodríguez, A. (2013). Sistemas SCADA 3a Edición.
- Zapata, M. Topón L, Tipán E. (2021). Fundamentos de Automatización y Redes Industriales.
- Brunete, A. Segundo, P. Herrero, R (2024). Introducción a la Automatización Industrial.
- Siemens AG. (2023). LOGO! Manual Edición 06/2023.
- Cárdenas, L. Flores, M. (2019). Auditoria Eléctrica en los Edificios de Postgrado (UNI-DEPEC), Edificio de la Biblioteca Esmán Marín y Edificio Instituto de Estudios Superiores (IES) Ubicado en el Costado Norte de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Simón Bolívar. Universidad Nacional De Ingeniería.
- Aguirre, A. Gómez, G. (2021). Estudio técnico para la Instalación de un sistema fotovoltaico de autoconsumo en el edificio de posgrado del Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Atiaga, H. Loayza, F. (2021). Diseño de un sistema inmotico robusto usando el PLC LOGO! Con conexión a la nube para oficinas en la ciudad de Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del litoral.
- Domínguez, M. (2015). Análisis de los sistemas híbridos. Universidad Carlos III de Madrid.
- Cueva, A. (2019). Diseño de sistemas híbridos de energías renovables usando algoritmos de optimización.
- Ortiz, R. (2006). El control eléctrico en los sistemas de edificios inteligentes.
- Instituto Nacional de Aprendizaje (2020). Clasificación de los sistemas domóticos desde el punto de vista de su controlabilidad.
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2021, 23 de febrero). *Módulos fotovoltaicos terrestres: calificación de diseño y aprobación de tipo (requisitos de prueba)*. IEC.
<https://webstore.iec.ch/en/publication/68594>

- Comisión Electrotécnica Internacional. (2023, 13 de septiembre). Calificación de seguridad de módulos fotovoltaicos (PV) - Parte 1: Requisitos para la construcción. IEC.
<https://webstore.iec.ch/en/publication/59803>
- Ley para la promoción de generación eléctrica con fuentes renovables No. 532 Gaceta, Diario Oficial N° 102. (2005).
<http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/b92aeea87dac762406257265005d21f7/525593f05f79d1bd062570a100584921?OpenDocument>
- Oriente. (2024). *Ficha técnica OR12H670M, Serie 670 W*.
<https://solar.huawei.com/es/OR12H670M.pdf>
- Huawei. (2024). *Ficha técnica LUNA2000-15-S0*.
<https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/es/datasheet/LUNA2000-5-15-S0.pdf>
- Huawei. (2024). *Ficha técnica SUN2000-15KTL-M1*.
<https://solar.huawei.com//media/Solar/attachment/pdf/apac/datasheet/SUN2000-12-20KTL-M0.pdf>
- Huawei. (2024). *Ficha técnica Sensor de Potencia Inteligente DTSU666-H*.
<https://solar.huawei.com/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolarV4%2Fsolar-version%2FEurope%2Fes%2Fprofessionals%2Fall-products%2Fresidential%2Faccessories%2FDTSU666-H-250A-50mA%2FDTSU666-H-250A-50mA.pdf>
- Inversores HUAWEI paralelos. (2022, agosto 2). Wccsolar.
<https://www.wccsolar.net/inversores-huawei-paralelos/>
- Solar Stack. (2020). *Manual de instalación v.2* [Manual].
<https://solarstack.com/wp-content/uploads/2021/01/SOLAR-STACK-Installation-Manual-v2-2020.pdf>
- Schneider Electric (2025). *Ficha técnica de Interruptor termomagnético Acti9 Ic60n 2P; 16 A*.
<https://www.se.com/es/es/product/A9F79216/interruptor-magnetot%C3%A9rmico-acti9-ic60n-2p-16-a-curva-c-6000-a-10-ka/>

X. Anexo.



Figura A.1: Configuración actual del sistema de iluminación en la sala de lectura.



Figura A.2: Unidad de aire acondicionado marca Fogel instalada en la sala de lectura.



Figura A.3: Centro de carga principal correspondiente a la planta baja de la biblioteca.



Figura A.4 Centro de carga del sistema de climatización de la sala de lectura.



Figura A.5 Centro de carga del sistema de climatización de la sala de lectura.



Figura A.6: Compresor de la unidad de A.A. del área de recepción.



Figura A.8: Banco de transformadores de 3 x 75 kVA

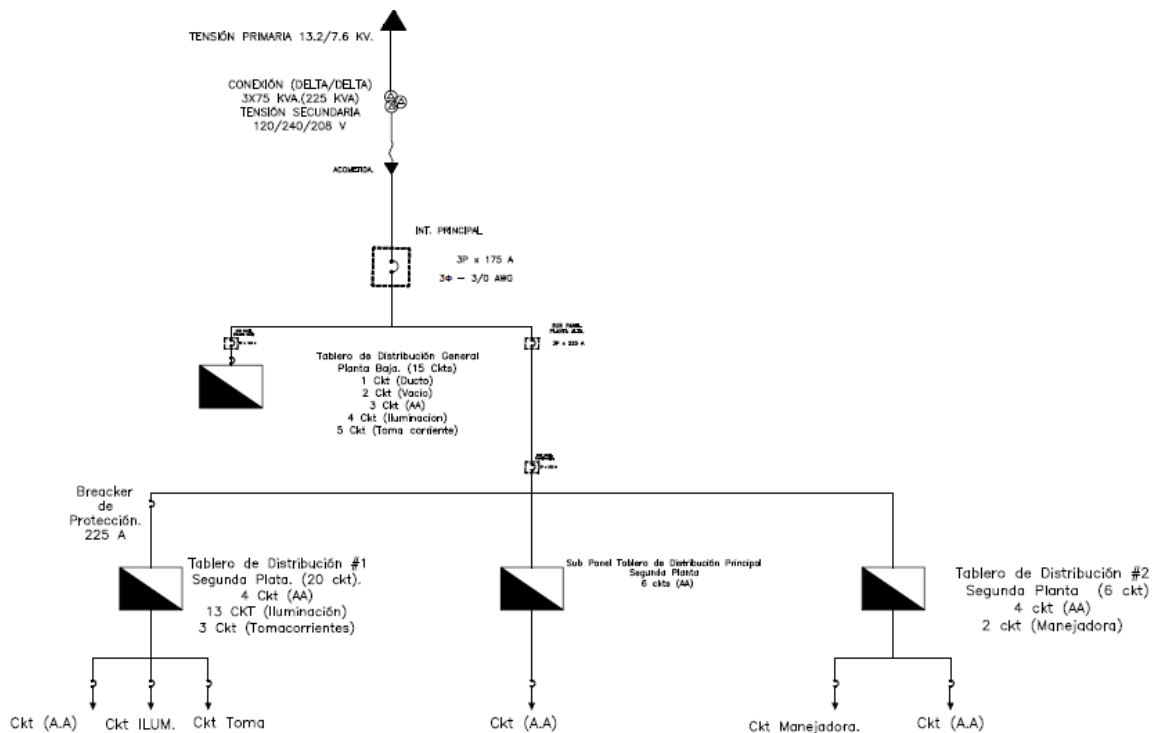


Figura A.7: Diagrama Unifilar del Sistema eléctrico actualmente instalado en el edificio de la biblioteca



