

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA
PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL
DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA-2024**

PRESENTADO POR:

Br. JOHN HUAMPUTUPA QUILLAHUAMAN

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Dr. JOSÉ WILFREDO CALLASI QUISPE

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor JOSE WILFREDO CAILASI QUISPE
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YALHAY DEL DISTRITO DE
CHINCHERO, URUBAMBA - 2024

Presentado por: JOHN HUAMPUTUPA QUILLAHUANAN DNI N° 76639637;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 03 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de JULIO de 20 26

Firma

Post firma JOSE WILFREDO CAILASI QUISPE

Nro. de DNI 23812797

ORCID del Asesor 0000-0003-0714-4499

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:608344009

TESIS_JOHN HUAMUTUPA QUILLAHUAMAN final.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:608344009

Fecha de entrega

16 jul 2026, 9:01 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 jul 2026, 9:08 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_JOHN HUAMUTUPA QUILLAHUAMAN final.pdf

Tamaño del archivo

2.3 MB

180 páginas

32.905 palabras

192.164 caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mis padres, Mario Huamputupa Aller y Delia Quillahuaman Huaman, por su amor incondicional, su esfuerzo y su apoyo constante en cada etapa de mi vida. A mis hermanos, Robert, Ruth Mery y Ruth Zorayda, por su cariño, comprensión y apoyo incondicional. Este logro también les pertenece. A mi pareja, Lidia Ayma Cjuiro, por ser un pilar fundamental en mi vida y por haberme dado el regalo más hermoso: nuestro hijo. Y, de manera muy especial, a mi hijo, Milán Alessandro, quien con su llegada transformó mi vida y le dio un nuevo propósito. Eres mi mayor inspiración y la razón que me impulsa a esforzarme cada día para ser una mejor persona. A todos ustedes, gracias por formar parte de este importante logro. Con profundo amor y gratitud, les dedico este trabajo.

John Huamputupa Quillahuaman

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al Dr. José Wilfredo Callasi Quispe, asesor de esta tesis, por su orientación y valioso acompañamiento durante el desarrollo de la presente investigación. Sus conocimientos, observaciones y recomendaciones fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. Asimismo, manifiesto mi profundo agradecimiento al Mgt. Luis André Cuba del Castillo por su permanente apoyo durante todo el proceso de desarrollo de la presente investigación. De igual manera, extendiendo mi reconocimiento y gratitud a todos los docentes e ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, quienes contribuyeron a mi formación académica y profesional, compartiendo generosamente sus conocimientos y experiencias, los cuales han sido esenciales para la realización de esta tesis. A todos ellos, mi más profundo agradecimiento por haber sido parte de este importante logro.

PRESENTACIÓN

Señor: Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

Señores: Miembros del dictamen de tesis:

Con el objetivo de optar al título profesional de Ingeniero Electricista, de igual manera cumpliendo con los requisitos que exige el Reglamento de Grados y Títulos vigentes, presento la siguiente tesis de investigación:

"ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA – 2024"

La tesis mencionada es presentada con la finalidad de buscar alternativas de solución en caso de salidas intempestivas de la red, cortes programados y/o no programados, interrupciones, aumento en el consumo de energía eléctrica los últimos años; mediante el estudio de la Autogeneración Solar Fotovoltaica que alimenta a la Institución Educativa Particular Yachay en el distrito de Chinchero y a la vez incentivar la utilización de energías limpias en el distrito de chinchero.

Atentamente,

John Huamputupa Quillahuaman

INTRODUCCIÓN

El sistema de suministro eléctrico, comprendido por la red de generación, transmisión y distribución, constituye una infraestructura crítica para el desarrollo nacional. En el Perú, este sistema enfrenta desafíos que afectan la continuidad y calidad del servicio en diversos puntos del territorio. Particularmente en regiones como el Cusco, las interrupciones del servicio eléctrico son frecuentes, atribuidas a fenómenos naturales, fallas en la infraestructura de distribución y mantenimientos programados. Estas interrupciones no solo afectan la operatividad de las instituciones, sino que impactan directamente en sectores fundamentales como la educación, comprometiendo la calidad del proceso de enseñanza y aprendizaje.

La Institución Educativa Particular Yachay, ubicada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, Cusco, representa un caso emblemático de esta problemática. Un análisis histórico (2021-2023) de su conexión a la red eléctrica revela una situación crítica: un promedio de 29.7 interrupciones anuales (SAIFI) y 33.58 horas acumuladas de corte al año (SAIDI), valores que superan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa peruana de calidad del servicio. Esta vulnerabilidad operativa compromete seriamente el desarrollo de sus actividades académicas.

La red eléctrica, entendida como el conjunto interconectado de infraestructuras diseñadas para generar, transmitir y distribuir energía eléctrica hasta el punto de consumo, presenta limitaciones operativas en entornos con alta exposición a contingencias externas. Estas limitaciones se manifiestan en su vulnerabilidad frente a fenómenos naturales adversos y en la dependencia de una infraestructura de distribución extensa y expuesta. Frente a esta realidad, la integración de sistemas de autogeneración con fuentes de energía renovable emerge como una solución técnicamente viable para complementar la red eléctrica convencional y mejorar la confiabilidad en el punto de consumo. En particular, la energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa, dado el alto potencial de radiación solar de la región sur del

Perú. Esta tecnología permite no solo reducir la dependencia de la red principal, sino también garantizar un suministro eléctrico de mayor calidad y estabilidad para cargas críticas.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio de la autogeneración solar fotovoltaica como propuesta para mejorar la calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay de Chinchero, Urubamba. Para lograr este propósito, el estudio se basó en una metodología cuantitativa de tipo aplicativo, la cual combinó el análisis de datos históricos de interrupciones, un diagnóstico eléctrico detallado de la institución, el dimensionamiento técnico del sistema fotovoltaico y una evaluación económica de la inversión.

Los resultados obtenidos demuestran que la propuesta de autogeneración solar fotovoltaica permitiría reducir el SAIFI de 29.7 a 0 interrupciones anuales y el SAIDI de 33.58 a 0 horas anuales. Económicamente, el proyecto presenta un VAN positivo de S/ 4,283.21, aunque la TIR es de 1.55%, inferior a la tasa de descuento del 9.00%, lo que indica que, desde el punto de vista estrictamente financiero, el proyecto no es viable como inversión. No obstante, su implementación se justifica por los beneficios sociales y educativos que genera.

La importancia de este trabajo radica en ofrecer una propuesta técnica y económicamente fundamentada, capaz de transformar un servicio eléctrico deficiente en uno confiable y continuo. Su implementación contribuiría directamente a la misión educativa de la Institución, garantizando la ejecución del calendario académico, protegiendo el equipamiento tecnológico y promoviendo la sostenibilidad energética. Asimismo, el estudio sirve como un caso de referencia para otras instituciones en entornos similares que enfrenten desafíos análogos en la calidad de su suministro eléctrico.

RESUMEN

La presente tesis denominada "ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY EN EL DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA - 2024", surge como resultado del análisis de las necesidades energéticas en la zona que constituye el ámbito de estudio.

El trabajo que se presenta en este documento tiene como objetivo principal realizar un estudio de la autogeneración solar fotovoltaica como propuesta para mejorar la calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay en el distrito de Chinchero, Urubamba-2024.

Durante el proceso de diagnóstico y evaluación de la demanda eléctrica, se determinó que la Institución Educativa Particular Yachay operaba con deficiencias en la calidad del suministro eléctrico. Esta situación resalta la importancia de aplicar medidas correctivas para cumplir los estándares técnicos de la infraestructura eléctrica.

El estudio demuestra que la autogeneración solar fotovoltaica es una solución técnicamente efectiva, logrando reducir el SAIFI de 29.7 a 0 interrupciones anuales y el SAIDI de 33.58 a 0 horas anuales. Económicamente, el proyecto presenta un VAN positivo de S/ 4283.21, aunque la TIR de 1.55% es inferior a la tasa de descuento del 9.00%. No obstante, su implementación se justifica por los beneficios sociales y educativos que genera, garantizando la continuidad del servicio educativo y promoviendo la sostenibilidad energética.

Palabras claves: Autogeneración, Solar, Fotovoltaica, Pico de demanda, Carga.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AC	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CNE-U	Código Nacional de Electricidad – Utilización
ELSE	Electro Sur Este
FV	Fotovoltaico. Tecnología que convierte luz solar en electricidad.
GD	Generación Distribuida
HSP	Horas Sol Pico
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IEP	Institución Educativa Particular
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
NBT	Nodo de baja tensión
NMT	Nodo de media tensión
OSINERMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
SAIDI	Índice de duración promedio de interrupciones
SAIFI	Índice de frecuencia promedio de interrupciones
SFV	Sistema Fotovoltaico
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
W	Watt

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	iii
RESUMEN.....	v
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	20
1.1. Ámbito geográfico	20
1.2. Descripción del problema	21
1.3. Formulación del problema	27
1.3.1. Problema general.....	27
1.3.2. Problemas específicos	27
1.4. Objetivos.....	27
1.4.1. Objetivo general	27
1.4.2. Objetivos específicos.....	27
1.5. Justificación del Trabajo	28
1.5.1. Técnica	28
1.5.2. Metodológico	28
1.5.3. Económicos	29
1.5.4. Social.....	29
1.6. Alcances y Limitaciones	30
1.6.1. Alcances de la Investigación	30
1.6.2. Limitaciones de la Investigación.....	30
1.7. Hipótesis	30
1.7.1. Hipótesis General	30

1.7.2. Hipótesis Específicas.....	30
1.8. Operacionalización de Variables de estudio	31
1.8.1. Variables e indicadores independientes	31
1.9. Metodología	32
1.9.1. Enfoque de investigación	32
1.9.2. Tipo de investigación	32
1.9.3. Nivel de investigación	32
1.9.4. Diseño de la investigación.....	32
1.10. Población y Muestra	32
1.10.1. Población.....	32
1.10.2. Muestra.....	32
1.11. Técnicas de Recolección de Datos.....	33
1.12. Instrumentos.....	33
1.13. Matriz de consistencia	33
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	36
2.1. Antecedentes	36
2.1.1. Antecedentes Internacionales	36
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	38
2.2. Conceptos generales	43
2.2.1. Recursos energéticos renovables.....	43
2.2.2. Plan energético nacional.....	43
2.2.3. Energía solar fotovoltaica SEIN.....	44
2.2.4. Energía solar.....	45
2.2.5. Tipos de energía solar.....	46
2.2.6. Radiación solar	46

2.2.7. Componentes de la Radiación Solar.....	46
2.2.8. Evaluación de la radiación solar promedio por país del mundo.....	47
2.2.9. Radiación solar por regiones del Perú.....	49
2.2.10. Hora pico del sol (HPS)	50
2.2.11. Altura solar H, el azimut α y la inclinación β	51
2.2.12. Sistemas fotovoltaicos.....	51
2.2.13. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos	52
2.2.14. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red	53
2.2.15. Conexión serie – paralelo de paneles fotovoltaicos	56
2.2.16. Inversor de red.....	58
2.2.17. Principio de funcionamiento	59
2.2.18. Sistema de almacenamiento	59
2.2.19. Interrupciones en el sistema de distribución	60
2.3. Marco normativo.....	63
2.3.1. Normativa de Calidad del Suministro Eléctrico y la Brecha Identificada	63
2.3.2. Normativa que habilita la Solución: Generación Distribuida	63
2.3.3. Calidad de servicio eléctrico	63
2.3.4. Indicadores de calidad de suministro por sistema eléctrico	64
2.3.5. Responsabilidad de la empresa distribuidora	66
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY	67
3.1. Introducción	67
3.2. Diagnóstico de la Institución Educativa Particular Yachay.....	67
3.2.1. Descripción de los equipos existentes	67

3.2.2. Caracterización de Cargas de la Institución Educativa	70
3.3. Diagnóstico Eléctrico y Análisis de Consumos	72
3.3.1. Definición de la auditoria energética	72
3.3.2. Alcance técnico	72
3.3.3. Fuente de suministro energético	74
3.3.4. Análisis energético del historial del consumo eléctrico	75
3.3.5. Historial consumo energético periodo 2005-2024	78
3.3.6. Criterios Técnicos	82
3.3.7. Criterios Económicos	83
CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO Y MODELAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY	86
4.1. Sistema eléctrico de la Institución Educativa Particular Yachay.....	86
4.2. Evaluación de la radiación solar	86
4.3. Corrección de Eficiencia por Altitud	87
4.3.1. Factor de corrección por altitud para el inversor.....	87
4.4. Determinación de la Demanda Energética.....	88
4.5. Inclinación y Orientación Óptima de los Paneles	90
4.5.1. Inclinación óptima (β_{opt})	90
4.5.2. Orientación óptima (azimut)	91
4.5.3. Cálculo de la declinación solar para el mes crítico	91
4.5.4. Ángulo de salida del sol (W_s)	91
4.5.5. Factor de corrección por inclinación (K)	92
4.5.6. Pérdidas por inclinación y orientación	92
4.6. Selección del Módulo Fotovoltaico	92
4.6.1. Análisis comparativo de módulos	93

4.7. Corrección de Tensión de Módulos por Temperatura	95
4.7.1. Tensión máxima en circuito abierto (temperatura mínima, -10 °C)	95
4.7.1. Tensión mínima en el punto de máxima potencia (temperatura máxima, 20 °C)	95
4.8. Selección del Inversor.....	95
4.8.1. Criterios de selección según CNE	95
4.8.2. Análisis comparativo de inversores.....	96
4.9. Dimensionamiento del generador fotovoltaico	98
4.9.1. Cálculo del Performance Ratio (PR)	98
4.9.2. Potencia fotovoltaica requerida	98
4.9.3. Verificación del ratio de sobredimensionamiento (corregido con derating)	99
4.9.4. Número de módulos en serie por string	99
4.9.5. Número de strings en paralelo.....	99
4.9.6. Verificación de tensiones del string (1 string).....	99
4.10. Inclinação de Paneles y Distancia entre Filas.....	100
4.10.1. Distancia mínima entre filas consecutivas	100
4.11. Energía Generada por el Sistema Fotovoltaico.....	101
4.12. Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento	102
4.12.1. Energía de respaldo requerida	102
4.12.2. Selección de tecnología de batería	102
4.12.3. Dimensionamiento del banco de baterías	103
4.12.4. Verificación del tiempo de respaldo.....	103
4.13. Selección de Conductores	104
4.13.1. Conductores del tramo DC (string a inversor)	104

4.13.2. Verificación de caída de tensión en tramo DC.....	104
4.13.3. Conductor del tramo AC (inversor a tablero de distribución).....	104
4.14. Sistema de Protecciones Eléctricas.....	105
4.14.1. Corriente de cortocircuito del arreglo FV	105
4.15. Controlador MPPT.....	106
4.15.1. Cálculo de corriente máxima de entrada	106
4.15.2. Verificación de tensión máxima PV.....	107
4.16. Estructura de Soporte.....	107
4.17. Descripción del Sistema y Modos de Operación	107
4.18. Resumen del Dimensionamiento	108
4.19. Esquema de la propuesta.....	109
CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR	
FOTOVOLTAICA EN LOS INDICADORES SAIDI Y SAIFI.....	111
5.1. Introducción	111
5.2. Análisis de reducción en el número de interrupciones	111
5.2.1. Situación actual sin sistema fotovoltaico (2021-2023)	111
5.2.2. Análisis del Indicador de Frecuencia de Interrupciones (SAIFI) - (2021-2023).....	116
5.2.3. Análisis del escenario con la autogeneración fotovoltaica propuesta para el SAIFI.....	117
5.2.4. Análisis comparativo del SAIFI.....	119
5.3. Análisis de reducción en la duración de interrupciones.....	120
5.3.1. Duración actual de las interrupciones	120
5.3.2. Análisis del Indicador de Duración de Interrupciones (SAIDI) - (2021-2023).....	126

5.3.3. Análisis del escenario con la autogeneración fotovoltaica propuesta para el SAIDI	128
5.3.4. Análisis comparativo del SAIDI	130
5.4. Evaluación del impacto en actividades educativas	131
5.4.1. Continuidad de clases	131
5.4.2. Protección de equipos críticos	131
CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN FOTOVOLTAICO	132
6.1. Introducción	132
6.2. Inversión Inicial Del Sistema Fotovoltáico	132
6.3. Costos De Mano de Obra	135
6.3.1. Instalación de Estructura y Módulos Fotovoltáicos	135
6.3.2. Instalación del Sistema de Almacenamiento (Baterías)	136
6.3.3. Instalación del Sistema de Puesta a Tierra	137
6.4. Costos De Mantenimiento	138
6.4.1. Estructura de Costos de Mantenimiento	139
6.4.2. Mantenimiento Preventivo	139
6.5. Vida Útil y Programa de Reemplazo de la Batería	140
6.6. Beneficios Económicos Del Sistema Fotovoltáico	141
6.6.1. Estructura de Beneficios Económicos	141
6.6.2. Ahorro en Facturación Eléctrica	143
6.6.3. Protección de Equipos Electrónicos	143
6.6.4. Evaluación Económico-Social	143
6.7. Evaluación Mediante Indicadores Económicos	145
6.7.1. Metodología De Evaluación	146

6.7.2. Flujo de Caja Proyectado	146
6.7.3. Valor Actual Neto (VAN)	148
6.7.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)	149
CONCLUSIONES.....	151
RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA.....	153
ANEXOS.....	156
ANEXO A: Matriz de operacionalización de variables.....	157
ANEXO B: Costos de mano de obra utilizados como referencia:	159
ANEXO C: Presupuesto de la propuesta planteada.....	163
ANEXO D: FICHA DE OBSERVACIÓN - IEP YACHAY	167
ANEXO E: MAPA SOLAR - DISTRITO DE CHINCHERO.....	170
ANEXO F: INFORMACIÓN SOLICITADA Y PANEL FOTOGRAFICO	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ámbito geográfico de estudio	20
Figura 2	Evolución del consumo de energía de la Institución Educativa Particular Yachay en los últimos diez años.....	26
Figura 3	Porcentaje de producción de energía eléctrica SEIN	44
Figura 4	Centrales Solares Fotovoltaicas en Perú.....	45
Figura 5	Componentes de la Radiación Solar.....	47
Figura 6	Mapa de Radiación Solar por Regiones	48
Figura 7	Distribución de la Irradiación según la franja horaria	50
Figura 8	Orientación y Inclinación de un panel solar	51
Figura 9	Sistemas fotovoltaicos aislados	52
Figura 10	Esquema de un SFCR.....	54
Figura 11	Conexión Serie de paneles Fotovoltaicos.....	56
Figura 12	Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos	57
Figura 13	Etapas de conversión de un inversor fotovoltaico	58
Figura 14	Panel fotográfico (proyector)	68
Figura 15	Panel fotográfico estéreo	69
Figura 16	Panel fotográfico impresoras	69
Figura 17	Panel fotográfico laptop	70
Figura 18	Panel fotográfico fotocopias.....	70
Figura 19	Consumo de energía eléctrica anual de la Institución Educativa	77
Figura 20	Historial del consumo energético de la Institución Educativa 2005-2025	78
Figura 21	Planta de distribución de primer nivel de la Institución Educativa Particular Yachay	80

Figura 22 Planta de distribución de segundo Nivel de la Institución Educativa Particular Yachay	81
Figura 25 Panel votovoltaico TENSITE EM630-PH.....	94
Figura 26 Esquema de funcionamiento de la propuesta	110
Figura 27 Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2021.....	112
Figura 28 Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2022.....	113
Figura 29 Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2023.....	115
Figura 30 Indicador SAIFI Anual - Período 2021-2023	116
Figura 31 Comparación SAIFI con y sin SFV	120
Figura 32 Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2021	122
Figura 33 Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2022	123
Figura 34 Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2023	125
Figura 35 Indicador SAIDI Anual - Período 2021-2023	127
Figura 36 Comparación SAIDI con y sin SFV	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay del año 2021	22
Tabla 2 Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay durante el año 2022.....	23
Tabla 3 Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay durante el año 2023.....	24
Tabla 4 Indicadores de calidad del suministro eléctrico (SAIDI y SAIFI).....	24
Tabla 5 Monto pagado por la institución educativa los últimos diez años	25
Tabla 6 Matriz de operacionalización de variables.....	31
Tabla 7 Radiación solar Promedio por País	48
Tabla 8 Departamentos con mayor potencial solar	50
Tabla 9 Naturaleza de interrupciones	62
Tabla 10 Indicadores de calidad de servicio eléctrico	64
Tabla 11 Cuadro de Equipos Eléctricos.....	68
Tabla 12 Cálculo de la Máxima Demanda Diversificada a partir de la Potencia Instalada....	71
Tabla 13 Cuadro de datos característicos de la Institución Educativa Yachay.....	73
Tabla 14 Características del suministro eléctrico de la institución Educativa.....	74
Tabla 15 Resumen del Historial del consumo anual de la Institución Educativa.....	75
Tabla 16 Interrupciones la Institución Educativa Particular Yachay del año 2021	83
Tabla 17 Evolución del costo energético (2014-2024).....	84
Tabla 18 Proyección del gasto en facturación eléctrica sin implementación del sistema fotovoltaico	84
Tabla 19 Costos por interrupciones (situación actual sin SFV).....	85
Tabla 20 Irradiación solar mensual en Chinchero (PVGIS)	86

Tabla 21 Verificación de capacidad del inversor corregida por altitud	88
Tabla 22 Consumo eléctrico histórico máximo – Institución Educativa Particular Yachay ..	89
Tabla 23 Energía de diseño del sistema fotovoltaico.....	90
Tabla 24 Ángulo de inclinación óptimo según latitud	91
Tabla 25 Comparativo de módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado peruano.....	93
Tabla 26 Características técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado – TENSITE EM630- PH	94
Tabla 27 Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos	96
Tabla 28 Características técnicas del inversor seleccionado – GROWATT MID 6KTL3-XL	97
Tabla 29 Factores de rendimiento del sistema fotovoltaico (PR = 0.80).....	98
Tabla 30 Factores de rendimiento del sistema fotovoltaico (PR = 0.80).....	100
Tabla 31 Distribución de módulos en el área disponible	101
Tabla 32 Comparativo de tecnologías de almacenamiento.....	102
Tabla 33 Parámetros de diseño del banco de baterías.....	103
Tabla 34 Resumen de selección de conductores.....	105
Tabla 35 Sistema de protecciones eléctricas.....	105
Tabla 36 Especificaciones de la estructura de soporte.....	107
Tabla 37 Resumen del sistema de autogeneración solar fotovoltaica – I.E.P. Yachay	108
Tabla 38 Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2021	111
Tabla 39 Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2022	113
Tabla 40 Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2023	114
Tabla 41 Indicador SAIFI Anual - Período 2021-2023	116
Tabla 42 Interrupciones evitables por año	119
Tabla 43 SAIFI histórico vs. SAIFI con SFV.....	119

Tabla 44	Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2021.....	121
Tabla 45	Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2022.....	123
Tabla 46	Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2023.....	125
Tabla 47	Indicador SAIDI Anual - Período 2021-2023.....	126
Tabla 48	Duración de las interrupciones evitables por año	129
Tabla 49	SAIDI histórico vs. SAIDI con SFV	130
Tabla 50	Costo De Inversión Inicial - Sistema Fotovoltaico	133
Tabla 51	Resumen de Costos de Mano de Obra	135
Tabla 52	Costos de Instalación de Estructura y Módulos Fotovoltaicos	136
Tabla 53	Instalación del Sistema de Almacenamiento (Baterías)	137
Tabla 54	Instalación del Sistema de Puesta a Tierra.....	138
Tabla 55	Costos Anuales De Mantenimiento	139
Tabla 56	Vida útil y programa de reemplazo de la batería LiFePO ₄	140
Tabla 57	Costo de adquisición e instalación de la batería LiFePO ₄	141
Tabla 58	Beneficios Económicos Anuales	142
Tabla 59	Beneficios económicos directos.....	144
Tabla 60	Beneficios sociales.....	145
Tabla 61	Flujo De Caja	147
Tabla 62	Resultados Del Valor Actual Neto (VAN)	148
Tabla 63	Resultados TIR	149

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Ámbito geográfico

El área de estudio del presente trabajo de tesis, está ubicada en el distrito de chinchero (calle Belleza S/N), provincia de Urubamba, departamento del Cusco, a una altitud de 3660 msnm.

Figura 1

Ámbito geográfico de estudio



Nota: Fuente Google Earth Pro (elaboración propia).

1.2. Descripción del problema

En el esfuerzo continuo de la humanidad por mejorar sus condiciones de vida, la electricidad se ha consolidado como un recurso esencial que impulsa los avances tecnológicos y facilita transformaciones significativas en diversos sectores. En este contexto, se observa una tendencia global hacia la adopción de fuentes de energía renovable, entre las cuales destaca la energía solar fotovoltaica. Estas fuentes no convencionales, caracterizadas por su capacidad de generación eléctrica a diferentes escalas (grande, mediana o pequeña), ofrecen una alternativa sostenible y eficiente.

A nivel nacional, las interrupciones en el suministro eléctrico son frecuentes y obedecen a múltiples factores, como la caída de árboles, descargas atmosféricas, fallas en los equipos, trabajos de mantenimiento programados o imprevistos por parte de las empresas concesionarias. En la región sur del Perú, estas interrupciones se intensifican, especialmente durante la temporada de lluvias, lo que repercute negativamente en la calidad del suministro.

La región sur, sin embargo, posee un alto potencial para la generación de energía solar debido a sus elevados índices de radiación solar. En particular, el distrito de Chinchero, en la provincia de Urubamba, departamento de Cusco, registra niveles de radiación solar óptimos para el aprovechamiento de tecnologías fotovoltaicas.

En este contexto, la Institución Educativa Particular Yachay ha sido afectada de manera significativa por interrupciones no programadas del suministro eléctrico, muchas de las cuales superan una hora de duración. Estas interrupciones impactan directamente en el desarrollo de las actividades educativas, afectando la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para medir este problema de manera técnica, se utilizan los indicadores SAIDI y SAIFI. El SAIFI (Índice de Frecuencia de Interrupción del Sistema) cuenta cuántas veces se interrumpe el servicio en un año. El SAIDI (Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema) mide cuántas horas en total se está sin electricidad durante ese año. Al analizar los

datos históricos de la institución, se encontraron valores muy altos en estos indicadores. Para evaluar su gravedad, estos valores se comparan con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE), que son 14 interrupciones por año para el SAIFI y 34 horas por año para el SAIDI.

Tabla 1

Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay del año 2021

Cantidad de Interrupciones 2021				
Mes	Duración de Interrupciones I.E.P. Yachay (minutos)			
	(0-20)	(20-40)	(40-60)	(60- más)
Enero	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	6
Marzo	0	0	0	1
Abril	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	3
junio	0	0	0	0
Julio	0	0	0	3
Agosto	0	0	0	6
Setiembre	0	0	0	6
Octubre	0	0	0	2
Noviembre	1	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0

Nota: Fuente Electro Sur Este (Elaboración Propia).

En la Tabla 1 se presenta el registro de interrupciones que se dieron en la Institución Educativa Yachay durante el periodo 2021, estas interrupciones se debieron a factores naturales como descargas eléctricas, vientos, lluvias y cortes programados y/o no programados por la empresa concesionaria. Con una cantidad de 28 interrupciones.

Tabla 2

Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay durante el año 2022

Cantidad de Interrupciones 2022				
Mes	Duración de Interrupciones I.E.P. Yachay (minutos)			
	(0-20)	(20-40)	(40-60)	(60- más)
Enero	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0
Marzo	1	0	0	5
Abril	0	0	0	1
Mayo	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Setiembre	0	0	0	10
Octubre	0	0	1	2
Noviembre	0	0	0	4
Diciembre	0	0	0	2

Nota: Fuente Electro Sur Este (Elaboración Propia).

En la Tabla 2 se presenta el registro de interrupciones que se dieron en la Institución Educativa Yachay durante el periodo 2022, estas interrupciones se debieron a factores naturales como descargas eléctricas, vientos, lluvias y cortes programados y/o no programados por la empresa concesionaria. Con una cantidad de 28 interrupciones.

Tabla 3

Cortes e Interrupciones de la Institución Educativa Particular Yachay durante el año 2023

Cantidad de Interrupciones 2023				
Mes	Duración de Interrupciones I.E.P. Yachay (minutos)			
	(0-20)	(20-40)	(40-60)	(60- más)
Enero	0	0	0	3
Febrero	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	1
Abril	0	0	0	1
Mayo	0	0	0	12
Junio	0	0	0	3
Julio	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0
Setiembre	0	0	0	3
Octubre	0	0	0	7
Noviembre	0	0	0	1
Diciembre	1	1	0	0

Nota: Fuente Electro Sur Este (Elaboración Propia).

En la Tabla 3 se presenta el registro de interrupciones que se dieron en la Institución Educativa Yachay durante el periodo 2023. Con una cantidad de 33 interrupciones.

Tabla 4

Indicadores de calidad del suministro eléctrico (SAIDI y SAIFI)

Año	SAIFI (cortes/año)	Límite NTCSE (SAIFI)	SAIDI (horas/año)	Límite NTCSE (SAIDI)
2021	28	14	30.17	34
2022	28	14	34.83	34
2023	33	14	35.75	34
Promedio	29.7	14	33.58	34

Nota: Fuente Elaboración propia en base a datos de Electro Sur Este y Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico.

Estos resultados muestran que, en promedio, la institución sufre 29.7 cortes del servicio por año (SAIFI), lo que supera en más del doble el límite normativo de 14. En cuanto a la duración, con 33.58 horas sin electricidad por año (SAIDI), la institución está muy cerca de superar el límite de 34 horas, y de hecho los años 2022 y 2023 ya lo exceden. Esta brecha técnica y normativa confirma que la calidad del suministro es deficiente y afecta gravemente las actividades educativas que dependen de la energía eléctrica.

Por otro lado, en la Tabla 5 se presenta la evolución de la tarifa de pago hasta el mes de abril del año 2025. Se observa un incremento constante en los pagos anuales; sin embargo, en 2020 y 2021, nuestro país enfrentó la pandemia ocasionada por el COVID-19, lo que llevó al Estado Peruano a decretar que las clases se llevaran a cabo en modalidad virtual. Como resultado, las tarifas de pago se redujeron en esos dos años.

Tabla 5

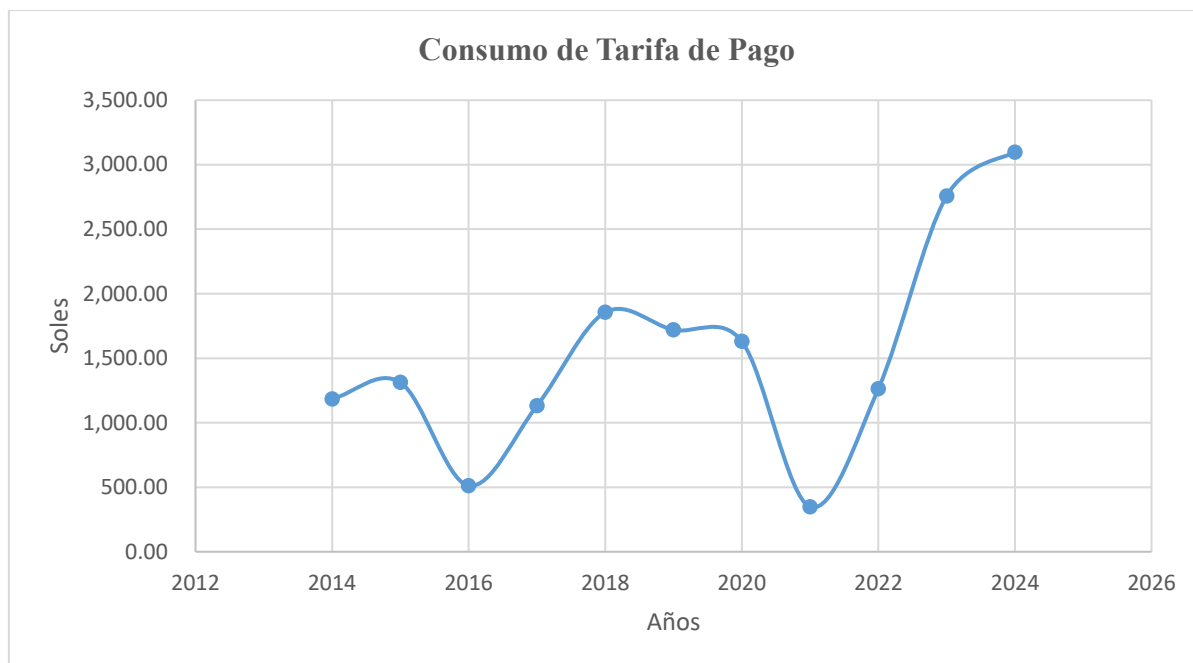
Monto pagado por la institución educativa los últimos diez años

AÑO	MONTO S./
2014	1,184.15
2015	1,312.0
2016	511.95
2017	1,131.4
2018	1,855.35
2019	1,719.4
2020	1,630.1
2021	348.7
2022	1,263.6
2023	2,757.8
2024	3,096.6
2025	615.5
TOTAL	S/ 13,714.4

Nota: Fuente Electro Sur Este (Elaboración Propia).

Figura 2

Evolución del consumo de energía de la Institución Educativa Particular Yachay en los últimos diez años



Nota: Fuente Electro Sur Este (Elaboración Propia).

La Figura 2 ilustra el comportamiento del consumo por concepto de tarifa eléctrica en soles de la Institución Educativa. Como se observa, se prevé un aumento en los próximos años; por lo tanto, el presente estudio de tesis tiene como objetivo contribuir a la reducción del consumo de energía eléctrica en dicha institución.

En resumen, la Institución Educativa Yachay enfrenta: Un suministro eléctrico no confiable que incumple la normativa de calidad (SAIFI y SAIDI elevados), y un costo de la energía en tendencia alcista. Frente a esto, el potencial solar de Chinchero representa una oportunidad técnica para implementar un sistema de autogeneración solar fotovoltaica, el cual tiene como objetivo mejorar la calidad del suministro garantizando la continuidad del servicio educativo y contribuir a la reducción del consumo y costo de energía eléctrica en la institución.

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo general mejorar la calidad del suministro eléctrico en dicha institución mediante la implementación de este sistema, el

cual busca garantizar la continuidad del servicio educativo y contribuir a la reducción del consumo y costo de energía.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿De qué manera el estudio de la autogeneración solar fotovoltaica permitirá plantear una propuesta de mejora de calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- 1) ¿En qué medida el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto reducirá el número de interrupciones en la Institución Educativa Particular Yachay, según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos?
- 2) ¿En qué medida el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto reducirá la duración de interrupciones en la Institución Educativa Particular Yachay, según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos?
- 3) ¿Cuál es la rentabilidad económica del sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto, evaluada a través de los indicadores VAN y TIR?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el estudio de la autogeneración solar fotovoltaica para mejorar la calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar la reducción del número de interrupciones mediante el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto para la Institución Educativa Particular

Yachay, verificando el cumplimiento del límite normativo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

- 2) Determinar la reducción de la duración de interrupciones mediante el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto para la Institución Educativa Particular Yachay, verificando el cumplimiento del límite normativo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.
- 3) Determinar la rentabilidad económica del sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto, evaluada a través de los indicadores VAN y TIR.

1.5. Justificación del Trabajo

1.5.1. Técnica

El análisis de la autogeneración solar fotovoltaica ofrece diversos beneficios técnicos. Al aprovechar la energía solar, una fuente renovable y sostenible, se maximiza el uso de recursos naturales disponibles. Considerando que el departamento de Cusco presenta una alta radiación solar, esta tiene un considerable potencial para la producción continua de electricidad. La implementación de sistemas fotovoltaicos puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa, minimizando las interrupciones y garantizando un suministro más estable.

1.5.2. Metodológico

A nivel mundial, los sistemas fotovoltaicos han avanzado significativamente en las últimas décadas, abarcando diversas áreas de aplicación. En este sentido, la Institución Educativa, como entidad privada, ha identificado en la implementación de tecnología fotovoltaica una solución estratégica. Al optar por la transición hacia un sistema de generación solar, no solo busca optimizar su fuente de energía, sino también contribuir de manera efectiva a la reducción de las emisiones contaminantes.

1.5.3. Económicos

La implementación de Sistemas de Autogeneración Solar Fotovoltaica presenta ventajas económicas significativas. En los últimos años, los costos de generación de energía solar han experimentado una notable disminución, lo que ha hecho de esta tecnología una opción más accesible. Aunque la inversión inicial en la infraestructura fotovoltaica puede ser considerable, los ahorros a largo plazo son sustanciales debido a la reducción de los costos operativos y de consumo energético. Además, los costos de mantenimiento de los paneles solares son relativamente bajos en comparación con otros sistemas de generación de energía. Este tipo de proyectos también impulsa el desarrollo económico local al fomentar la inversión y estimular el crecimiento de pequeñas y medianas empresas, generando empleos en sectores como la fabricación, la instalación de equipos, y servicios relacionados.

1.5.4. Social

El estudio de la autogeneración solar fotovoltaica tiene un impacto social positivo significativo. La mejora en la calidad del suministro eléctrico beneficia directamente a la Institución Educativa, al reducir tanto las interrupciones en el servicio como los costos asociados al consumo por energía eléctrica así garantizar un suministro más estable y confiable. Esta estabilidad energética repercute de manera favorable en el entorno académico, optimizando las condiciones para el desarrollo de actividades educativas y mejorando la productividad y el bienestar de los estudiantes. Además, al incorporar una fuente de energía renovable y libre de emisiones contaminantes, se contribuye de manera directa a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente para las futuras generaciones.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances de la Investigación

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la viabilidad de la autogeneración solar fotovoltaica para optimizar la calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero-Urubamba.