Figura A.9: Sistema Interconectado Nacional dispone de 769.6 MW de capacidad instalada en generación renovable



Figura A.10: Principales instalaciones de generación solar fotovoltaica en Nicaragua.

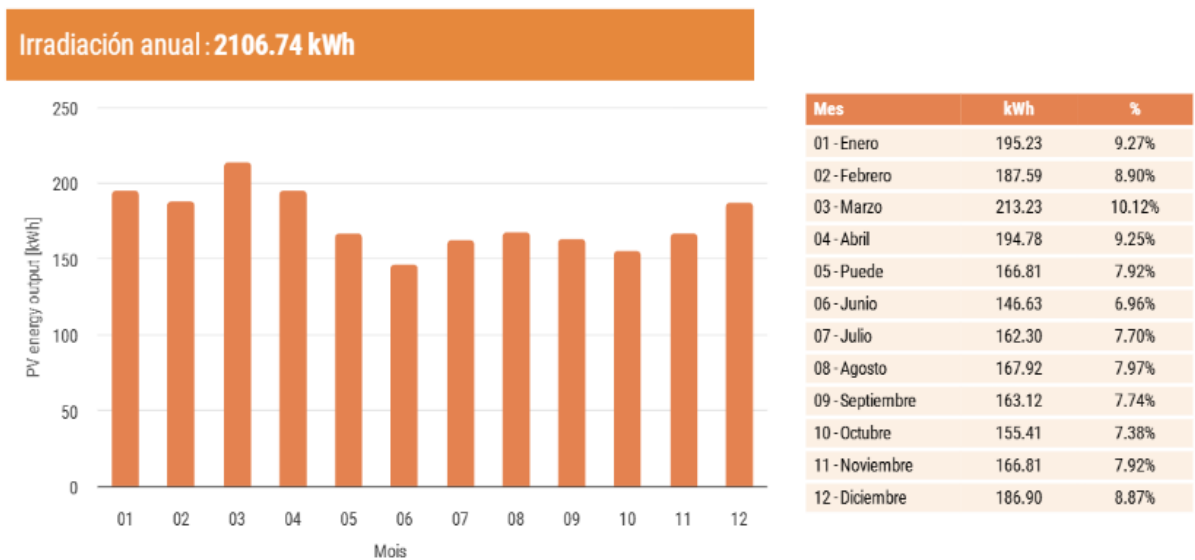


Figura A.11: Irradiación solar mensual en un plano fijo.

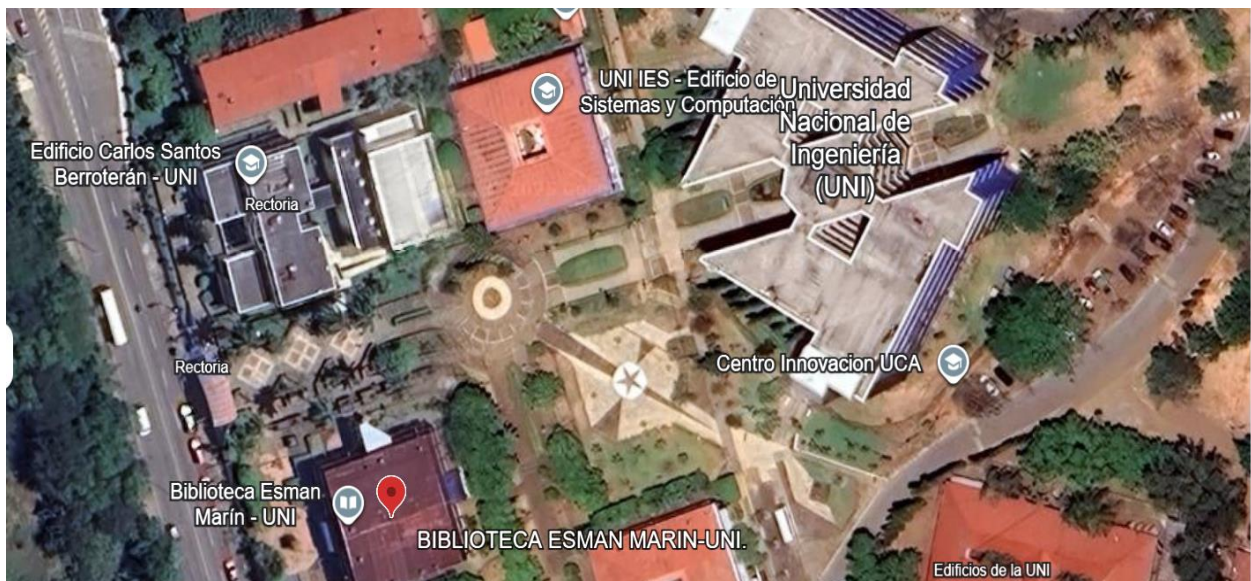


Figura A.12: Localización geográfica del Edificio Biblioteca Esman Marín según Google Earth