1.6.2. Limitaciones de la Investigación

La investigación es netamente de carácter teórico y académico, con una visión a futuro de una posible inserción de la generación fotovoltaica en la institución educativa. El análisis técnico y operativo del estudio de la autogeneración solar fotovoltaica para mejorar la calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay, que se presenta en la investigación es netamente de carácter teórico y académico, con una visión a futuro de una posible inserción de la generación fotovoltaica en la institución educativa.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

La autogeneración solar fotovoltaica reduciría significativamente los indicadores de continuidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024, respecto al escenario base.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- 1) La autogeneración solar fotovoltaica reducirá el indicador SAIFI de la Institución Educativa Particular Yachay.
- 2) La autogeneración solar fotovoltaica reducirá el indicador SAIDI de la Institución Educativa Particular Yachay.
- 3) Los impactos económicos son positivos con la incorporación de la autogeneración solar fotovoltaica en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero.

1.8. Operacionalización de Variables de estudio

1.8.1. Variables e indicadores independientes

Tabla 6

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de Medición
Autogeneración Solar Fotovoltaica (Variable Independiente)	Es un sistema de generación eléctrica que permite a los usuarios producir energía para su propio consumo mediante tecnología solar fotovoltaica. (Lorenzo E. , 2014)	Sistema de generación eléctrica basado en tecnología fotovoltaica destinado al autoconsumo, caracterizado por su capacidad instalada, producción energética y nivel de cobertura de la demanda eléctrica.	Potencia y configuración del Sistema	Potencia Solar Pico (kWp) Numero de Módulos Capacidad de almacenamiento	Ficha técnica del sistema dimensionado/Software de simulación (PVsyst)
			Recurso Solar y Ubicación	Radiación Solar Global Horizontal (kWh/m2/día) Horas pico Sol (HPS) Coordenadas Geográficas (Latitud, Longitud)	
Calidad de Suministro (Variable dependiente)	La Calidad de Suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los Clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio (OSINERGMIN, 2018)	Expresa las condiciones de continuidad y desempeño técnico del suministro eléctrico, evaluadas mediante la frecuencia y duración de las interrupciones y la estabilidad del servicio.	Confiabilidad	SAIFI	Ficha de registro de interrupciones de suministro eléctrico
			Continuidad	SAIDI	ficha de registro de duración de interrupciones del suministro eléctrico
			Impacto Económico	FACTURACION	ficha de análisis de facturación del consumo eléctrico

1.9. Metodología

1.9.1. Enfoque de investigación

El presente trabajo de tesis adopta un enfoque de carácter cuantitativo, cuyo propósito principal es realizar un análisis exhaustivo sobre la autogeneración solar fotovoltaica. Este enfoque se orienta a proporcionar soluciones a los problemas detectados y optimizar la calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay.

1.9.2. Tipo de investigación

El diseño de esta investigación se basa en el enfoque hipotético-deductivo, ya que se orienta hacia la observación y el análisis descriptivo de las situaciones dentro de su contexto natural, evitando la manipulación de variables o la implementación de intervenciones experimentales.

1.9.3. Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es de tipo aplicativo, dado que su objetivo principal es proponer una solución efectiva a un problema identificado, con el fin de optimizar la calidad del suministro eléctrico en la institución educativa particular Yachay.

1.9.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental tipo transversal.

1.10. Población y Muestra

1.10.1. Población

Está conformada por la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Provincia de Urubamba y Departamento de Cusco.

1.10.2. Muestra

Debido a que la población es única y finita, no se realiza un proceso de muestreo. Por lo tanto, la muestra coincide con la población (muestra universal), abarcando la totalidad de la institución educativa en estudio para el análisis integral de su consumo de energía eléctrica.

1.11. Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos utilizados fueron lo siguiente:

- Consultas bibliográficas, búsquedas en internet, revisión de documentos normativos vigentes, así como la recopilación de información proporcionada por las entidades competentes encargadas de regular y supervisar el sector eléctrico en Perú, como el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERGMIN) y el Ministerio de Energía y Minas (MINEM). Esta información incluyó datos técnicos sobre la implementación de sistemas de autogeneración solar fotovoltaica y su integración para el mejoramiento del suministro eléctrico. Además, se obtuvo información actualizada sobre las estadísticas y resultados de la medición de la eficiencia y el impacto de los sistemas fotovoltaicos en la mejora de la calidad del suministro eléctrico.

1.12. Instrumentos

- Ficha de observación
- Mapa solar
- Programas de simulación
- Estudio
- Programas de office
- Programas de flujo

1.13. Matriz de consistencia

A continuación, se presenta la matriz de consistencia:

MATRIZ DE CONSISTENCIA TITULO: ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDA DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA – 2024			
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	CONCLUSIONES
¿De qué manera el estudio de la autogeneración solar fotovoltaica permitirá plantear una propuesta de mejora de calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024?	Realizar el estudio de la autogeneración solar fotovoltaica para mejorar la calidad de suministro en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024.	La autogeneración solar fotovoltaica reduciría significativamente los indicadores de continuidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, Urubamba – 2024, respecto al escenario base.	1. La propuesta de autogeneración solar fotovoltaica permite mejorar significativamente la calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay. 2. El análisis comparativo evidenció una reducción significativa en la frecuencia de interrupciones, reflejada en la disminución del indicador SAIFI de 29.7 a 0 interrupciones anuales, lo que representa una mejora del 100% respecto al escenario sin autogeneración. 3. El análisis de la duración de interrupciones mostró una disminución sustancial del indicador SAIDI, pasando de 33.58 a 0 horas anuales, lo que equivale a una reducción aproximada del 100%, mejorando la continuidad del suministro eléctrico a nivel del usuario. 4. Se evaluaron los impactos económicos de la implementación. El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 4,283.21, lo que indica que genera valor económico. Sin embargo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es del 1.55%, valor inferior a la tasa de
Problema Especifico	Objetivo Especifico	Hipótesis Especifico	

a) ¿En qué medida el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto reducirá el número de interrupciones en la Institución Educativa Particular Yachay, según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos? b) ¿En qué medida el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto reducirá la duración de interrupciones en la Institución Educativa Particular Yachay, según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos? c) ¿Cuál es la rentabilidad económica del sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto, evaluada a través de los indicadores VAN y TIR?	a) Determinar la reducción del número de interrupciones mediante el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto para la Institución Educativa Particular Yachay, verificando el cumplimiento del límite normativo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. b) Determinar la reducción de la duración de interrupciones mediante el sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto para la Institución Educativa Particular Yachay, verificando el cumplimiento del límite normativo establecido en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos. c) Determinar la rentabilidad económica del sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto, evaluada a través de los indicadores VAN y TIR.	a) La autogeneración solar fotovoltaica reducirá el indicador SAIFI de la Institución Educativa Particular Yachay. b) La autogeneración solar fotovoltaica reducirá el indicador SAIDI de la Institución Educativa Particular Yachay. c) Los impactos económicos son positivos con la incorporación de la autogeneración solar fotovoltaica en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero.	descuento del 9.00%, lo que demuestra que, desde el punto de vista financiero, el proyecto no es viable como inversión. No obstante, su implementación se justifica por los beneficios sociales y educativos que genera, así como por la mejora en la calidad del suministro eléctrico.
--	--	---	--

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para la elaboración del presente trabajo de tesis, se tuvieron en cuenta como referencia de los siguientes trabajos de investigación:

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Se tomó en consideración la información fundamental asociada a las variables técnicas de este análisis, en particular aquellas relacionadas con la autogeneración fotovoltaica y la calidad del suministro eléctrico. Para sustentar la justificación del presente estudio, se emplearon fuentes bibliográficas de alta relevancia técnica, tales como artículos científicos publicados en revistas indexadas con un significativo factor de impacto, así como tesis de pregrado y posgrado que abordan temas similares.

❖ (Vargas & Lopez, 2020), en su investigación titulada “Sistema Fotovoltaico como alternativa sostenible para el funcionamiento de una alcaldía municipal”, publicada en una revista indexada con licencia Creative Commons, se plantearon como objetivo desarrollar una propuesta basada en sistemas fotovoltaicos para promover una alternativa sostenible que mejorara la calidad del suministro eléctrico en la Alcaldía Municipal de Dibulla. El enfoque metodológico combinó técnicas cualitativas y cuantitativas, adoptando un diseño no experimental.

Las conclusiones del presente artículo fueron:

- “Al finalizar el estudio, se concluye que la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico asume un alto costo económico (341.264.412 COP), que a largo plazo recuperara la inversión por la disminución en el consumo de energía eléctrica convencional y la mitigación de daños ambientales provocados por el uso de combustibles fósiles. La implementación de este sistema en Dibulla es una alternativa que favorecería a la comunidad, ya que se disminuye la problemática presentada

(inoportuna prestación del servicio de energía, constantes apagones, bajos voltajes en las viviendas y la alcaldía) y contribuirá a la implementación de energía amigable y limpia en el medio ambiente.

- Además, se concluyó que es fácil identificar las tendencias futuras hacia la obtención y uso de sistemas de energías alternativas como la fotovoltaica, en este caso por grandes beneficios que generan al medio ambiente y a la sociedad en general por que pretenden extender la vida de los recursos naturales para próximas generaciones. Asimismo, se concluye que los requerimientos eléctricos de una organización promedio puede ser integrada por los sistemas fotovoltaicos considerados en este estudio, lo cual queda expuesto en el estudio técnico y económico.
- Finalmente, se concluyó que es trascendental destacar que la elección de las celdas o módulos fotovoltaicos afectan claramente la generación y reintegro de inversión del proyecto, por ello es importante examinar la tecnología a manejar en determinadas zonas geográficas y el costo de estas, según el requerimiento del potencial al generar, pues logra resultar eficiente, pero excesivamente costosa o viceversa. Sin embargo, el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red de la alcaldía municipal de Dibulla originara en este subsistema, una nueva cultura de eficiencia y ahorro energético a través del uso de fuentes renovables que contribuirán a mejorar las condiciones laborales de los funcionarios tanto administrativos como operativos” (Vargas & Lopez, 2020).

Este antecedente demuestra la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos a largo plazo y su contribución a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, no cuantifica la mejora en indicadores específicos de continuidad como SAIFI y SAIDI, limitándose a mencionar cualitativamente la reducción de "constantes apagones". Su aporte al presente

estudio es la justificación económica, evidenciando la necesidad de profundizar en la medición técnica del impacto en continuidad.

❖ (Serna, 2024), en su investigación titulada “Optimización de la operación del sistema de generación fotovoltaica y demanda del hospital departamental de San Andrés Islas”, publicada en una revista indexada con licencia Creative Commons, se plantearon como objetivo optimizar la operación del proyecto piloto de generación fotovoltaica y de la demanda de energía del hospital departamental de San Andrés Islas a través del uso de sistemas de sub medición para el análisis de los consumos y la caracterización de la demanda. El enfoque metodológico combinó técnicas cualitativas y cuantitativas, adoptando un diseño no experimental.

Serna aporta una metodología de caracterización de demanda mediante la medición, relevante para el diagnóstico energético. No obstante, su enfoque se centra en la optimización operativa más que en evaluar el impacto del sistema sobre la continuidad del servicio. Este antecedente contribuye metodológicamente al proceso de diagnóstico, pero no aborda la cuantificación de indicadores de calidad.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

❖ (Quispe & Poccari, 2021) precisó en su investigación titulada: “Estudio del Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con conexión a la red eléctrica y Uso Eficiente de energía del Instituto Blue Ribbon Internacional Cusco” (tesis de investigación – Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco), plantea como objetivo realizar un estudio del sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a la red eléctrica y uso eficiente de energía del instituto Blue Ribbon Internacional Cusco. Su metodología tiene enfoque cuantitativo, descriptivo propositivo. Considerando como población, la

población del presente trabajo de tesis está conformada por el instituto Blue Ribbon Internacional Cusco. Las conclusiones fueron:

- “Se ha demostrado nuestro objetivo general, el cual se realizó el estudio del sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a la red eléctrica, conjuntamente con el diagnóstico y la propuesta para el uso eficiente de energía del instituto blue Ribbon Internacional Cusco, para así reducir los costos por la tarifa eléctrica y la reducción de las pérdidas técnicas.
- Se ha demostrado el primer objetivo específico, por lo que se hizo un diagnóstico y/o evaluación energética mediante una auditoria en el instituto, cuyos resultados son los siguientes:

Primero: la potencia instalada según placa de los equipos eléctricos en el instituto es de 24.39 kW.

Segundo: la energía máxima consumida según historial del consumo emitido por ELSE es de 2,266.000 kWh a nivel mensual y 75.533 kWh por día, a una tarifa neta de 0.7517 soles por kWh.

Tercero: la energía máxima consumida según placa de los equipos eléctricos instalados en el instituto y por las horas de funcionamiento calculados a nivel personal y con criterios técnicos es de 2,472.69 kWh a nivel mensual.

Cuarto: según las mediciones registrados por el analizador de redes fue de 74.623 kWh por día.

Quinto: se determinó que el consumo mayor es la iluminación con 215 fluorescentes de 36 W haciendo un porcentaje del 61.0388% por lo que se propone la tecnología led como uso eficiente.

Sexto: los rendimientos entre los años 2003 a 2020 fueron del 96.26 % como valor mínimo y un máximo del 97.24%. el mayor pago anual por pérdidas técnicas, se dio

en el año 2019 con un monto total S/ 418.80, aproximadamente a nivel mensual de S/. 34.90.

- Se ha demostrado el segundo objetivo específico, dimensionando el sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a la red eléctrica a partir de la auditoria energética, cuya irradiación calculado incluido las perdidas es de 3.472 kWh/día, teniendo una potencia instalada de 27.3 kW a nivel fotovoltaico, para un inversor cuya potencia es de 24.00 kW, considerando el 80% de la potencia del sistema fotovoltaico, la tensión en bornes del inversor es trifásico a 220 V con factor de potencia de 0.98 característica propia del inversor según datos del fabricante. La inclinación optima calculada para los módulos fotovoltaicos es de 15°, recalculando las pérdidas para su montaje a 20° según la inclinación del techo cuya orientación es de -13. 75° - N, y como energía generada de 75.533 kWh/día, teniendo un total de 84 paneles tipo mono cristalino repartidos 14 paneles en serie con 6 ramales en paralelo. Respecto a la eficiencia energética, con la propuesta de la utilización de la tecnología led y la utilización de los conductores recalculada con calibres óptimos, se obtuvo una reducción mayor al 50 % en perdidas, con rendimiento de hasta el 98.723%, para un consumo anual analizado con proyección de 25 años: la energía consumida seria de 338,021.56 kWh/año, y la producida a irradiación de diseño es de 747,258.72 kWh/año, lo que inyectaríamos 409,237.16 kWh/año” (Quispe & Poccori, 2021).

Quispe & Poccori constituyen el antecedente metodológicamente más cercano al presente estudio por su similitud contextual (Cusco), con un detallado proceso de auditoría energética y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, su evaluación se enfoca en la reducción de costos y pérdidas técnicas, sin abordar la mejora en indicadores de calidad de suministro. Aporta la base metodológica para el

dimensionamiento, pero deja un vacío en la evaluación de continuidad que la presente investigación busca llenar.

❖ (Leonardo, 2023) precisó en su investigación titulada: “Sistema de Generación Fotovoltaico para mejorar el suministro eléctrico en la ciudad de Huancayo” (tesis de investigación – Universidad Nacional del centro del Perú), plantea como objetivo diseñar el sistema de generación fotovoltaico para mejorar el suministro eléctrico en la ciudad de Huancayo. Su metodología tiene enfoque reflexivo, sistemático y crítico. Considerando como población, la población del presente trabajo de tesis está conformada por la ciudad de Huancayo. Las conclusiones fueron:

- “Se logro diseñar el sistema de generación fotovoltaico para una demanda de energía de 500 kW, la simulación se propone instalar 1110 paneles solares cada uno de 450 Wp que serán arreglados en 15 módulos y 75 cadenas, también se instalara 18 inversores de 27 kW de potencia todo esto en un área de 2452 m².
- Se logro modelar y calcular los elementos del sistema de generación fotovoltaica en el software PVsyst, determinando dos elementos fundamentales en el sistema que son los paneles solares y los inversores.
- Se logro simular el sistema de generación fotovoltaica en el software DIgSILENT y este permitió verificar operatividad del suministro eléctrico en la ciudad de Huancayo” (Leonardo, 2023).

Leonardo incorpora herramientas de simulación (PVsyst y DIgSILENT) valiosas para el modelamiento de sistemas fotovoltaicos y verificación de operatividad. No obstante, su estudio se desarrolla a nivel de ciudad sin evaluar el impacto específico a nivel de usuario final. Este antecedente valida el uso de software de simulación, pero no aborda la mejora en SAIFI y SAIDI percibidos por un usuario específico.

- ❖ (Vidal & Canales, 2023) precisó en su investigación titulada: “Uso de Paneles Solares para mejorar la Calidad de Energía Eléctrica del Centro Poblado Pararin – Departamento de Ancash – Peru-2021” (tesis para optar el grado académico de maestro en Ingeniería Eléctrica – Universidad Nacional del callao), plantea como objetivo elaborar un estudio de investigación del uso óptimo de los paneles solares para mejorar la calidad de servicio eléctrico existente, la posibilidad de abastecer suficientemente el servicio eléctrico para uso comercial en el centro poblado de Pararin, distrito de Pararin, provincia de Recuay, departamento de Ancash, país Perú. Su metodología tiene enfoque analítico, inductivo y deductivo. Considerando como población, las 118 viviendas del centro poblado de Pararin. Las conclusiones fueron:
- “La energía solar presenta la gran ventaja de que el sol brinda una fuente energética inagotable. Las instalaciones para su aprovechamiento no contaminan la atmosfera, no producen gases de efecto invernadero ni tampoco contaminación del agua, no produce contaminación acústica, ya que su generación es silenciosa.
 - En la instalación de los paneles solares es ventajoso tener una pequeña planta solar fotovoltaica con un centro de control e inyección a red, respecto a un sistema fotovoltaico aislado e independiente por cada vivienda, por ejemplo, el mantenimiento se puede sistematizar y programar tanto en el caso predictivo o correctivo.
 - La estrategia de gestión consiste en realizar las actividades de inscripción con asesoría legal de la comunidad campesina de Pararin como cliente único de la empresa concesionaria Hidrandina y lograr obtener la tarifa MT2, media tensión 10 000 voltios, ya que es una tarifa económica, luego con la programación del inversor se logrará prácticamente pagar lo mínimo en consumo de red” (Vidal & Canales, 2023).

Vidal & Canales abordan la mejora de la calidad de servicio mediante paneles solares, pero su enfoque se centra en aspectos tarifarios y legales para clientes comerciales, sin cuantificar la mejora en indicadores técnicos de continuidad. Su aporte se relaciona con la viabilidad normativa y comercial, mas no con la evaluación técnica del impacto en la continuidad del suministro.

2.2. Conceptos generales

2.2.1. Recursos energéticos renovables

Para definir los recursos energéticos renovables, (Vignolo, 2012) definió que:

“Son Fuentes naturales de energía virtualmente inacabables o inagotables que han comenzado a desarrollarse en nuestro país a partir del año 2008, con la dación del Decreto Legislativo N° 1002”.

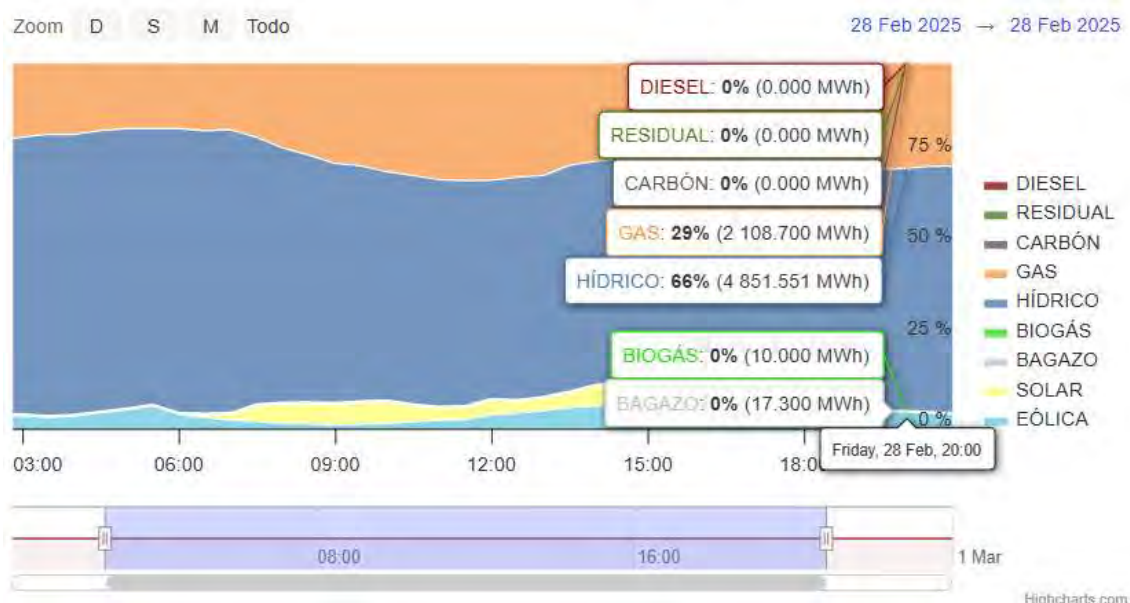
“El Perú cuenta con diversos recursos energéticos renovables (RER) como la energía hidráulica, eólica, geotérmica y biomasa. Entre estos, la energía solar fotovoltaica presenta ventajas específicas para aplicaciones de generación distribuida en zonas con alta radiación solar como Cusco, permitiendo mejorar la confiabilidad del suministro mediante autogeneración. Este estudio se enfoca exclusivamente en sistemas fotovoltaicos conectados a red” (Osinergmin, 2019).

2.2.2. Plan energético nacional

A continuación, presentamos las estadísticas de producción de energía eléctrica según COES.

Figura 3

Porcentaje de producción de energía eléctrica SEIN



Nota: Fuente COES.

2.2.3. Energía solar fotovoltaica SEIN

“En la actualidad, en el Perú existen siete parques solares que están conectados al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional SEIN del Perú con una capacidad de 284.48 MWp” (COES, 2021).

- Central Majes Solar.

“Situado en Caylloma, Arequipa a 1860 msnm, fue inaugurado el 31/10/2012. Tiene una capacidad nominal de 20MWp y la producción anual contratada es de 37.63 GWh, con un precio ofertado de 0.22\$/KWh de venta al sistema y con un monto de inversión de \$76.3 MM de USD” (COES, 2021).

- Central solar Tacna

“Situada en Tacna y tiene una capacidad nominal de 20MWp. Inicio su operación el 31/10/2012. Equipada con un seguidor, se calculó un rendimiento de 47.196 GWh anual. Con un precio ofertado de 0.22 \$/KWh de venta al sistema y con un monto de inversión de \$94.6 MM de USD” (COES, 2021).

- Central Moquegua FV

“También situada en Mariscal Nieto, Moquegua fue inaugurada dos años después, el 31/12/2014. Tiene una capacidad nominal de 16MWp y debe producir 43 GWh por año. Con un precio ofertado de 0.12 \$/KWh de venta al sistema y con un monto de inversión de \$ 43 MM de USD” (COES, 2021).

- Central Intipampa

“Este central inicio su operación oficial el 31/03/2018. Tiene 40 MWp con una producción de 108,40 GWh. Con un precio ofertado de 0.049 \$/KWh de venta al sistema y con un monto de inversión de \$52.3 MM de USD” (COES, 2021).

Figura 4

Centrales Solares Fotovoltaicas en Perú

LAS 7 CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN PERÚ, EN OPERACIÓN AL 2022							
ÍTEM	NOMBRE	EMPRESA CONCESIONARIA	POTENCIA (MW)	ENERGÍA OFERTADA (GWh/año)	INVERSIÓN (MM US\$)	PRECIO OFERTADO (ctvs. US\$/kWh)	PUESTA EN OPERACIÓN COMERCIAL
1	C.S. Majes Solar 20T	Grupo T Solar Global S.A.	22	37.63	74	22.250	31.10.2012
2	C.S. Repartición 20T	Grupo T Solar Global S.A.	22	37.44	74	22.300	31.10.2012
3	C.S. Tacna Solar	Tacna Solar S.A.C.	20	47.20	95	22.500	31.10.2012
4	C.S. Panamericana Solar 20T	Panamericana Solar S.A.C.	20	50.68	95	21.500	31.12.2012
5	C.S. Moquegua FV	Moquegua FV S.A.C.	16	43.00	43	11.990	31.12.2014
6	C.S. Rubí	Enel Green Power Perú S.A.	144.48	415.00	165	4.798	30.01.2018
7	C.S. Intipampa	Engie Energía Perú	40	108.40	52	4.850	31.03.2018
TOTAL			284.48	739.35	450		

Nota: Participación por origen y zona del país en la producción eléctrica.

2.2.4. Energía solar

Según (Vivanco, 2020), “es la energía proveniente de la radiación electromagnética del sol. Se usa directamente mediante las tecnologías desarrolladas para este fin. La energía solar, emitida en forma de radiación luminosa y térmica, puede ser captada y transformada en energía aprovechable a través de diversos sistemas tecnológicos. Entre estos destacan las células fotovoltaicas, que convierten directamente la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico; los heliostatos, que redirigen y concentran la luz solar para su utilización en procesos termoeléctricos de alta

eficiencia; y los colectores solares, diseñados para absorber y transferir el calor solar a un fluido térmico, facilitando su aplicación en sistemas de calefacción, Climatización o generación de energía térmica. La integración de estas tecnologías permite maximizar el aprovechamiento de la energía solar, contribuyendo a la optimización del suministro energético en diversas infraestructuras”.

2.2.5. Tipos de energía solar

- **Energía solar fotovoltaica.** “Es aquella que se basa en la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica por medio de módulos compuestos por células fotovoltaicas, que son dispositivos formados por materiales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos, convirtiendo la energía luminosa en energía eléctrica” (Vignolo, 2012).
- **Energía solar térmica.** “Transforma la energía solar en energía térmica para producir vapor y finalmente energía eléctrica” (Vignolo, 2012).

2.2.6. Radiación solar

“Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m² (vatios x metro cuadrado)” (Pareja, 2020).

2.2.7. Componentes de la Radiación Solar

La radiación solar se subdivide en tres componentes, los cuales son:

Radiación directa:

“Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección”. (Pareja, 2020)

Radiación difusa:

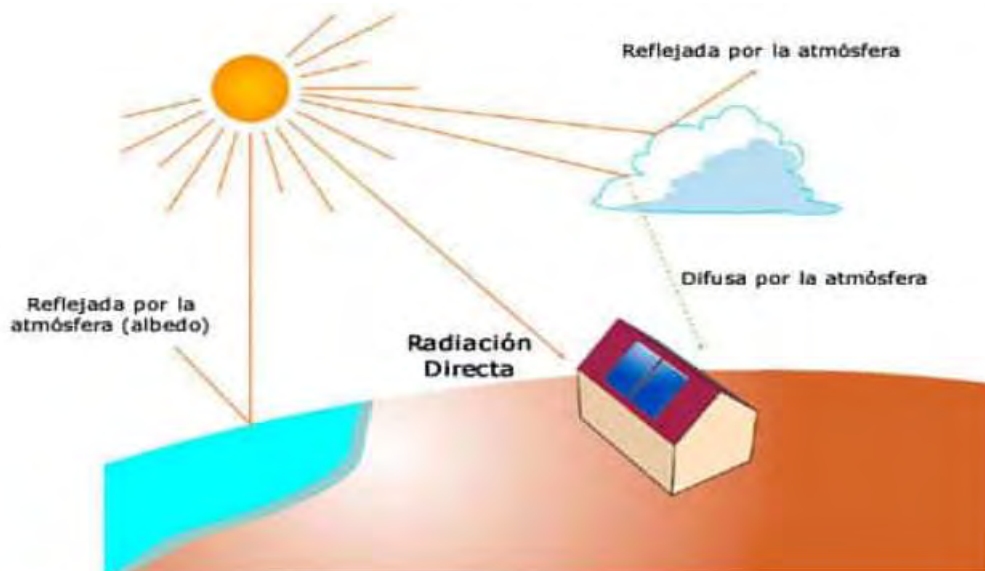
“Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmosfera” (Pareja, 2020).

Radiación albedo o reflejada:

“Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas” (Pareja, 2020).

Figura 5

Componentes de la Radiación Solar



Nota: Fuente (Lorenzo J. , 2024).

2.2.8. Evaluación de la radiación solar promedio por país del mundo

“Perú lidera a nivel mundial en captación de energía solar, con niveles que superan a Chile y Australia en varias de sus zonas. Su posición cercana al ecuador y el clima favorable le otorgan un gran potencial para instalar paneles solares, similar al famoso Desierto de Atacama. Algunas regiones llegan a recibir hasta 7.0 kWh/m² cada día, con un promedio nacional de 5.24 kWh/m²/día, convirtiéndolo en un sitio ideal para producir

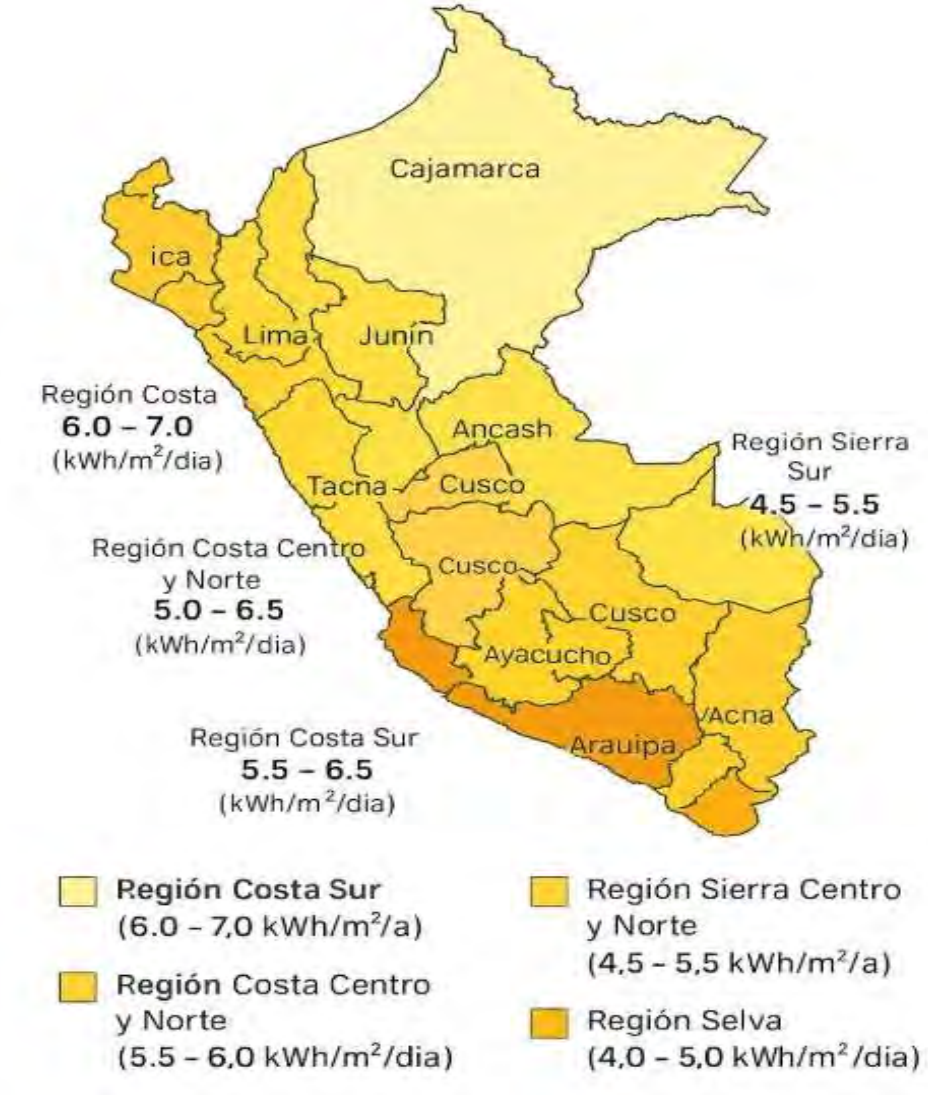
electricidad limpia mediante sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, la cantidad de sol varía bastante de una zona a otra del país” (Vargas N. , 2025).

Tabla 7
Radiación solar Promedio por País

PAIS/REGION	Radiación Solar Promedio	Unidad
Perú (regiones sur)	6.5-7.0	kWh/m ² /día
Perú (promedio nacional)	5.24	kWh/ m ² /día

Nota. Fuente (Vargas N. , 2025)

Figura 6
Mapa de Radiación Solar por Regiones



Nota: Fuente (Vargas N. , 2025).

2.2.9. Radiación solar por regiones del Perú

Según, (Vargas N. , 2025) el Perú, esta zonificado en varias regiones según la radiación Solar incidente, lo cuales son:

- Región costa sur (6.0-7.0 kWh/m²/día)

La región costera sur (Arequipa, Moquegua y Tacna) registra los máximos niveles de irradiancia solar en Perú y entre los más altos globalmente, con picos de hasta 7.0 kWh/m² diarios, ideal para proyectos fotovoltaicos de alta eficiencia en ingeniería eléctrica renovable.

- Región costa Centro y Norte (5.0-6.0 kWh/m²/día)

“Los departamentos litorales como Lima, Ica, La Libertad y Piura cuentan con condiciones óptimas para la generación fotovoltaica en sistemas de energías renovables. Lima registra alrededor de 5.0 kWh/m²/día, en tanto que Ica supera los 5.5 kWh/m²/día. Estas zonas exhiben estabilidad irradiancia solar anual con escasas fluctuaciones estacionales, favoreciendo la eficiencia operativa de paneles solares en ingeniería eléctrica” (Vargas N. , 2025).

- Región Sierra Sur (5.5 - 6.5 kWh/m²/día)

“La sierra sur, que abarca Cusco, Ayacucho y Huancavelica, exhibe un notable potencial fotovoltaico impulsado por su elevada altitud. Estas áreas aprovechan la atmósfera más delgada y mayor incidencia de radiación solar directa, optimizando el rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Puno, en el altiplano, mantiene niveles elevados y constantes de irradiancia solar a lo largo del año, favoreciendo la generación eléctrica estable mediante paneles solares eficientes” (Vargas N. , 2025).

- Región Sierra Centro y Norte (4.5 - 5.5 kWh/m²/día)

“Las regiones de Áncash, Junín, Huánuco y Cajamarca disponen de un recurso solar favorable en aplicaciones fotovoltaicas, con irradiancias que varían entre 4.5 y 5.5 kWh/m²/día en sistemas de energías renovables. Estas áreas logran niveles de radiación equivalentes o superiores a los de países europeos pioneros en generación solar” (Vargas N. , 2025).

Tabla 8
Departamentos con mayor potencial solar

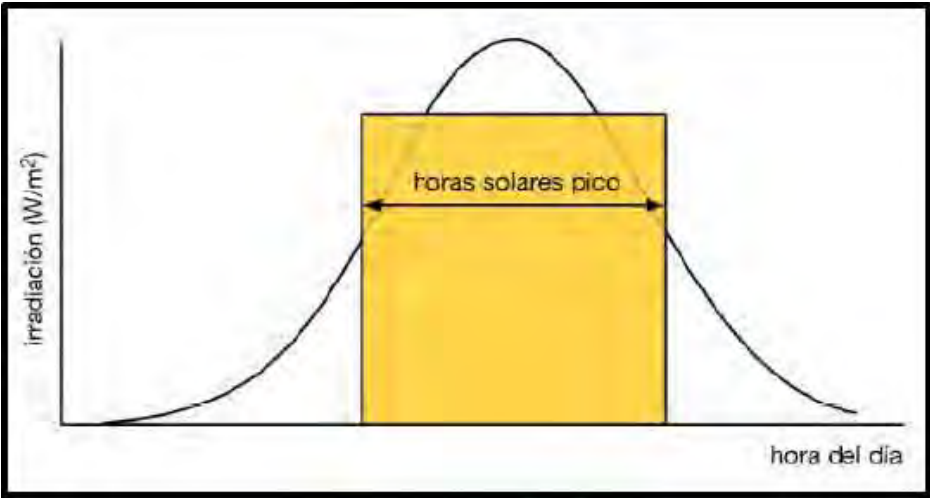
Departamento	Radiación solar	Unidad
Tacna	6.8	kWh/m2/día
Moquegua	6.7	kWh/m2/día
Arequipa	6.5	kWh/m2/día
Nazca	6.2	kWh/m2/día
Cusco	5.8	kWh/m2/día

Nota. Fuente (Vargas N. , 2025).

2.2.10. Hora pico del sol (HPS)

La hora solar pico (HSP) es una unidad que mide la irradiación solar y se define como la energía por unidad de superficie que se recibiría con una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m² (Quispe & Poccori, 2021).

Figura 7
Distribución de la Irradiación según la franja horaria



Nota: Fuente (Vargas N. , 2025).