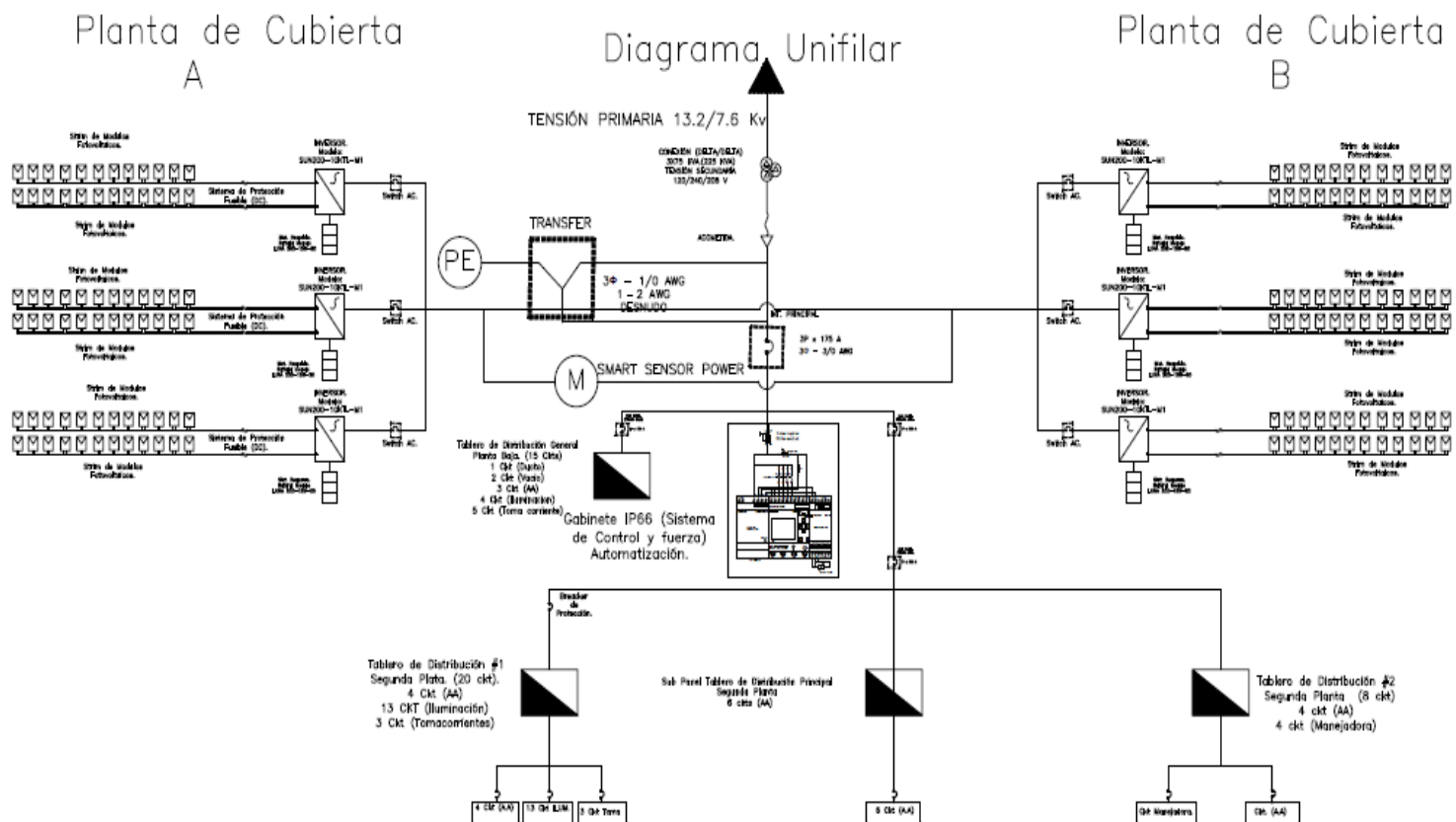


Figura A.13: Diagrama Unifilar del sistema híbrido fotovoltaico y automatizado

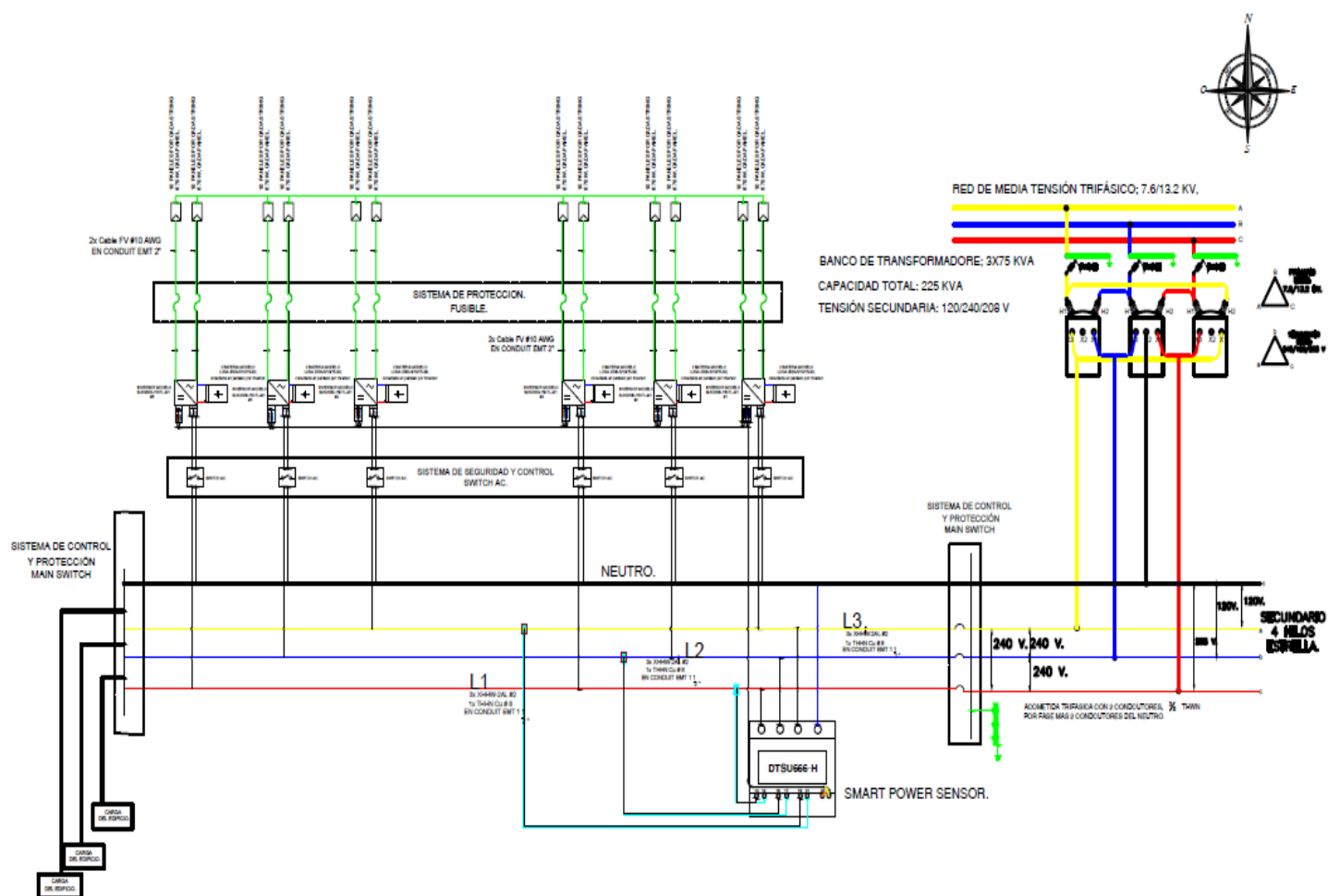


Figura A.14: Diseño del sistema del sistema híbrido fotovoltaico