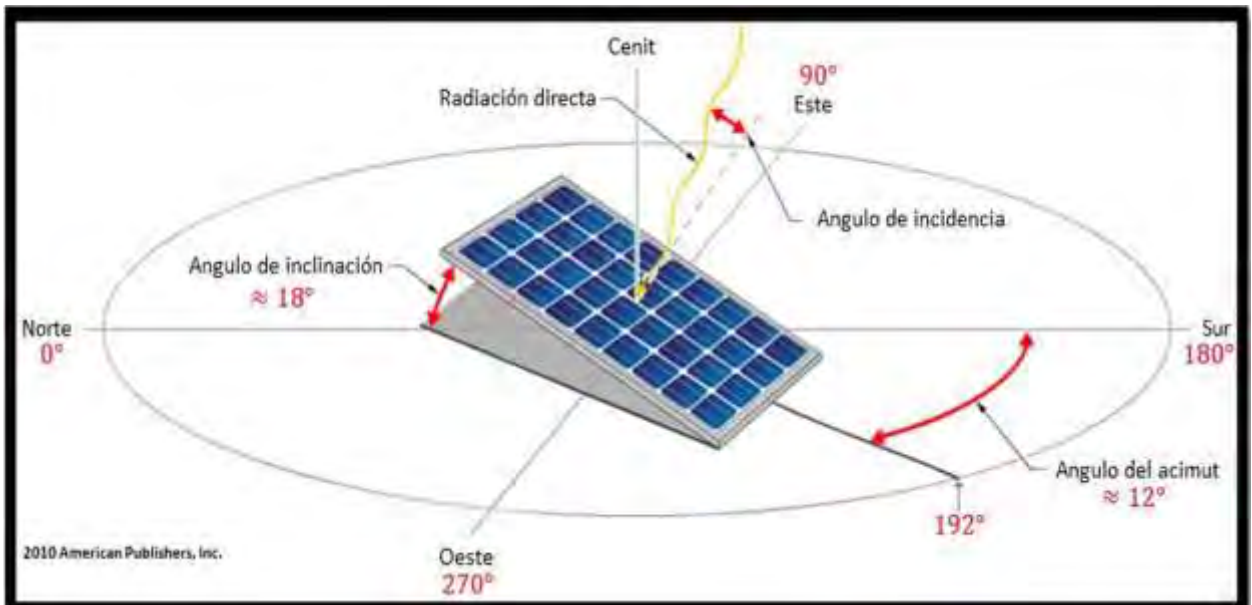
2.2.11. Altura solar H , el azimut α y la inclinación β

“De acuerdo con la Norma Técnica de Edificación EM-080, en su apartado sobre “Instalaciones con Energía Solar”, los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el norte geográfico. Asimismo, se establece que la inclinación óptima de los paneles solares será

Finalmente se tiene el ángulo β , que viene a ser la inclinación del módulo fotovoltaico con respecto al plano horizontal como se muestra en la figura” (Vargas N. , 2025).

Figura 8

Orientación y Inclinación de un panel solar



Nota: Fuente (Portal Energía Solar).

2.2.12. Sistemas fotovoltaicos.

“El sistema fotovoltaico permite la generación de energía mediante un medio renovable, usa como elemento principal el sol, específicamente los rayos solares” (Portal Energía Solar).

2.2.13. Clasificación de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos (SFV) pueden operar bajo tres configuraciones fundamentales, cada una con características y aplicaciones específicas en el ámbito de la ingeniería eléctrica. A continuación, se detallan estos esquemas de funcionamiento:

2.2.13.1. Sistemas aislados o sistemas autónomos

“Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) genera energía eléctrica destinada a abastecer cargas no interconectadas a la red, empleando un sistema de almacenamiento energético (como baterías) para suplir los períodos en los que la producción fotovoltaica es insuficiente para satisfacer la demanda de consumo”. (Perpiñan, 2023)

En la infraestructura de un sistema fotovoltaico aislado, se pueden identificar cuatro componentes clave:

- Los módulos fotovoltaicos.
- El controlador o sistema de protección de las baterías.
- Los bancos de almacenamiento (baterías).
- El convertidor de corriente (inversor).

Figura 9

Sistemas fotovoltaicos aislados



Nota: Fuente (Alfonso, 2024).

2.2.13.2. Sistemas híbridos

Según (Dominguez, 2015). Un sistema híbrido consiste en la combinación de dos o más tecnologías para formar un sistema integrado. Su objetivo es optimizar la eficiencia de cada tecnología, reduciendo el consumo de energía fósil y las emisiones de CO₂. Además, busca gestionar de manera automática y eficiente la tecnología más económica, minimizando la amortización y logrando así una instalación más rentable para el usuario.

Existen diferentes tipos de sistemas híbridos, según las tecnologías que se utilicen, tales como:

- a) Fotovoltaica + Eólica + Diésel
- b) Fotovoltaica + Diésel

2.2.14. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

“Un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) es un sistema cuyo función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada a la red convencional. Un SFCR se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas.

La energía generada por este sistema será aprovechada, ya sea de manera parcial o total, en las instalaciones cercanas al punto de generación. En caso de existir un excedente energético, este será inyectado a la red eléctrica, permitiendo su redistribución hacia otros centros de consumo. Para incentivar la integración de estos sistemas, suelen implementarse mecanismos de compensación económica que retribuyen al propietario por la energía intercambiada con la red. De manera general, pueden distinguirse dos modelos principales: la tarifa de inyección (feed-in fee) y el esquema de balance neto.

En el mecanismo de retribución con prima, el propietario del SFCR recibe ingresos por la energía total generada, sin considerar su consumo local. A diferencia de los sistemas autónomos o de bombeo, este modelo busca maximizar la producción anual

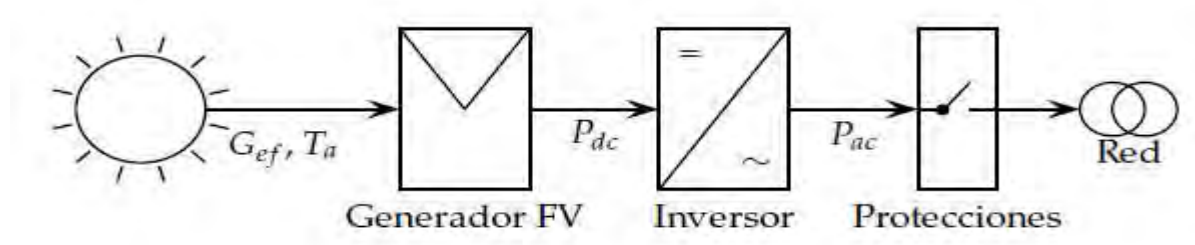
sin depender de una demanda específica, permitiendo la instalación de SFCR sin consumo asociado. Aunque favorece la generación distribuida cuando el costo de la energía es mayor que la tarifa convencional, puede generar un crecimiento desordenado sin regulaciones adicionales.

En contraste, el balance neto compensa la diferencia entre la energía producida y el consumo asociado. Los excedentes se inyectan a la red, generando derechos de consumo diferidos para momentos de baja producción. Este esquema promueve la generación distribuida y la gestión eficiente de la demanda, condicionando el tamaño del generador fotovoltaico al consumo previsto.

A lo largo de este capítulo, salvo indicación contraria, se asumirá que el SFCR opera bajo un esquema de retribución con prima, omitiendo el consumo asociado” (Perpiñan, 2023).

Figura 10

Esquema de un SFCR



Nota: Fuente (Alfonso, 2024).

2.2.14.1. Componentes principales de un sistema fotovoltaico conectado a la red

Los componentes principales son los siguientes:

- Modulo fotovoltaico
- Estructuras y cimientos de arreglo
- Reguladores de voltaje
- Controlador de carga de batería
- Inversor de corriente CD/ AC o un rectificador CA/CD

- Baterías de almacenamiento eléctrico
- Instrumentos de medida
- Cables e interruptores
- Red eléctrica circundante
- Cercado de seguridad sin incluir las aras eléctricas
- Elemento de medición o medidor bidireccional

2.2.14.2. Características distintivas de SFCR sobre suelo y en edificación SFCR en suelo

“El diseño de un SFCR en suelo busca maximizar la producción anual con el menor coste y ocupación posible. Se distinguen dos tipos: sistemas estáticos, con inclinación fija, y sistemas de seguimiento, que ajustan su posición para optimizar la captación solar y reducir pérdidas por reflexión. El seguimiento a doble eje es el más eficiente en términos de producción, ya que sigue al sol con precisión durante todo el día. Le sigue el sistema acimutal, más económico, que gira de este a oeste. El seguimiento polar, aunque efectivo, es complejo y poco utilizado en grandes instalaciones. El método horizontal con eje Norte-Sur destaca por su simplicidad, facilidad de motorización y mejor aprovechamiento del terreno en comparación con el doble eje” (Perpiñan, 2023).

2.2.14.3. SFCR en edificaciones

“El diseño de un SFCR en edificaciones suele ser más complejo que en instalaciones sobre suelo, debido a las restricciones impuestas por la arquitectura del edificio. La orientación e inclinación del generador no siempre pueden optimizarse para la máxima producción, ya que dependen de las características estructurales del inmueble” (Perpiñan, 2023).

2.2.15. Conexión serie – paralelo de paneles fotovoltaicos

“En el diseño de sistemas de autogeneración solar fotovoltaica, como los contemplados para la mejora del suministro eléctrico en instituciones educativas, la interconexión de los módulos solares puede realizarse principalmente de dos formas: en serie o en paralelo. Estos ajustes determinan el modo en que se vinculan eléctricamente los paneles fotovoltaicos entre sí, con el propósito de conformar un arreglo solar de mayor capacidad. A continuación, se expone una descripción técnica de ambas modalidades de conexión” (Perpiñan, 2023).

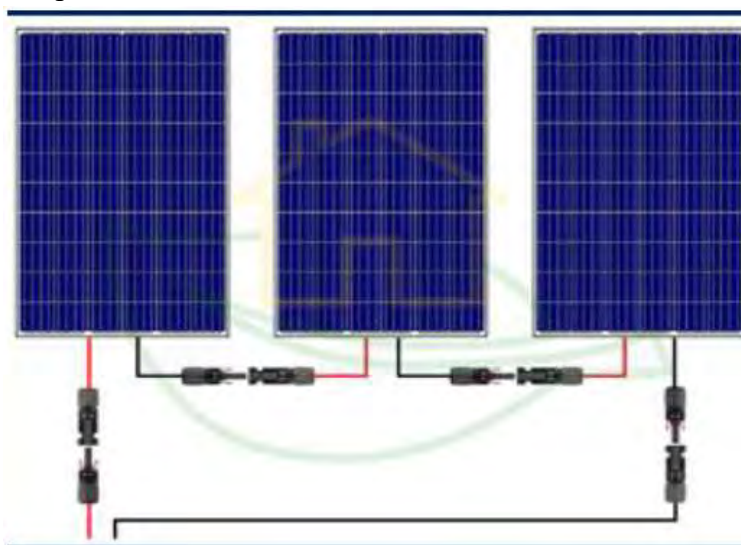
a) Conexión en serie:

- “La conexión en serie consiste en enlazar los módulos fotovoltaicos uno tras otro, permitiendo que la corriente circule secuencialmente a través de cada panel.
- La tensión total del sistema es equivalente a la suma de los voltajes individuales.
- La corriente que circula por todos los paneles conectados en serie es la misma.

Este tipo de configuración es apropiado cuando se requiere elevar el nivel de voltaje, como en sistemas de media o alta tensión” (Perpiñan, 2023).

Figura 11

Conexión Serie de paneles Fotovoltaicos



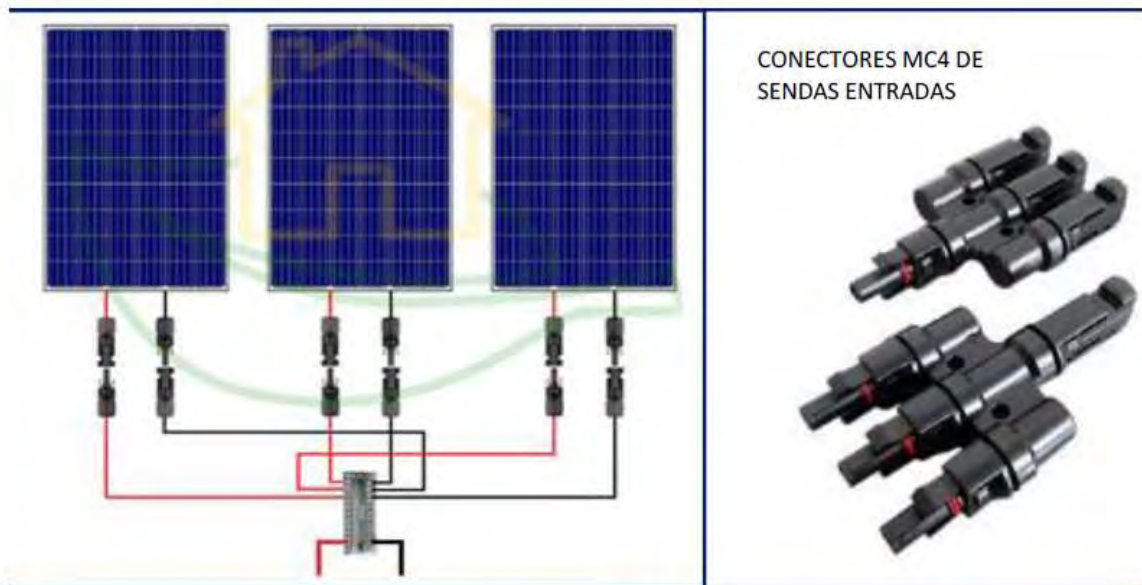
Nota: Fuente (Valdiviezo, 2014).

b) Conexión en paralelo:

- “En una conexión en paralelo, los módulos fotovoltaicos se disponen de tal forma que la corriente fluye de manera simultánea a través de cada uno.
- La tensión del sistema permanece igual a la de un solo panel.
- Esta configuración es recomendable cuando se necesita aumentar la corriente, como en aplicaciones de baja tensión o para sistemas de almacenamiento energético con baterías” (Perpiñan, 2023).

Figura 12

Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos



Nota: Fuente (Valdiviezo, 2014).

c) Combinación Serie-Paralelo:

- “En sistemas fotovoltaicos de mayor escala, se emplean configuraciones híbridas que combinan conexiones en serie y paralelo dentro de un mismo arreglo. Este diseño mixto permite ajustar el voltaje y la corriente a los requerimientos específicos del inversor y de la instalación” (Perpiñan, 2023).

2.2.16. Inversor de red

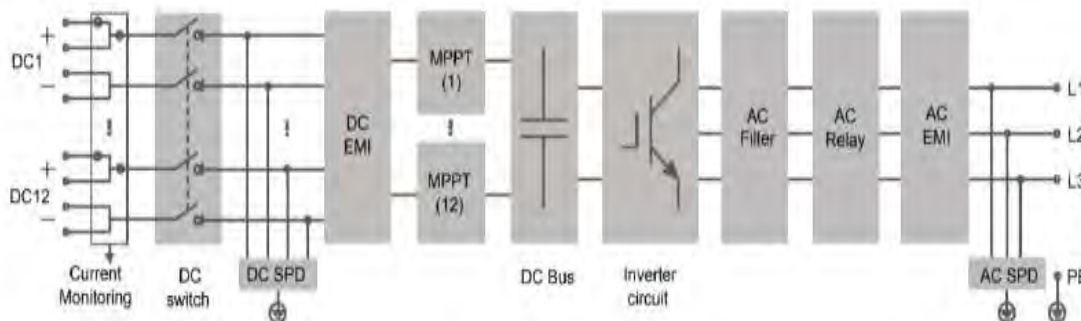
“Son dispositivos electrónicos de potencia cuya función principal es convertir la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna, compatible con los niveles de tensión utilizados en la red eléctrica, sustancialmente en baja tensión (por debajo de los 1000 V). Su diseño permite operar en distintos rangos de voltaje y frecuencia, ajustándose a las especificaciones del sistema y al modelo particular del equipo seleccionado” (Perpiñan, 2023).

2.2.16.1. Estructura de los inversores de red

“Mediante diversas etapas de control, rectificación y conversión, se logra transformar la señal de generación en corriente continua (DC) proveniente de los módulos fotovoltaicos en una señal de salida en corriente alterna (AC), la cual se sincroniza adecuadamente con la red eléctrica a la que se encuentra conectada” (Perpiñan, 2023).

Figura 13

Etapas de conversión de un inversor fotovoltaico



Nota: Fabricante Sungrow.

Tensión máxima fotovoltaica (V_{inv}): “Representa la tensión máxima que puede alcanzar una cadena conectada al inversor. Este valor se calcula en función del voltaje de circuito abierto (V_{oc}) de la cadena, considerando la condición de temperatura más baja prevista para la operación del módulo, mediante la siguiente expresión” (Perpiñan, 2023).

$$V_{inv} = V_{OC_{Temp. de operacion más baja}} \quad (Ec.1)$$

Número de entradas MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia): “Hace referencia a la cantidad de entradas independientes de seguimiento MPP que posee el inversor. Cada una de estas entradas regula de forma autónoma la generación del arreglo fotovoltaico al que está conectado. Esto permite que, en caso de que algún arreglo presente un rendimiento reducido, no afecte el desempeño del resto del sistema. La eficiencia típica de conversión de estas unidades en inversores conectados a red supera el 97%” (Perpiñan, 2023).

2.2.17. Principio de funcionamiento

“El funcionamiento de los inversores se define por su capacidad para determinar la frecuencia y la forma de onda de la tensión alterna que entrega a la carga. En situaciones que requieren mayores niveles de potencia, se utilizan inversores trifásicos, los cuales pueden estar constituidos por tres inversores monofásicos independientes conectados a una misma fuente, como se ilustra en la Figura 14. La condición necesaria para un funcionamiento adecuado es que las señales de activación de cada inversor tengan un desfase de 120° entre sí, con el fin de obtener una salida de tensión equilibrada” (Sanz, 2015).

2.2.18. Sistema de almacenamiento

“Un sistema de almacenamiento de energía (SAE) es un conjunto de componentes tecnológicos diseñado para capturar energía en un momento determinado, almacenarla en una forma específica (química, electroquímica, cinética, potencial, entre otras) y liberarla posteriormente para su uso como electricidad o en otras formas de energía útil. En el contexto de los sistemas fotovoltaicos, los SAE desempeñan un papel fundamental para superar la intermitencia natural de la generación solar, permitiendo el desplazamiento temporal de la energía, la estabilización de la red y el aumento de la autosuficiencia energética” (Sanz, 2015).

2.2.19. Interrupciones en el sistema de distribución

“La Calidad de Suministro se expresa en función de la continuidad del servicio eléctrico a los Clientes, es decir, de acuerdo a las interrupciones del servicio.