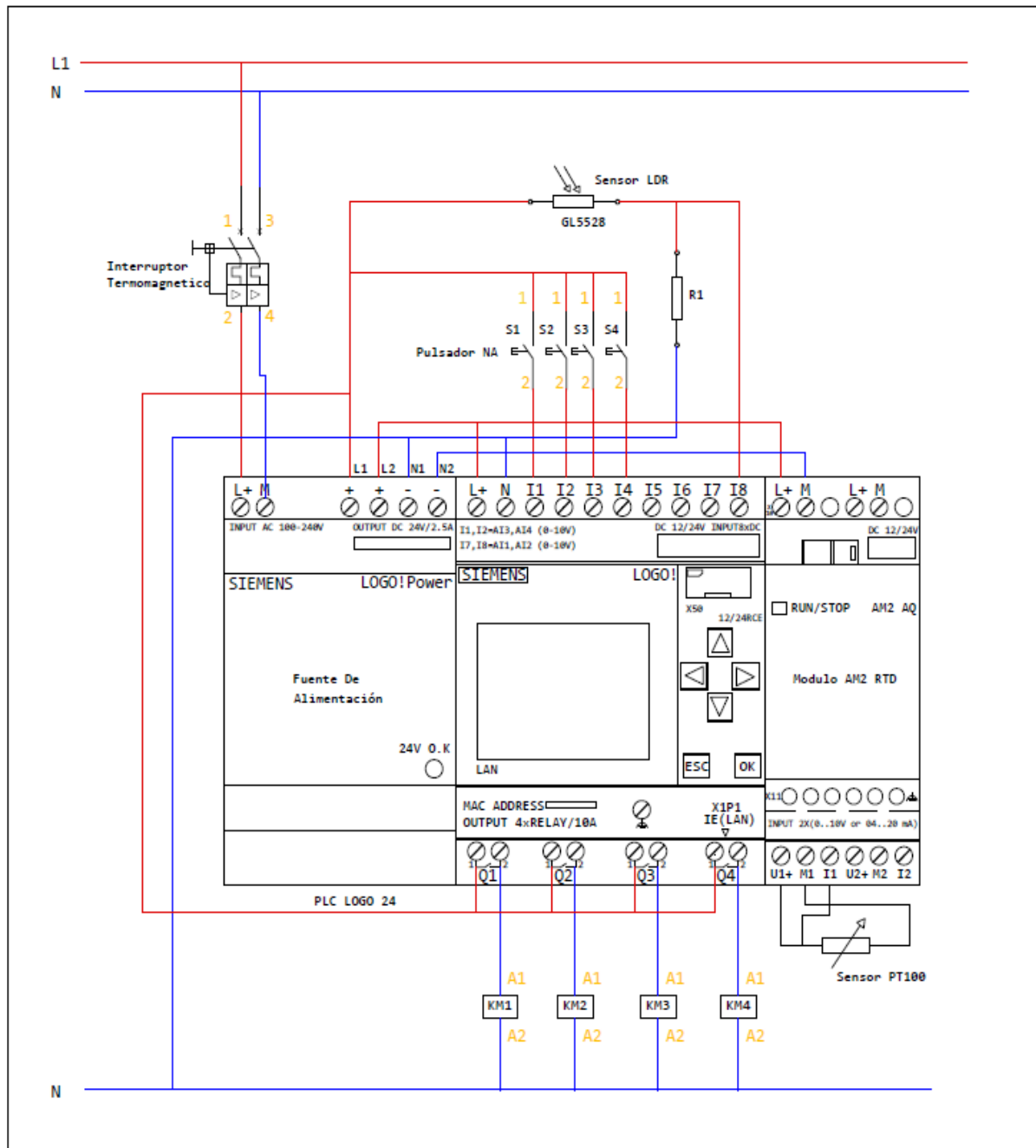


Figura A.15: Diseño del sistema de control

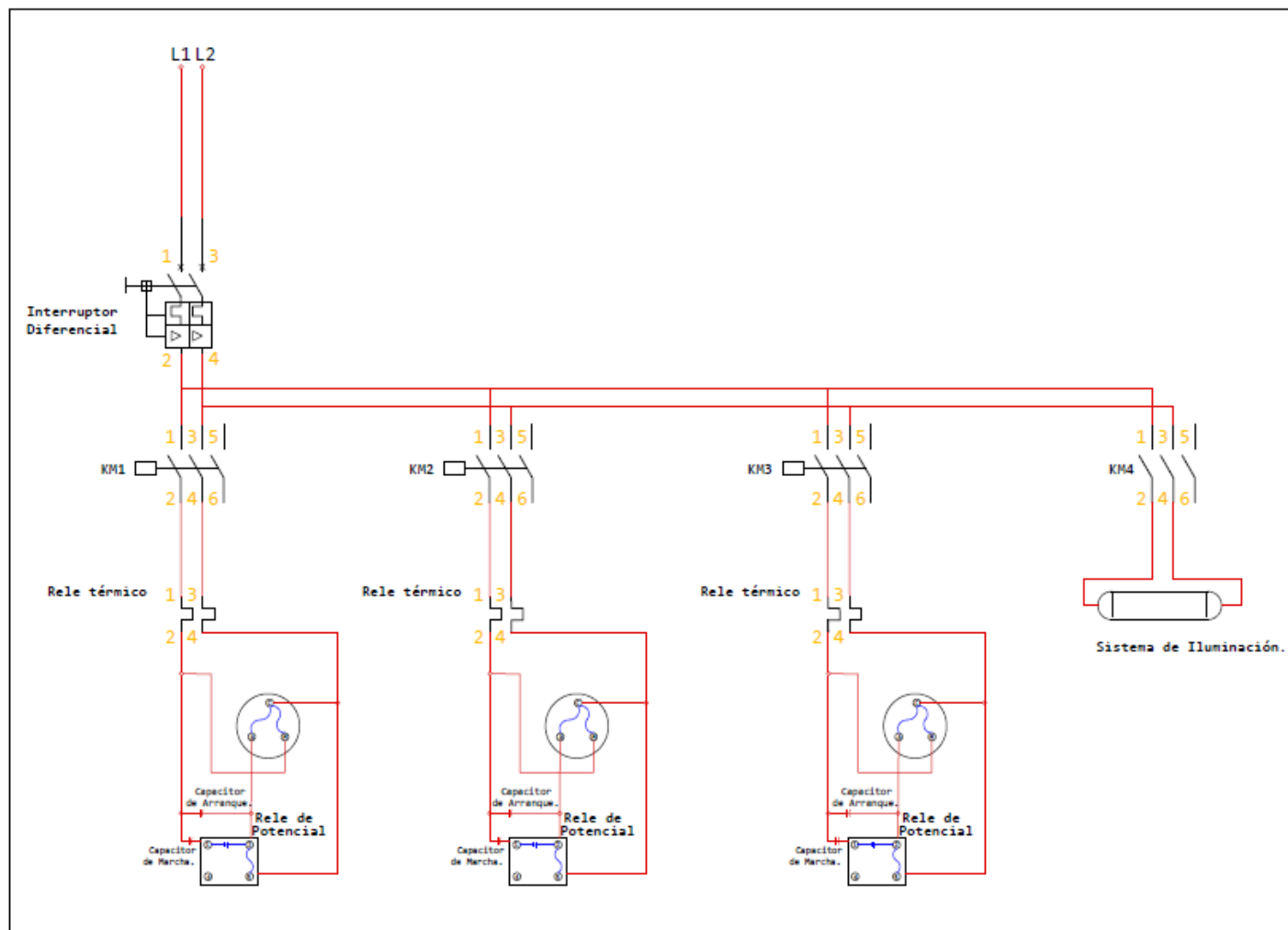


Figura A.16: Diagrama del sistema de potencia

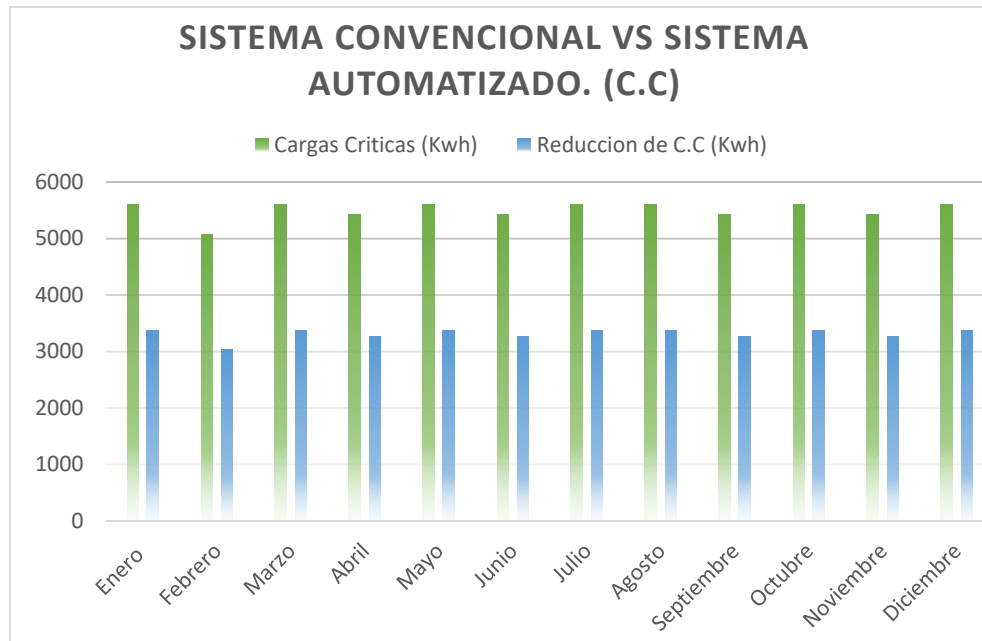


Figura A.17: Comparación del consumo energético mensual de las Cargas Críticas con el sistema automatizado

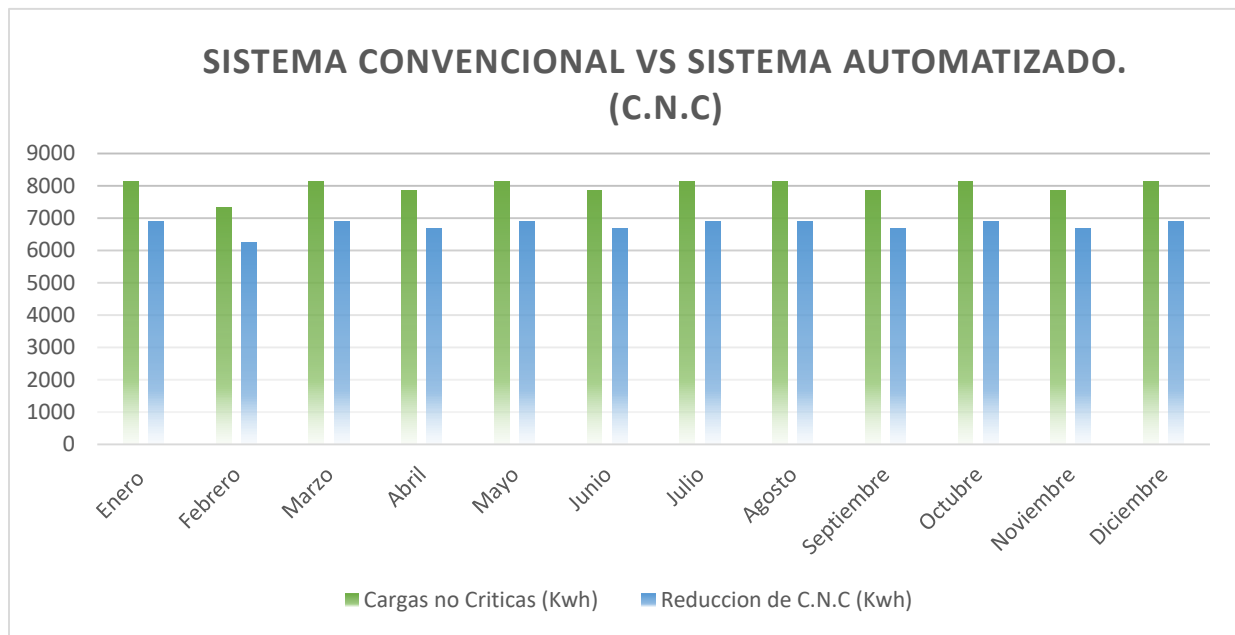


Figura A.18: Comparación del consumo energético mensual de las Cargas No Críticas con el sistema automatizado