Para evaluar la Calidad de Suministro, se toman en cuenta indicadores que miden el número de interrupciones del servicio eléctrico, la duración de las mismas y la energía no suministrada a consecuencia de ellas. El Período de Control de interrupciones es de seis (6) meses calendario de duración” (Minas, 1997).

a) Consecuencia de las fallas

“Cuando se producen cambios en las condiciones de operación en un sistema eléctrico, se generan consecuencias no deseadas que perturban el equilibrio previsto. Estas implicaciones incluyen:

- Corrientes de cortocircuito.
- Variaciones bruscas en los niveles de voltaje.
- Desbalances que resultan en el funcionamiento inapropiado de equipos.
- Fluctuaciones en la potencia eléctrica.
- Inestabilidad en el sistema de potencia.
- Interrupciones prolongadas de la electricidad, que pueden causar desde pequeñas molestias hasta importantes pérdidas económicas para los clientes.
- Posibles daños peligrosos tanto a equipos como a personas.
- La aparición de tensiones peligrosas en distintos puntos del sistema eléctrico.

b) Causas de las fallas

- Aumento de voltaje debido a descargas atmosféricas.
- Incremento de voltaje ocasionado por maniobras de conmutación y fenómenos de ferorresonancia.

- Rotura de conductores, aisladores y estructuras de soporte debido a factores como vientos, sismos, acumulación de hielo, impacto de árboles, vehículos, maquinaria de construcción, actos de vandalismo, entre otros.
- Deterioro del aislamiento causado por animales como, aves, serpientes, etc.
- Incendios.
- Fallas en equipos y errores en la instalación de cables” (Cervantes & Silva, 2014).

2.2.19.1. Interrupciones de larga duración.

“Una interrupción prolongada se produce cuando no hay tensión durante más de 1 minuto y también es una condición en la que la tensión es inferior al 10% de la tensión nominal. Se dividen en interrupciones programadas y aleatorias, siendo estos últimos fallos primarios, es decir, incontrolables. Algunos ejemplos son los accidentes, los fenómenos ambientales y los errores humanos” (Cervantes & Silva, 2014).

2.2.19.2. Interrupciones de energía eléctrica

“Conforme a lo dispuesto en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos del año 1997, la evaluación de la calidad del suministro eléctrico se realiza principalmente en función de la continuidad del servicio prestado a los clientes, lo que implica el análisis de las interrupciones en el suministro. Dicha normativa establece un período de seguimiento de seis meses consecutivos para el control de estas interrupciones. En este sentido, la calidad del servicio eléctrico se evalúa considerando tanto la duración de las interrupciones como la cantidad de energía que deja de suministrarse a raíz de ellas. Para efectos de la norma, no se toman en cuenta las interrupciones del servicio cuya duración sea inferior a tres minutos, ni aquellas relacionadas con eventos de fuerza mayor, siempre que estas sean debidamente justificadas y reconocidas como tales por la autoridad” (Cervantes & Silva, 2014).

2.2.19.3. Clasificación de interrupciones

“La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos establece criterios para evaluar la continuidad del suministro, mediante los indicadores N (número de interrupciones) y D (duración). Sin embargo, se evidencia que esta regulación no logra mejoras significativas en la confiabilidad del servicio. Ante ello, en 2004, OSINERGMIN incorporó el Anexo 03 de la Resolución N° 177-2012-OS/CD, que define un protocolo de supervisión operativa de los sistemas eléctricos. Dicho mecanismo permite analizar las redes de media tensión por sistema, aplicando índices internacionales como SAIDI y SAIFI. Además, desde 2007 se fijaron límites máximos permitidos y penalizaciones por incumplimiento. La clasificación de las interrupciones se detalla en la Tabla siguiente, presentada a continuación” (Narváez Ojeda, 2023).

Tabla 9

Naturaleza de interrupciones

Descripción	
PM	Programado, mantenimiento
PE	Programado, expansión o reforzamiento
NF	no programado, falla
NC	No programado, fenómenos naturales
NO	No programado, operación
NT	No programado, acción de terceros

Nota. Fuente (Minas, 1997).

2.2.19.4. Causas de las interrupciones

“Las interrupciones en el servicio al cliente pueden ser ocasionadas por diversos factores, como mal funcionamiento de los equipos, la presencia de animales, árboles, condiciones climáticas extremas y errores humanos” (Narváez Ojeda, 2023).

2.3. Marco normativo

2.3.1. Normativa de Calidad del Suministro Eléctrico y la Brecha Identificada

La Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE), aprobada mediante Decreto Supremo N° 020-2017-EM, es el instrumento regulatorio central que establece los límites máximos permisibles para los indicadores de continuidad del servicio, el SAIFI y el SAIDI.

- Límites de la NTCSE: Para la zona donde se ubica la Institución Educativa Particular Yachay, la norma establece un límite máximo de 14 interrupciones por cliente al año (SAIFI) y 34 horas acumuladas de interrupción por cliente al año (SAIDI).

2.3.2. Normativa que habilita la Solución: Generación Distribuida

Para abordar esta brecha de calidad, el marco legal peruano habilita a los usuarios a convertirse en generadores de su propia energía mediante la Ley de Generación Distribuida (Ley N° 28832) y su Reglamento (Decreto Supremo N° 020-2021-EM).

- Figura del Usuario-Generador: Esta ley permite que consumidores como la IEP Yachay se registren como "Usuarios-Generadores", instalando sistemas de generación renovable (como el solar fotovoltaico) de hasta 200 kW de potencia para autoconsumo.
- Mecanismo de Medición Neta: El reglamento establece el esquema de medición neta, mediante el cual la energía excedente generada por la institución e inyectada a la red pública se contabiliza como un crédito energético. Este crédito puede ser utilizado para compensar el consumo de la red en horas sin sol, optimizando el ahorro económico del proyecto.

2.3.3. Calidad de servicio eléctrico

Conforme a lo dispuesto en el Decreto Supremo N.º 020-1997-EM, el cual oficializa la (NTCSE), la calidad del servicio eléctrico se estructura en tres dimensiones

fundamentales: calidad técnica, calidad comercial, calidad del alumbrado público y del suministro eléctrico. Dichos indicadores persiguen como objetivo esencial garantizar la seguridad pública, priorizando el bienestar de los usuarios.

Tabla 10

Indicadores de calidad de servicio eléctrico

ORGANISMO DE REGULACION, FISCALIZACION		OSINERGMIN
		NTCSE
REGLAMENTO Y NORMA	a)	CALIDAD DE PRODUCTO
		• Tensión • Perturbación • Frecuencia
	b)	CALIDAD DE SUMINISTRO
ASPECTOS DE CONTROL DE CALIDAD		• Interrupciones
	c)	CALIDAD DE SERVICIO COMERC
	d)	CALIDAD DE ALUMBRADO PUBLI
INDICADORES	e)	INDICADORES DE CALIDAD DE S
		• SAIDI (h/año) • SAIFI (int/año)

Nota. Fuente (Minas, 1997).

2.3.4. Indicadores de calidad de suministro por sistema eléctrico

a) SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

“Este indicador permite determinar el tiempo promedio que un usuario permanece sin servicio eléctrico debido a una interrupción. Su valor depende de múltiples factores, como el lugar donde ocurre la falla, su nivel de gravedad y la disponibilidad de recursos técnicos para restablecer el suministro, incluyendo personal especializado, unidades móviles, materiales y medios eléctricos de comunicación. Asimismo, variables como la

accesibilidad del área afectada, la extensión de la infraestructura eléctrica y otras condiciones operativas también influyen en este indicador” (Narváez Ojeda, 2023).

$$SAIDI = \frac{\text{Suma de las duraciones de las interrupciones}}{\text{Numero total de usuarios}} \left[\frac{h}{\text{año}} \right] \quad (\text{Ec.2})$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i + u_i)}{N} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

t_i : Duración de cada interrupción

u_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción

n : Numero de interrupciones en el periodo

N : Numero de usuarios del sistema eléctrico al final del periodo

b) SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Este indicador evalúa la frecuencia con la que ocurren interrupciones del servicio eléctrico por usuario en los sistemas de distribución. Se determina tomando en cuenta la cantidad de cortes o fallos en el suministro de energía, los cuales pueden originarse por diversos factores, tales como fallas en los componentes, maniobras operativas o condiciones que afectan la disponibilidad de los sistemas eléctricos. Estos problemas pueden ser de naturaleza interna, relacionados con aspectos como el diseño de las redes, el estado de las instalaciones y el funcionamiento de los sistemas de protección, o bien de origen externo, asociados al entorno de la intervención de terceros en la operación del sistema.

$$SAIFI = \frac{\text{Numero de interrupciones}}{\text{Numero total de usuarios}} \left[\frac{\text{int.}}{\text{año}} \right] \quad (\text{Ec.4})$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{N} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

u_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción

n: Numero de interrupciones en el periodo

N: Numero de usuarios del sistema eléctrico al final del periodo

2.3.5. Responsabilidad de la empresa distribuidora

De acuerdo con el marco normativo peruano, específicamente la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE - DS 020-2017-EM), la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. tiene la obligación legal de proveer un servicio que cumpla con los estándares de calidad establecidos. Esto incluye:

1. Garantizar los Límites de SAIFI y SAIDI: La distribuidora es responsable de que los indicadores de continuidad en su red no superen los límites máximos permisibles.
2. Mantener la Infraestructura: Debe realizar el mantenimiento adecuado de la red de distribución para prevenir fallas.
3. Restablecer el Servicio: Ante una interrupción, está obligada a reparar la falla en el menor tiempo posible.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY

3.1. Introducción

En el presente capítulo se realiza un diagnóstico eléctrico detallado de la Institución Educativa Particular Yachay, abarcando el análisis de consumos históricos, la caracterización de cargas eléctricas y la evaluación de la calidad del suministro. Este diagnóstico permite establecer una línea base del comportamiento energético de la institución, identificar deficiencias en el sistema eléctrico y cuantificar los costos asociados a las interrupciones del servicio.

3.2. Diagnóstico de la Institución Educativa Particular Yachay

De acuerdo con la Norma ISO 50001:2018, el desempeño energético se entiende como un concepto integral que abarca la interacción entre la eficiencia en el uso de la energía, los patrones de consumo y las formas en que esta se utiliza. Estos tres elementos eficiencia, uso y consumo energético constituyen los pilares fundamentales que toda organización debe gestionar adecuadamente para alcanzar un desempeño energético óptimo y sostenible.

3.2.1. Descripción de los equipos existentes

Se realizó un diagnóstico detallado del consumo actual de energía eléctrica en la institución, complementado con la recopilación de información específica sobre sus características operativas. Este análisis se llevó a cabo mediante visitas in situ y observaciones directas.

Tabla 11

Cuadro de Equipos Eléctricos

Ítems	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	POTENCIA	TOTAL,
			EN PLACA (w)	POTENCIA (w)
1	Alumbrado Fluorescente	71	36	2556
2	Tomacorriente	80	-	3300
3	Computadora	1	600	600
4	Cañón multimedia	3	498	1494
5	Fotocopias	2	900	1800
6	Impresora	1	490	490
7	Estéreo musical	1	75	75
8	Laptop	11	95	570

Nota. Fuente propia.

Figura 14

Panel fotográfico (proyector)



Nota. Fuente propia.

Figura 15

Panel fotográfico estéreo



Nota. Fuente propia.

Figura 16

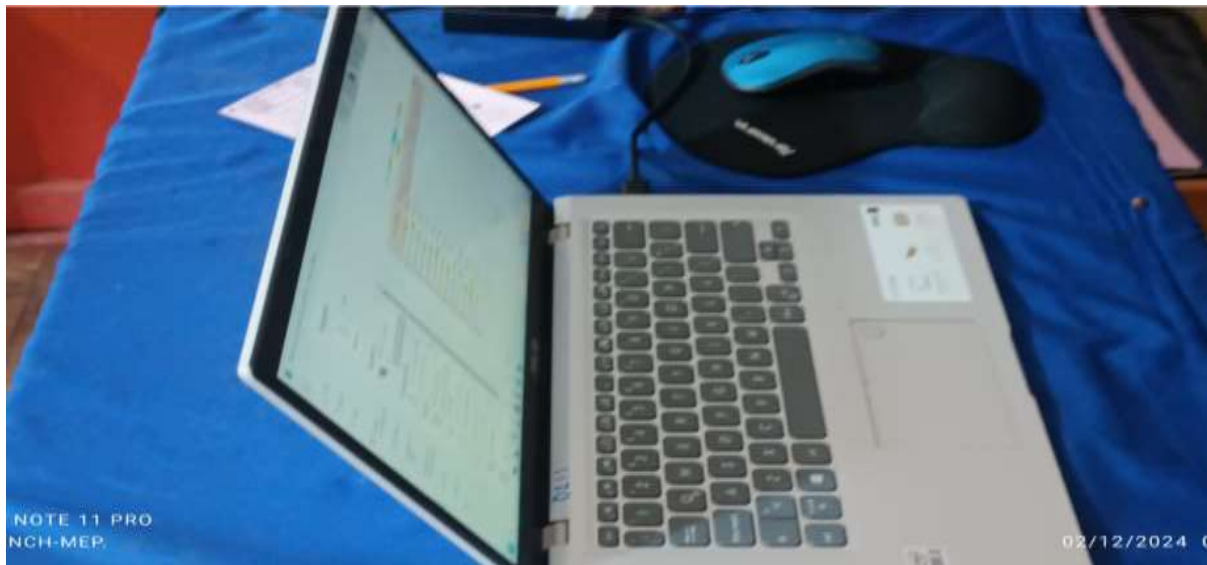
Panel fotográfico impresoras



Nota. Fuente propia.

Figura 17

Panel fotográfico laptop



Nota. Fuente propia.

Figura 18

Panel fotográfico fotocopias



Nota. Fuente propia.

3.2.2. Caracterización de Cargas de la Institución Educativa

La institución educativa se alimenta con un circuito triásico de 220 v.

Tabla 12

Cálculo de la Máxima Demanda Diversificada a partir de la Potencia Instalada

TABLERO	CTO.	CARGA	CARGA UNITARIA (Kw)	CANTIDAD	POTENCIA INSTALADA (Kw)	FACTOR DE DEMANDA	MAXIMA DEMANDA (kW)
TABLERO DISTRIBUCION TD	A	CARGAS BASICAS					
	1	ALUMBRADO	1.50	1	1.50	0.90	1.35
	2	TOMACORRIENTES	2.00	1	2.00	0.80	1.60
	3	COMPUTADORA	0.30	2	0.60	0.85	0.51
	4	CAÑON MULTIMEDIA	0.30	2	0.60	0.85	0.51
	5	FOTOCOPIADORA	0.30	2	1.60	0.75	0.45
	6	IMPRESORA	0.30	1	0.30	0.85	0.26
	7	LAPTOP	0.20	10	1.75	0.75	1.50
	8	STEREO MUSICAL	0.17	2	0.80	0.80	0.27
	B	RESERVA 25%			1.00	1.00	1.99
	C	FACTOR DE SIMULTANEIDAD			1.00	0.75	0.75
TOTAL					9.93		8.43
POTENCIA INTALADA			9.93	kW			
FACTOR DE SIMULTANEIDAD			0.50	kW			
MAXIMA DEMANDA DIVERSIFICADA			4.97	kW			
POTENCIA A CONTRATAR			5.00	kW			

Nota. Fuente propia.

3.3. Diagnóstico Eléctrico y Análisis de Consumos

3.3.1. Definición de la auditoría energética

El diagnóstico eléctrico constituye un procedimiento estructurado cuyo objetivo es analizar en profundidad el perfil de consumo eléctrico de una instalación, así como evaluar las condiciones del suministro y la calidad del servicio. Este proceso permite identificar y evaluar oportunidades de optimización en el uso de la energía eléctrica, considerando criterios técnicos, económicos y de eficiencia. Su finalidad principal es implementar mejoras que no solo incrementen la calidad de los servicios ofrecidos, sino que también generen un impacto positivo en el ámbito económico y ambiental.

Asimismo, el diagnóstico eléctrico puede entenderse como un procedimiento metódico, imparcial y debidamente documentado, orientado a recopilar evidencias y realizar una evaluación objetiva del desempeño eléctrico de una organización o de una de sus áreas específicas.

Para llevar a cabo una planificación efectiva del diagnóstico, es fundamental establecer con precisión los siguientes aspectos:

- Delimitación del alcance técnico.
- Identificación de las fuentes de suministro energético.
- Revisión y análisis histórico del consumo eléctrico del instituto.
- Consideración de estudios o intervenciones previas.

3.3.2. Alcance técnico

El alcance técnico del presente diagnóstico eléctrico comprende el análisis de las áreas físicas, las instalaciones eléctricas, los servicios asociados y los procesos productivos vinculados a la institución educativa. Este alcance establece los límites del estudio, detallando los componentes específicos que serán objeto de evaluación y diagnóstico.

A continuación, se presenta la delimitación técnica correspondiente al proyecto de tesis desarrollado para la Institución Educativa Particular Yachay.

Datos generales de la Institución

La Institución Educativa Particular Yachay es un centro educativo privado que atiende los niveles de educación inicial, primaria y secundaria. Ubicada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, tiene como propósito ofrecer una formación integral y de calidad, fundamentada en un enfoque humanista y en valores, con el objetivo de desarrollar en el estudiantado capacidades críticas y creativas.

Tabla 13

Cuadro de datos característicos de la Institución Educativa Yachay

Nombre IE:	INSTITUCION EDUCATIVA PARTICULAR ALTERNATIVO YACHAY
Nivel	Educación inicial, primaria y secundaria
Dirección	calle belleza S/N
Distrito	Chinchero
Provincia	Urubamba
Departamento	Cusco
Ubigeo	71302
Área	Urbana de media densidad
Teléfono	(084) 750071
Web	https://sites.google.com/ieyachay.org/ieyachay/nosotros/misi%C3%B3n-y-visi%C3%B3n?authuser=0
Genero	Mixto
Turno	mañana y tarde
Tipo	privada
Promotor	privada particular
Ugel	UGEL Urubamba
Estado	activo

Nota. Fuente propia.

3.3.3. Fuente de suministro energético

La totalidad de la energía eléctrica utilizada por la institución proviene de la empresa distribuidora Electro Sur Este S.A.A. El suministro eléctrico se adquiere en su integridad a través de un único punto de conexión (medidor), gestionado por dicha empresa. Esta información se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 14

Características del suministro eléctrico de la institución Educativa

NOMBRE	DESCRIPCION
ruta	0130201004698
CODIGO	10070013952
NOMBRE	CUSI INCA ANA MARIA
DIRECCION	NUEVA VICTORIA CHINCHERO
ALIMENTACION	Aérea
MAXIMETRO	Registrador
MARCA MEDIDOR	STAR
FASES MEDIDOR	3
ESTADO	NORMAL
PRESC. MEDIDOR	fabrica
PRESC. CAJATOMA	remache
PRESC. BORNERA	sp
SERIE MEDIDOR	608050731
POT. CONTRATADA	10.5
POT. CONTRATADA HP	0
POT. CONTRATADA HFP	0
SED	CA030668
FACTOR EA	1
FACTOR MD	0
FACTOR ER	0
TARIFA	BT5B

Nota. Fuente propia.