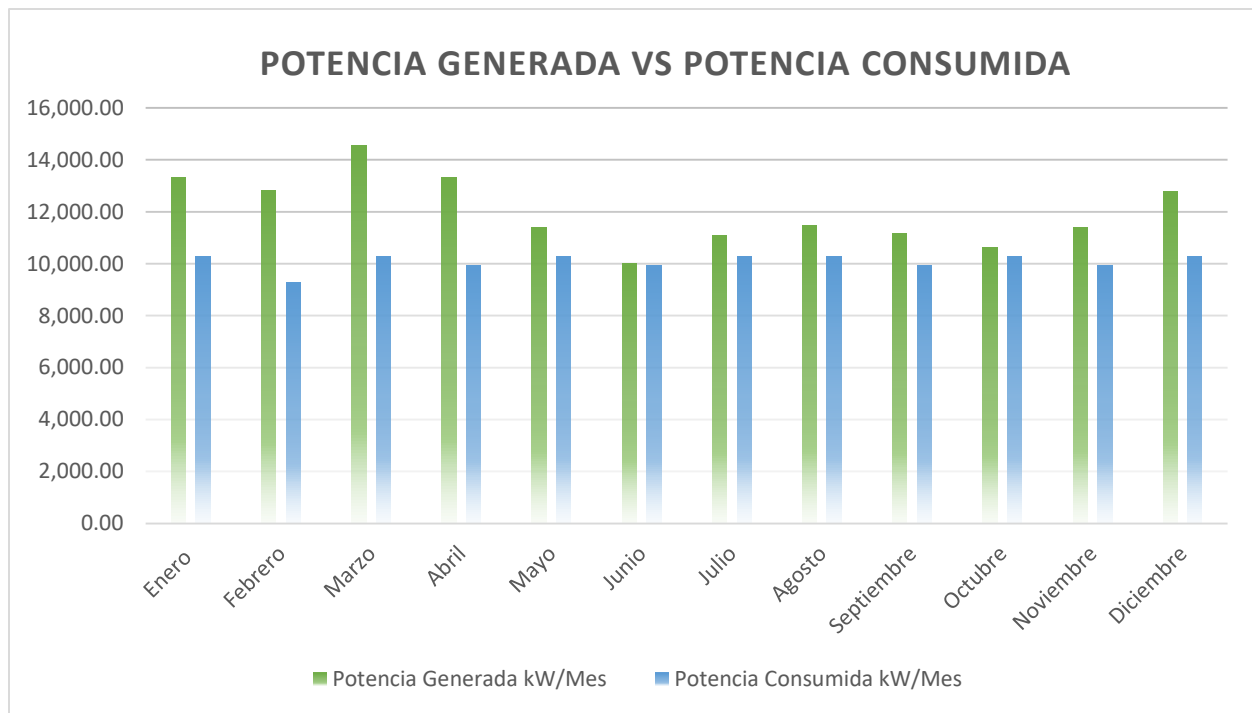


Figura A.19: La energía producida por el sistema híbrido fotovoltaico es suficiente para cubrir la demanda eléctrica total del edificio.



**INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR**

TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE MARZO DE 2025

AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

BAJA TENSIÓN (120,240 y 480 V)					
	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR	
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)
RESIDENCIAL	Exclusivo para uso de casas de habitación urbanas y rurales	T-0	Primeros 25 kWh	2.4807	
			Sigüientes 25 kWh	5.9337	
			Sigüientes 50 kWh	6.2212	
			Sigüientes 50 kWh	8.2693	
			Sigüientes 350 kWh	8.3895	
			Sigüientes 500 kWh	13.3253	
			Adicionales a 1000 kWh	15.1821	
GENERAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Centros de Recreación, etc.)	T-1	TARIFA MONOMIA 0-150 kWh	5.5884	
			> 150 kWh	8.7228	
		T-1A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	6.3231	
			kW de Demanda Máxima		753.4249
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas, Centros de Salud, Hospitales, etc.)	T-2	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	6.5386	
			kW de Demanda Máxima		779.3951
INDUSTRIAL MENOR	Carga contratada hasta 25 kW para uso Industrial (Talleres, fábricas, etc.)	T-3	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	7.6184	
		T-3A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	5.3737	
			kW de Demanda Máxima		715.7456
INDUSTRIAL MEDIANA	Carga contratada mayor de 25 kW y hasta 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-4	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	5.9247	
			kW de Demanda Máxima		706.2486
INDUSTRIAL MAYOR	Carga contratada mayor de 200 kW para uso Industrial (Talleres, Fábricas, etc.)	T-5	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	6.1176	
			kW de Demanda Máxima		673.8580
IRRIGACIÓN	Para irrigación de campos agrícolas	T-6	TARIFA MONOMIA Todos los kWh	6.6900	
		T-6A	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Todos los kWh	4.9115	
			kW de Demanda Máxima		570.5944
		T-6B	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL Verano Punta	6.4234	
			Invierno Punta	6.4234	
			Verano Fuera de Punta	4.7532	
			Invierno Fuera de Punta	4.7532	
			Verano Punta		1,080.1131
			Invierno Punta		1,080.1131
			Verano Fuera de Punta		0.0000
			Invierno Fuera de Punta		0.0000

Figura A.20: Pliego Tarifario Vigente

Tabla A.1. Peimar (2025) ficha técnica del módulo fotovoltaico OR12H670M.