3.3.4. Análisis energético del historial del consumo eléctrico

En esta sección se presenta el registro histórico del consumo y los pagos anuales correspondientes al suministro eléctrico de la institución educativa, abarcando el período comprendido entre mayo del 2005 y abril del 2025, los cuales sirven como base para la evaluación del comportamiento energético a lo largo del tiempo.

Tabla 15

Resumen del Historial del consumo anual de la Institución Educativa

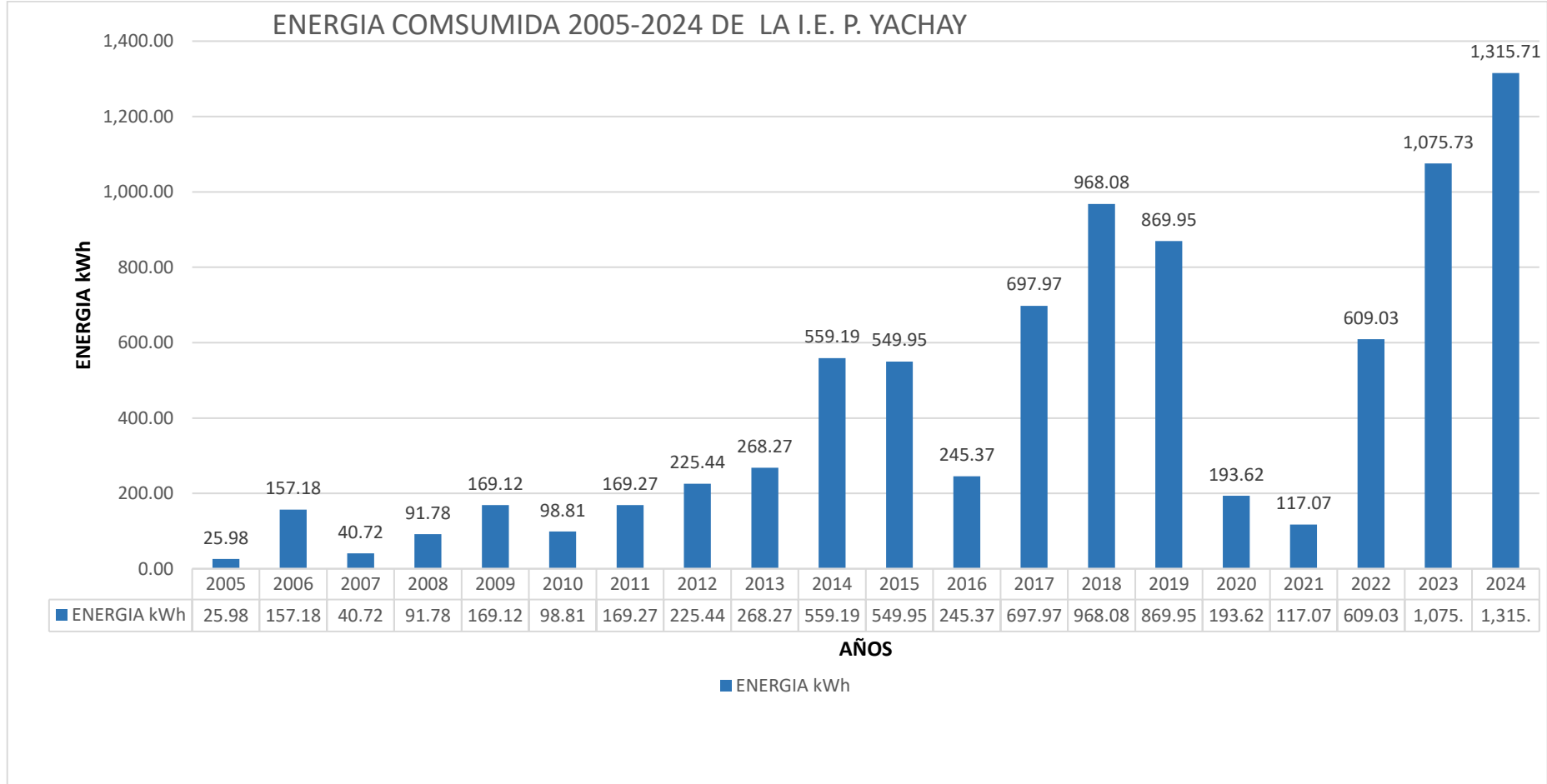
Año	Monto pagado (S/)	CEA Anual (kWh)	Tarifa unitaria (S//kWh)	Observaciones
2005	219.28	54	4.06	Inicio operaciones, bajo consumo
2006	351.62	312	1.13	Incremento por expansión
2007	109.84	82	1.34	Reducción actividades
2008	165.40	166	1.00	Operación parcial
2009	312.15	325	0.96	Crecimiento institucional
2010	228.18	193	1.18	Operación normal
2011	548.12	319	1.72	Expansión infraestructura
2012	449.10	416	1.08	Incremento equipamiento
2013	976.70	475	2.06	Incluye reconexión por morosidad
2014	1,605.55	858	1.87	Operación plena
2015	1,311.95	759	1.73	Operación plena
2016	511.95	318	1.61	Reducción actividades (incluye corte por morosidad)
2017	1,131.40	893	1.27	Recuperación operativa
2018	1,855.35	1,177	1.58	Máximo consumo hasta ese momento
2019	1,719.40	1,053	1.63	Operación normal
2020	1,630.10	275	5.93	Pandemia COVID-19, clases virtuales - cargo fijo elevado
2021	348.70	154	2.26	Pandemia, retorno parcial presencial
2022	1,263.60	702	1.80	Retorno clases presenciales

Año	Monto pagado (S/)	CEA Anual (kWh)	Tarifa unitaria (S//kWh)	Observaciones
2023	2,757.80	1,253	2.20	Operación plena, incluye deuda acumulada
2024	3,096.60	1,520	2.04	Máximo histórico consumo y costo
2025 (ene- abr)	615.50	302 (est.)	2.04	Dato parcial (4 meses)
TOTAL	S/ 20,208.19	11,669 kWh	1.73 (promedio)	

Nota. Fuente centro de control ELSE.

Figura 19

Consumo de energía eléctrica anual de la Institución Educativa



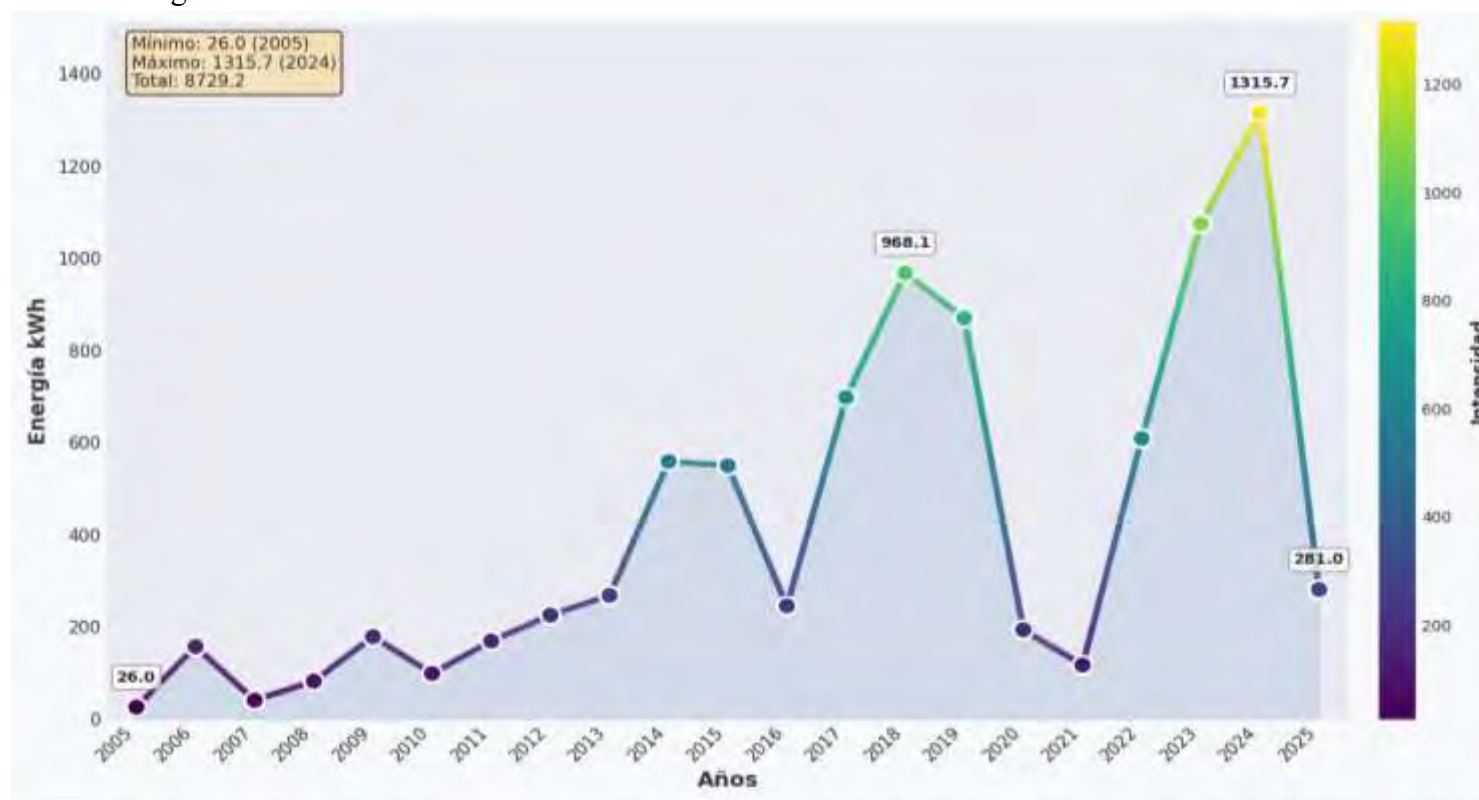
Nota. Fuente propia.

3.3.5. Historial consumo energético periodo 2005-2024

Seguidamente, se expone el historial de consumo energético del centro educativo correspondiente al intervalo comprendido entre 2005 y 2024, lo que representa un lapso de 19 años.

Figura 20

Historial del consumo energético de la Institución Educativa 2005-2025

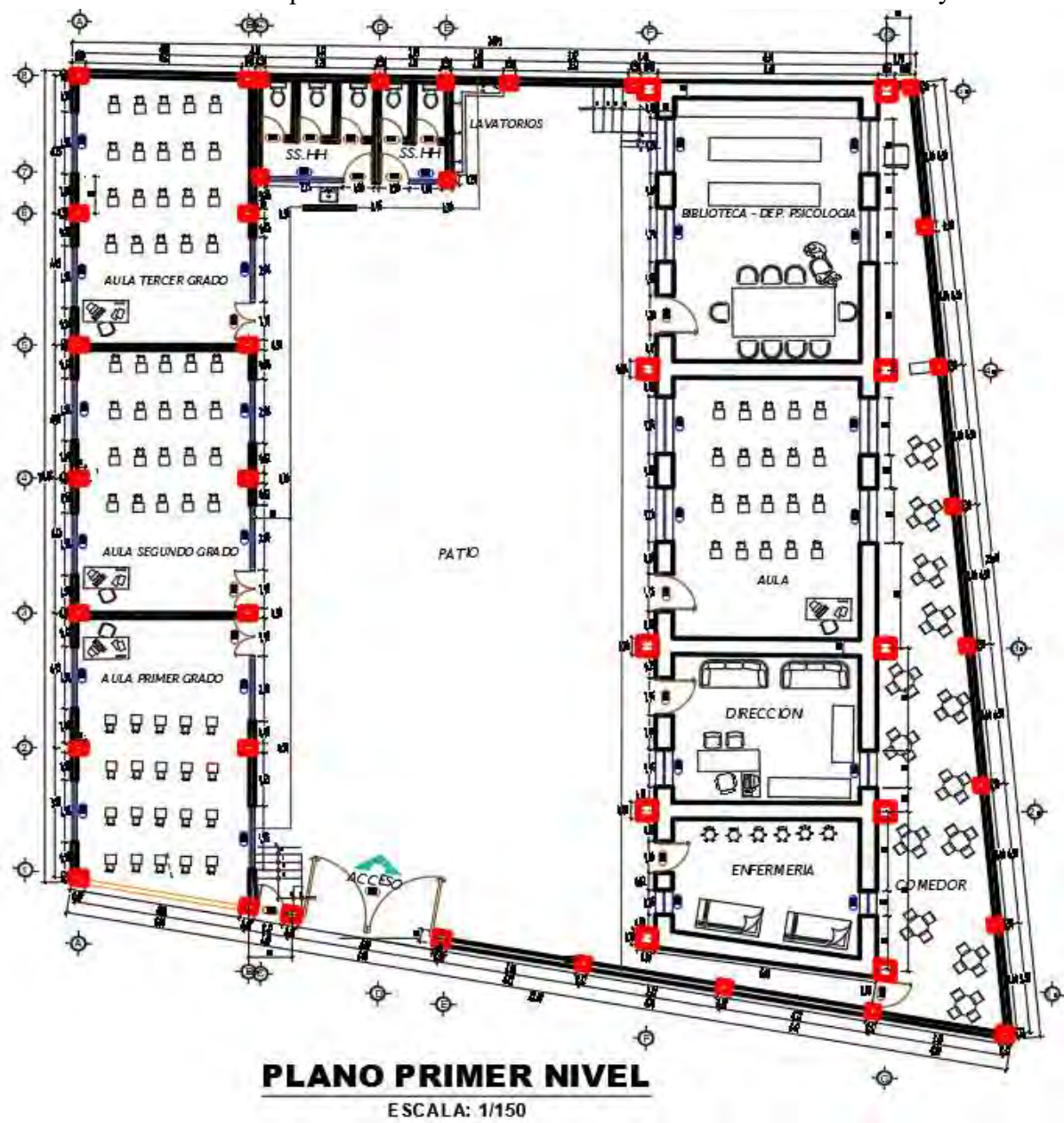


Nota: fuente Electro Sur Este.

El historial evidencia un problema recurrente y grave de morosidad. Se identifican al menos 15 eventos de corte de servicio ("TIPO CORTE I") por falta de pago, distribuidos en distintos años (2005, 2011, 2013, 2014, 2015, 2023, 2024). Esto no es un incidente aislado, sino un patrón que sugiere una falla estructural en la planificación presupuestal o en la gestión administrativa del centro educativo. Estos cortes generan costos adicionales por intereses y reactivación.

Figura 21

Planta de distribución de primer nivel de la Institución Educativa Particular Yachay



Nota. Fuente Institución educativa Particular Yachay.

Figura 22

Planta de distribución de segundo Nivel de la Institución Educativa Particular Yachay



Nota. Fuente Institución educativa Particular Yachay.

3.3.6. Criterios Técnicos

El análisis técnico evalúa el estado de las instalaciones eléctricas, la calidad del suministro y la adecuación de los equipos a las necesidades de la institución.

a) Estado de las instalaciones eléctricas:

La Institución Educativa Particular Yachay cuenta con un sistema de suministro en baja tensión (220 V, trifásico) proveniente de la subestación de Cachimayo a través del alimentador CA-03. El sistema de distribución interno opera con tablero de TD con circuitos diferenciados para alumbrado y tomacorrientes.

Se identificaron los siguientes aspectos técnicos relevantes:

- Suministro en BT 220 V, trifásico, desde la SED CA030668 de Electro Sur Este.
- Potencia contratada: 10.5 kW bajo la tarifa BT5B (uso general en baja tensión).
- Medidor trifásico marca STAR, serie 608050731.
- Instalaciones internas en regular estado, con circuitos de alumbrado y tomacorrientes independientes por nivel.
- Ausencia de sistema de protección contra sobretensiones transitorias (SPD), lo que incrementa el riesgo de daño a equipos electrónicos durante tormentas eléctricas (principal causa de interrupciones en la zona).
- Sin sistema de monitoreo de calidad de energía (analizador de redes permanente).

b) Calidad del suministro eléctrico:

El análisis histórico del periodo 2021-2023 evidencia una situación crítica en la calidad del suministro:

Tabla 16

Interrupciones la Institución Educativa Particular Yachay del año 2021

Indicador	2021	2022	2023	Promedio	Límite NTCSE	Cumplimiento
SAIFI (int./año)	28	28	33	29.7	14	NO
SAIDI (h/ año)	30.17	34.83	35.75	33.58	34	NO (2022-23)
% Interrup. no prog.	96.4%	89.3%	81.8%	89.2%	-	-

Nota. Elaboración propia a partir de reportes técnicos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. (2021-2023) y la Norma Técnica de Calidad del Servicio Eléctrico (NTCSE - DS 020-2017-EM).

El SAIFI promedio de 29.7 supera en 212% el límite normativo de 14. La principal causa son los fenómenos naturales (lluvias y descargas eléctricas), responsables del 58-64% de las interrupciones anuales.

3.3.7. Criterios Económicos

El análisis económico de la auditoria evalúa el costo actual del suministro y las oportunidades de reducción de gastos energéticos.

a) Evolución del costo energético (2014-2024):

Para comprender la magnitud del problema económico y establecer una línea base confiable, se analizó la evolución histórica del consumo y el gasto en facturación eléctrica de la Institución Educativa Particular Yachay durante el período 2014-2024. Este análisis permite identificar tendencias, detectar anomalías (como el efecto de la pandemia COVID-19 en los años 2020-2021) y cuantificar el crecimiento real de la demanda energética en el retorno a la presencialidad. Los resultados se presentan en la Tabla 17 Evolución del costo energético (2014-2024).

Tabla 17

Evolución del costo energético (2014-2024)

Periodo	Consumo (kWh/año)	Gasto (S/)	Costo (S//kWh)	unit.	Observación
2014	858	1,605.55	1.871		Operación normal
2018	1,177	1,855.35	1.576		Crecimiento consumo
2019	1,053	1,719.40	1.633		Crecimiento consumo
2020	275	1,630.10	5.927		Pandemia - clases virtuales
2021	154	348.70	2.264		Pandemia - bajo consumo
2022	702	1,263.60	1.800		Retorno presencial
2023	1,253	2,757.80	2.201		Máximo histórico consumo
2024	1,520	3,096.60	2.037		Máximo histórico costo

Nota. Elaboración propia en base a inspección técnica y fichas técnicas de los equipos.

b) Proyección del gasto sin sistema fotovoltaico:

Con una tasa de crecimiento del consumo del 8% anual (tendencia 2019-2024) y una tasa de incremento tarifario del 3% anual (referencia OSINERGMIN), el gasto proyectado en los próximos 5 años sería:

Tabla 18

Proyección del gasto en facturación eléctrica sin implementación del sistema fotovoltaico

Año	Consumo (kWh/año)	proy. Tarifa (S//kWh)	proy. Gasto proy. (S/)
2025	1,642	2.098	3,444.72
2026	1,773	2.161	3,831.63
2027	1,914	2.226	4,260.56
2028	2,067	2.293	4,739.53
2029	2,232	2.362	5,269.98
5 años acum.	9,628	-	21,546.42

Nota. Elaboración propia. Tasa de crecimiento del consumo: 8% anual (tendencia 2019-2024).