Parámetros	Especificación
Modelo	OR12H670M, Serie 670 W
Potencia nominal. (P_{MAX})	670 W
Voltaje en punto de máxima potencia. (V_{mp})	38.9 V
Corriente en punto de máxima potencia. (I_{mp})	17.2 Amp
Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	46.3 V
Corriente de Corto Circuito. (I_{sc})	18.1 Amp
Eficiencia	22.5 %
Tolerancia de Potencia.	0/+5 W
Dimensión (Largo x Ancho x Alto)	2384 x 1303 x 35 mm
Peso.	33.8 Kg
Tipo de Celda.	Monocrystalino PERC half cell

Tabla A.2. HUAWEI. Ficha técnica del módulo de batería LUNA200 -15W-SO.

Parámetros	Especificación
Módulos de Poder	LUNA2000-15-S0
Módulos de batería	LUNA2000-5-E0 (Máximo 3 unidades)
Numero de módulo de batería.	5 KWh
Capacidad usable en respaldo.	Hasta 5 KWh para cargas criticas (15 KWh máximo)
Descarga recomendada por modulo.	2.5 Kw (7.5 kw máximo)
Descarga pico.	3.5 kw @ 10 segundos
Rango de voltaje en conexión monofásico.	350-560 V
Rango de voltaje en conexión trifásico.	600 – 980 V
Temperatura de operación.	-20°C to +55°C (-4°F to +131°F)
Clasificación IP	IP 66

Tabla A.3. HUAWEI. Ficha técnica del Inversor SUN200-15KTL-M1.

Inversor (Huawei SUN2000-15KTL-M1 trifásico)	
Parámetros	Especificación
Entrada de corriente continua procedente de los paneles solares)	
Potencia fotovoltaica máxima recomendada.	22,500 Wp
Voltaje máximo de entrada.	1,080 V
Rango de voltaje de funcionamiento MPPT.	160-950 V
Voltaje de arranque	200 v
Tensión de Entrada Nominal	600 v
Corriente Máxima de entrada por MPPT	22 Amp
Corriente Máxima de corto circuito	30 Amp
Seguidor de punto de máxima potencia.	2
Número máximo de cadenas o paneles solares que se pueden conectar a cada MPPT del Inversor.	2
Características de salidas eléctricas (AC) que el inversor entrega directamente a la red eléctrica publica (On Grid)	
Conexión a red	Trifásico.
Potencia nominal de salida.	15,000 W
Potencia aparente máxima.	16,500 VA
Tensión de salida nominal.	220 Vac/ 380 Vac, 230 Vac/ 400 Vac, 3W/N+PE
Frecuencia nominal corriente alterna. (AC)	50 Hz / 60 Hz
Corriente máxima de salida.	25.2 Amp
Capacidad del inversor para modificar o controlar el factor de potencia. (f.d.p)	0.8 adelanto hasta 0.8 en atraso.
Distorsión armónico total máximo	$\leq 3 \%$

Tabla A.4. HUAWEI. Ficha técnica del Sensor de Potencia Inteligente (DTSU666-H), conexión y configuración 3P3W/3P4W.

Sensor de Potencia Inteligente (DTSU666-H).	
Parámetros	Especificación
Tipo de montaje (Riel DIN35)	
Peso (Incluyendo Cables)	1.5 kg (3.3 lb)
Fuente de alimentación.	
Tipo de Red eléctrica.	3P3W/3P4W
Voltaje de entrada (Voltaje de Fase)	176 V AC–288 V AC
Rango de medición.	
Voltaje de Línea	304 V AC–499 V AC
Voltaje de Fase	176 V AC–288 V AC
Corriente	0–100 A
Comunicación.	
Interfase	RS485
Tasa de baudios (velocidad que se transmite la señal)	9,600 bps
Protocolo de comunicación.	Modbus-RTU

Tabla A.5. SIEMENS. Ficha técnica del Disyuntor 2P (ED2).

Disyuntor de caja moldeada serie (ED2).	
Parámetros	Especificación
Numero de Polos	2
Fuente de alimentación.	
Clasificación de Voltaje de AC	240 V AC
Tipo de disyuntor	Estándar
Actuador de disyuntor	Alternar
Clasificación AIR Máx.	10 kA a 240 V AC
Tipo de Viaje	Magnético Térmico.
Clasificación de Voltaje de CC	125/250 V CC
Configuración de disparo de alto y bajo amperaje	70 A

Tabla A.6. SUNTREE. Ficha técnica del Fusible SRD.30.

Fusible SRD.30 (Conexión de interrupción Fusible)	
Parámetros	Especificación
tensión de Aislamiento Nominal	1200 V
Voltaje Operativo Nominal	DC110OV
Corriente nominal de funcionamiento.	1A-30 ^a
Voltaje máximo de Impulso	6 kV
Numero de Polos	1P
Corriente de Corto Circuito	30 kA
Clase de Proteccion	IP20

Tabla A.7. SIEMENS. Ficha técnica del Disyuntor (ED2).

Disyuntor de caja moldeada serie (ED2).	
Parámetros	Especificación
Numero de Polos	3
Fuente de alimentación.	
Clasificación de Voltaje de AC	240 V AC
Tipo de disyuntor	Estándar
Actuador de disyuntor	Alternar
Clasificación AIR Máx.	10 kA a 240 V AC
Tipo de Viaje	Magnético Térmico.
Clasificación de Voltaje de CC	125/250 V CC
Configuración de disparo de alto y bajo amperaje	70 A

Tabla A.8. Schneider (2025) ficha técnica de Interruptor automático magnetotérmico.

Parámetros	Especificación
Modelo	Acti 9 iC60
Tipo	Interruptor automático
Número de polos	2P
Corriente nominal (In)	6A
Tipo de red	AC/DC

Parámetros	Especificación
Tecnología de unidad de disparo	Térmico (Sobrecarga) – Magnético (Cortocircuito)
Código de curva	C
Frecuencia de red	50/60 Hz

Tabla A.9. SIEMENS (2025) ficha técnica de Fuente de alimentación.

Parámetros	Especificación
Modelo	6EP332-6SB00-0AYO
Tipo	Fuente de alimentación LOGO! Power
Tensión de entrada (AC)	120-240V
Corriente de entrada (A)	0.66A
Frecuencia de entrada	50/60 Hz
Tensión de salida (DC)	24 V DC
Corriente de salida nominal	2.5 A
Potencia de salida	60 W.
Eficiencia típica	83%

Tabla A.10. SIEMENS (2025) ficha técnica del PLC LOGO!

Parámetros	Especificación
Modelo	6ED1052-1MD08-0BA2
Tipo de modulo	Controlador lógico programable LOGO! 12/24RCE
Tensión de alimentación	12-24V DC
Entradas digitales	8 (4 configurables como analógicas 0-10V)
Salidas Digitales	4 relés (10 A máx. por salida)
Memoria	400 bloques lógicos
Temperatura de operación	0 °C a +55 °C

Tabla A.11. SIEMENS (2025) ficha técnica del MODULO AM2 RTD

Parámetros	Especificación
Modelo	6ED1055-1MD00-0BA2
Tipo de modulo	Expansión analógica RTD para LOGO!
Tensión de alimentación	12-24V DC
Corriente consumida	30 mA
Entradas analógicas	2 (Configuración en conexión 2 o 3 hilos para PT/100)
Rango de medición	-50°C + 200°C
Tipo de montaje	Carril DIN de 35 mm (2 módulos de ancho)
Temperatura de operación	0 °C a +55 °C
Protección	IP20

Tabla A.12. T.PRO (2025) ficha técnica de sensor de temperatura de 3 hilos

Parámetros	Especificación
Modelo	PT100 TD0030
Tipo de conexión	3 hilos
Rango de temperatura	-50°C - 200°C
Material	Acero inoxidable, resistente a humedad y polvo

Tabla A.13. HANDSON TECHNOLOGY (2025) ficha técnica del Sensor de luminosidad.

Parámetros	Especificación
Modelo	GL5528 (GL55)
Tipo	LDR/ Fotocélula resistiva
Rango de resistencia	10 k Ω (luz intensa) a 1M Ω (Oscuridad)
Rango de detección de luz	1-10,000 lux
Tiempo de repuesta	<20 ms
Montaje	PCB o terminales para conexión de divisor de voltaje

Tabla A.14. ABB (2025) ficha técnica Interruptor diferencial RCD

Parámetros	Especificación
Modelo	F202AC-16/0.01
Tipo	Interruptor diferencial RCD
Número de polos	2P
Corriente nominal (In)	16 A
Tipo de red	AC
Corriente residual nominal	10 mA
Frecuencia de red	50/60 Hz

Tabla A.15. Schneider Electric (2025) ficha técnica Contactor Electromagnético

Parámetros	Especificación
Modelo	TeSys D - 3P
Tipo	Contactor Electromagnético
Número de polos	3P
Corriente nominal	9 A
Potencia Controlable	4 kW a 400-440 V
Tensión de bobina	220V, 440 V

Tabla A.16. HYUNDAI ELECTRIC (2025) ficha técnica Relé térmico

Parámetros	Especificación
Modelo	Hyundai HGT18
Tipo	Relé térmico
Número de polos	3P
Rango de ajuste de corriente	0.5 A-0.7 A
Voltaje de alimentación	110V, 220V, 380 V

Tabla A.17. Potencia Generada por el sistema hibrido Fotovoltaico.

POTENCIA GENERADA POR EL SISTEMA HIBRIDO FOTOVOLTAICO.			
MES	kWh/M². MES	kWh/M². DÍA	GENERACIÓN SF kWh/MES
ENERO	195.23	6.30	13,342.02
FEBRERO	187.59	6.70	12,819.90
MARZO	213.23	6.88	14,572.14
ABRIL	194.78	6.49	13,311.27
MAYO	166.81	5.38	11,399.80
JUNIO	146.63	4.89	10,020.69
JULIO	162.3	5.24	11,091.58
AGOSTO	167.92	5.42	11,475.65
SEPTIEMBRE	163.12	5.44	11,147.62
OCTUBRE	155.41	5.01	10,620.72
NOVIEMBRE	166.81	5.56	11,399.80
DICIEMBRE	186.9	6.03	12,772.75
TOTAL	2,106.73	69.33	143,973.93

Tabla A.18. Ahorro anual del sistema hibrido fotovoltaico

MES	kWh/MES GENERADOS	TARIFA C\$/kWh	AHORRO FV
ENERO	13,342 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 87,238.12
FEBRERO	12,820 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 83,824.20
MARZO	14,572 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 95,281.38
ABRIL	13,311 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 87,037.04
MAYO	11,400 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 74,538.70
JUNIO	10,021 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 65,521.31
JULIO	11,092 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 72,523.42
AGOSTO	11,476 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 75,034.70
SEPTIEMBRE	11,148 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 72,889.83
OCTUBRE	10,621 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 69,444.64
NOVIEMBRE	11,400 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 74,538.70
DICIEMBRE	12,773 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 83,515.88
TOTAL			C\$ 941,387.93

Tabla A.19. ABB. Ficha técnica del Switch de Transferencia Automática, modelo ABB OXB400E3S2QB.

Switch de Transferencia Automática modelo ABB OXB400E3S2QB	
Parámetros	Especificaciones.
Tipo de Controlador.	Nivel 2 (DIP)
Corriente térmica convencional de aire libre (Ith)	40° C, 400 A
Numero de Polos	4P
Perdida de Potencia	20.3 W
Frecuencia Nominal	50-60 Hz
Tensión Nominal por Impulso. (Uimp)	12 kV
Corriente Nominal de Funcionamiento AC-31B (Ie)	400 A
Corriente Nominal de Funcionamiento AC-32B (Ie)	400 A
Corriente Nominal de Funcionamiento AC-33B (Ie)	400 A

Tabla A.20. Ahorro anual del sistema automatizado

MES	CONSUMO MENSUAL kWh	CONSUMO AUTOMAT kWh	AHORRO AUTOMAT	TARIFA C\$/kWh	AHORRO S.A
ENERO	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
FEBRERO	12,404 kWh	09,276 kWh	03,128 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 20,450.13
MARZO	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
ABRIL	13,290 kWh	09,939 kWh	03,351 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 21,910.85
MAYO	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
JUNIO	13,290 kWh	09,939 kWh	03,351 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 21,910.85
JULIO	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
AGOSTO	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
SEPTIEMBRE	13,290 kWh	09,939 kWh	03,351 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 21,910.85
OCTUBRE	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
NOVIEMBRE	13,290 kWh	09,939 kWh	03,351 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 21,910.85
DICIEMBRE	13,733 kWh	10,270 kWh	03,463 kWh	C\$ 6.5386	C\$ 22,641.21
TOTAL					C\$ 266,581.99