Tasa de incremento tarifario: 3% anual (referencia OSINERGMIN).

Sin intervención, la institución pagaría más de S/ 21,546 en los próximos 5 años solo en facturación eléctrica, sin considerar los costos por daño a equipos por interrupciones.

c) Costos por interrupciones (situación actual sin SFV):

Adicionalmente al gasto por consumo de energía, la mala calidad del suministro eléctrico genera costos indirectos significativos que no se reflejan en la facturación de Electro Sur Este, pero que impactan directamente en la economía de la institución. Estos costos están asociados a daños en equipos electrónicos, reparaciones técnicas imprevistas, pérdida de horas lectivas y el riesgo de sanciones por incumplimiento del calendario académico. En la Tabla 19 se cuantifican estos costos anuales estimados para la situación actual sin sistema fotovoltaico.

Tabla 19
Costos por interrupciones (situación actual sin SFV)

Tipo de costo	Base de calculo	Costo anual estimado (S/)
Daño a equipos electrónicos	8% de S/ 35,000 en equipos vulnerables	2,800.00
Reparaciones técnicas	4 eventos x S/ 280 promedio	1,120.00
Perdida horas lectivas	33.58 h x costo oportunidad S/ 50/h	1,679.00
Riesgo sanción UGEL	Incumplimiento Ley 28044 (estimado)	1,783.33
TOTAL, costos anuales	-	7,382.33

Nota. La tasa de daño del 8% anual se estima con base en el historial de fallas reportadas por la institución y referencias técnicas de equipos electrónicos en zonas con mala calidad de suministro (IEEE 1159-2019).

CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO Y MODELAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY

4.1. Sistema eléctrico de la Institución Educativa Particular Yachay

El suministro eléctrico de la institución educativa objeto del presente estudio se realiza a través del alimentador proveniente de la Subestación de Cachimayo, la cual cuenta con dos transformadores (138/60/22.9 y 38/34.5/10.5) con la cual alimenta con 10.5 kV al distrito de Chinchero. Esta subestación, que se encuentra en estado operativo y funcional, forma parte del sistema de transformación de energía, permitiendo la distribución hacia redes de media tensión que abastecen diversas zonas del distrito, incluyendo a la Institución Educativa Yachay. El suministro final se efectúa con una tensión de 220 V, adecuada para las instalaciones internas de la institución, aunque con posibilidades de mejora en cuanto a continuidad y calidad del servicio, lo que justifica el presente estudio de autogeneración mediante energía solar fotovoltaica.

4.2. Evaluación de la radiación solar

Para la evaluación del recurso solar se empleó la plataforma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) de la Comisión Europea, ingresando las coordenadas del sitio. Se identificó el mes crítico de menor irradiación, que corresponde a junio, con el valor de Horas Sol Pico (HSP) que se utiliza para el dimensionamiento conservador del sistema.

Tabla 20
Irradiación solar mensual en Chinchero (PVGIS)

Mes	Irradiación diaria (kWh/m²/día)	HSP (h/día)
Enero	5.82	5.82
Febrero	5.45	5.45
Marzo	5.24	5.24
Abril	5.10	5.10
Mayo	4.78	4.78
Junio (crítico)	4.43	4.43
Julio	4.65	4.65
Agosto	5.02	5.02
Setiembre	5.38	5.38

Octubre	5.61	5.61
Noviembre	5.74	5.74
Diciembre	5.90	5.90

Nota. Fuente: Base de datos PVGIS, Comisión Europea. HSP crítico de diseño: 4.43 h/día (junio).

Se adopta como valor de diseño el mes de junio con HSP = 4.43 h/día, garantizando que el sistema cubra la demanda incluso en el peor mes del año.

4.3. Corrección de Eficiencia por Altitud

La Institución Educativa Particular Yachay se encuentra a 3,660 m.s.n.m. A esta altitud, la menor densidad del aire reduce la capacidad de disipación térmica de los equipos electrónicos (inversores y controladores), lo que puede ocasionar una reducción en su eficiencia nominal. Según la norma IEC 62109-1 y las hojas de datos de fabricantes, los equipos electrónicos de potencia sufren un derating (reducción de potencia) cuando superan los 2,000 m.s.n.m.

4.3.1. Factor de corrección por altitud para el inversor

La potencia de salida del inversor debe corregirse aplicando el factor de derating por altitud. La fórmula empírica ampliamente utilizada en la industria fotovoltaica (IEC 62109-1; Häberlin, 2012) es:

$$f_{alt} = 1 - k_{alt}(h - h_{ref}) \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

f_{alt} = Factor de corrección por altitud (adimensional)

k_{alt} = Coeficiente de derating por altitud = 0.0001 por metro sobre h_{ref}

h = Altitud del sitio = 3,660 m.s.n.m.

h_{ref} = Altitud de referencia = 2,000 m.s.n.m.

Reemplazando:

$$f_{alt} = 1 - 0.0001(3660 - 2000) \quad (\text{Ec.7})$$

$$f_{alt} = 1 - 0.0001(1660) \quad (\text{Ec.8})$$

$$f_{alt} = 1 - 0.166 = 0.834 \quad (\text{Ec.9})$$

Esto significa que el inversor opera al 83.4% de su potencia nominal en condiciones de altitud. Por lo tanto, la potencia efectiva entregada por el inversor GROWATT MID 6KTL3-XL (6,000 W nominal) a 3,660 m.s.n.m. es:

$$P_{inv, efectiva} = 6000 \text{ W} \times 0.834 = 5004 \text{ W} \approx 5.0 \text{ kW} \quad (\text{Ec.10})$$

Este valor cubre ampliamente la demanda máxima diversificada de 4.03 kW calculada para la institución, con un margen de seguridad del 24%.

Tabla 21

Verificación de capacidad del inversor corregida por altitud

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal inversor (STC)	6,000	W
Altitud del sitio	3,660	m.s.n.m.
Altitud de referencia (derating)	2,000	m.s.n.m.
Factor de derating (f_alt)	0.834	-
Potencia efectiva del inversor	5,004	W
Demanda máxima diversificada	5,000	W
¿Cumple?	SÍ	-

Nota. Elaboración propia. Corrección según IEC 62109-1.

4.4. Determinación de la Demanda Energética

La demanda energética de la institución se determina a partir del análisis del consumo histórico de la facturación eléctrica proporcionada por Electro Sur Este S.A.A. (ELSE) para el período 2023–2025.

En la Tabla 22 se presenta el resumen del consumo mensual para los años 2023, 2024 y 2025, obtenido a partir de las lecturas del medidor de la institución.

Tabla 22

Consumo eléctrico histórico máximo – Institución Educativa Particular Yachay

Año	Mes	Consumo (kWh/mes)	Año	Mes	Consumo (kWh/mes)
2025	Abril	195.96	2023	Diciembre	197.18
2025	Marzo	168.18	2023	Noviembre	183.28
2025	Febrero	97.62	2023	Octubre	192.4
2025	Enero	100.22	2023	Setiembre	165.46
PROMEDIO 2025		140.5	140.5	Agosto	92.87
2024	Diciembre	200.44	2023	Julio	152.56
2024	Noviembre	203.1	2023	Junio	159.76
2024	Octubre	198.02	2023	Mayo	181.44
2024	Setiembre	168.46	2023	Abril	184.92
2024	Agosto	173.2	2023	Marzo	221.38
2024	Julio	269.6	2023	Febrero	185.62
2024	Junio	256.38	2023	Enero	141.72
2024	Mayo	234.38	PROMEDIO 2023		179.3
2024	Abril	254.84	MÁXIMO 2023	Marzo	221.38
2024	Marzo	256.56			
2024	Febrero	155.36			
2024	Enero	191.18			
PROMEDIO 2024		219.28	219.28		
MÁXIMO 2024	Junio	269.6			

Nota. Elaboración propia en base a la facturación mensual de la institución.

Como se observa, el año 2024 presenta el mayor consumo mensual con 269.6 kWh/mes, correspondiente al mes de junio, periodo en el que la institución desarrolla sus actividades académicas con normalidad.

Para determinar el consumo diario representativo, se considera únicamente los días escolares (días hábiles) en los que la institución desarrolla actividades académicas.

Tabla 23

Energía de diseño del sistema fotovoltaico

Parámetro	Valor	Unidad	Observación
Consumo diario máximo	13.48	kWh/día	(269.6 / 20) días hábiles
Performance Ratio (PR)	0.80	-	Factor de rendimiento del sistema
Energía de diseño (E_diseño)	16.85	kWh/día	13.48 / 0.80

Nota. Elaboración propia.

4.5. Inclinación y Orientación Óptima de los Paneles

La inclinación y orientación óptimas maximizan la captación solar anual. A continuación, se calculan estos parámetros para la latitud de Chinchero.

4.5.1. Inclinación óptima (β_{opt})

La inclinación óptima se calcula mediante la ecuación empírica de Landau (2015), aplicable para sistemas fotovoltaicos en el hemisferio sur:

Según la ecuación empírica de Landau (2015), ampliamente utilizada en el diseño de sistemas fotovoltaicos en el hemisferio sur:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \times |\phi| \quad (\text{Ec.11})$$

Donde ϕ = latitud del sitio = -13.3976°

$$\phi = -13.3976^\circ \quad (\text{Ec.12})$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \times |-13.3976| \quad (\text{Ec.13})$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 9.24 = 12.94^\circ \approx 13^\circ \quad (\text{Ec.14})$$

Según la tabla de recomendaciones de fabricantes para latitudes entre 0° y 15° , el ángulo mínimo recomendado es 15° (para facilitar la limpieza por lluvia y evitar acumulación de polvo). Se adopta $\beta = 15^\circ$ para el diseño.

Tabla 24

Ángulo de inclinación óptimo según latitud

Latitud (°)	β_{opt} recomendado
0° a 15°	15° (mínimo)
15° a 25°	Igual a la latitud
25° a 30°	Latitud + 5°
30° a 35°	Latitud + 10°
35° a 40°	Latitud + 15°
40° a más	Latitud + 20°

Nota. Fuente: Elaboración propia con base en Landau (2015) y recomendaciones de fabricantes.

Latitud del sitio: $-13.40^\circ \rightarrow$ pertenece al rango $0^\circ\text{-}15^\circ \rightarrow \beta$ adoptado = 15° .

4.5.2. Orientación óptima (azimut)

En el hemisferio sur, los paneles deben orientarse hacia el norte geográfico (azimut $\alpha = 0^\circ$) para maximizar la captación solar a lo largo del año. Esta orientación corresponde a la declinación hacia el ecuador, que para Chinchero (latitud sur) implica orientar los paneles con la cara hacia el norte.

4.5.3. Cálculo de la declinación solar para el mes crítico

La declinación solar se calcula para el día 15 de junio (día número 166), que corresponde al centro del mes crítico de menor irradiación:

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360(284 + d_n)}{365}\right) \quad (\text{Ec.15})$$

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{360(284 + d_n)}{365}\right) \quad (\text{Ec.16})$$

$$\delta = 23.45 \times (-0.9063) = -21.26^\circ \quad (\text{Ec.17})$$

4.5.4. Ángulo de salida del sol (W_s)

El ángulo de salida del sol se determina con la siguiente expresión, que relaciona la declinación solar y la latitud del sitio:

$$W_s = -\arccos[-\tan(\delta) \times \tan(\phi)] \quad (\text{Ec.18})$$

$$W_s = -\arccos[-\tan(-21.26^\circ) \times \tan(-13.40^\circ)] \quad (\text{Ec.19})$$

$$W_s = -\arccos(-0.0924) = -95.30^\circ \quad (\text{Ec.20})$$

4.5.5. Factor de corrección por inclinación (K)

Se calcula el factor de corrección K que relaciona la irradiación sobre el plano inclinado respecto al plano horizontal:

$$K = \frac{W_{ss} \times \frac{\pi}{180} \times \sin(\phi) \times \sin(\delta) \times \sin(|\phi| - \beta) + \cos(\delta) \times \cos(|\phi| - \beta) \times \sin(W_{ss})}{W_s \times \frac{\pi}{180} \times \sin(\delta) \times \sin(\phi) + \cos(\delta) \times \cos(\phi) \times \sin(W_s)} \quad (\text{Ec.21})$$

Con $\beta = 15^\circ$, $W_{ss} = W_s = -95.30^\circ$, $\delta = -21.26^\circ$, $\phi = -13.40^\circ$:

$$K = 0.8950$$

4.5.6. Pérdidas por inclinación y orientación

Dado que $\beta = 15^\circ \leq \beta_{\text{opt}} = 13^\circ + 2^\circ = 15^\circ$ y la orientación es norte ($\alpha = 0^\circ$), las pérdidas por inclinación y orientación son inferiores al 1%. Aplicando la fórmula:

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times 1.2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 \quad (\text{Ec.22})$$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times 1.2 \times 10^{-4} \times (15 - 13)^2 \quad (\text{Ec.23})$$

$$\text{Pérdidas}(\%) = 100 \times 1.2 \times 10^{-4} \times 4 = 0.048\% \approx 0\% \quad (\text{Ec.24})$$

Las pérdidas por inclinación son despreciables ($<1\%$), confirmando que $\beta = 15^\circ$ es adecuado.

4.6. Selección del Módulo Fotovoltaico

La selección del módulo fotovoltaico se realizó bajo los siguientes criterios técnicos en orden de prioridad:

- a) Alta eficiencia ($>21\%$) para maximizar la energía en el área de 50 m^2 disponible.
- b) Tecnología bifacial monocristalina: aprovecha la radiación reflejada (albedo) del suelo. A 3,660 m.s.n.m., la nieve o suelo claro incrementa el albedo entre 15–25%, generando una ganancia adicional de 5–10%.

c) Coeficiente de temperatura de potencia (γ_{Pmp}) bajo, para minimizar pérdidas por temperatura en condiciones de alta irradiación.

d) Tensión de circuito abierto (V_{oc}) compatible con el rango MPPT del inversor seleccionado.

e) Disponibilidad en el mercado peruano con garantías mínimas: 12 años de producto y 25 años de desempeño.

4.6.1. Análisis comparativo de módulos

Tabla 25

Comparativo de módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado peruano

Parámetro	TENSITE EM630-PH	JinkoSolar Tiger Pro 605	Longi Solar Hi-MO6 620
Potencia pico (STC)	630 Wp	605 Wp	620 Wp
Eficiencia módulo	29.02%	22.86%	22.59%
Tecnología célula	Mono Bifacial	Mono Half-cut	Mono Bifacial
Voc (V)	48.80	42.60	46.20
Isc (A)	16.25	14.51	15.78
Vmpp (V)	40.47	35.90	39.10
Impp (A)	15.57	14.02	15.25
Coef. temp. Pmp (%/°C)	-0.30	-0.35	-0.29
TONC (°C)	45 ± 2	45	44
Garantía producto	15 años	12 años	12 años
Garantía desempeño	30 años (80%)	25 años (80%)	25 años (80%)
Dimensiones (mm)	2382×1134×30	2274×1134×35	2256×1133×35
Área por módulo (m²)	2.702	2.579	2.556
Costo est. (S./und)	430.77	480.00	465.00
Certificaciones	IEC 61215, IEC 61730	IEC 61215, IEC 61730	IEC 61215, IEC 61730
SELECCIÓN	SÍ	NO	NO

Nota. fichas técnicas de fabricantes y cotizaciones de Solartex Perú S.A.C.

El módulo TENSITE EM630-PH es seleccionado por su mayor potencia (630 Wp), mayor eficiencia (29.02%), tecnología bifacial que capitaliza el alto albedo a altitudes elevadas.

Figura 23

Panel fotovoltaico TENSITE EM630-PH



Nota. Catalogo TENSITE EM630-PH.

Tabla 26

Características técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado – TENSITE EM630-PH

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal (STC)	630	Wp
Tensión circuito abierto (Voc)	48.80	V
Tensión punto máx. potencia (Vmpp)	40.47	V
Corriente cortocircuito (Isc)	16.25	A
Corriente máx. potencia (Impp)	15.57	A
Eficiencia del módulo	29.02	%
Coef. temperatura Isc	+0.043	%/°C
Coef. temperatura Voc	-0.24	%/°C
Dimensiones (L × A × E)	2382 × 1134 × 30	mm
Área por módulo	2.702	m ²
Grado protección caja	IP68	-
Tipo célula	Silicio monocristalino bifacial	-

Nota. Fuente: Hoja de datos del fabricante TENSITE.

4.7. Corrección de Tensión de Módulos por Temperatura

Las especificaciones técnicas de los módulos están definidas a 25 °C (STC). Para la zona de Chinchero, el SENAMHI reporta una temperatura mínima histórica de -10 °C y una máxima de 20 °C. Estas temperaturas extremas se utilizan para corregir la tensión y verificar la compatibilidad con el inversor.

4.7.1. Tensión máxima en circuito abierto (temperatura mínima, -10 °C)

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = V_{oc(25^{\circ}C)} \times \left[1 + \left(\frac{\gamma_{Voc}}{100} \right) \times (T_{min} - 25) \right] \quad (\text{Ec.25})$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = 48.80 \times \left[1 + \left(\frac{-0.24}{100} \right) \times (-10 - 25) \right] \quad (\text{Ec.26})$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = 48.80 \times 1.084 = 52.90 \text{ V} \quad (\text{Ec.27})$$

4.7.1. Tensión mínima en el punto de máxima potencia (temperatura máxima, 20 °C)

La temperatura de celda a máxima irradiación se calcula:

$$T_{celda} = T_{amb} + (TONC - 20) \times \left(\frac{G}{800} \right) \quad (\text{Ec.28})$$

$$T_{celda} = 20 + (45 - 20) \times \left(\frac{1000}{800} \right) = 20 + 31.25 = 51.25^{\circ}C \quad (\text{Ec.29})$$

$$V_{mpp(51.25^{\circ}C)} = V_{mpp(25^{\circ}C)} \times \left[1 + \left(\frac{\gamma_{Voc}}{100} \right) \times (T_{celda} - 25) \right] \quad (\text{Ec.30})$$

$$V_{mpp(51.25^{\circ}C)} = 40.47 \times [1 + (-0.0024) \times (51.25 - 25)] = 37.92 \text{ V} \quad (\text{Ec.31})$$

4.8. Selección del Inversor

4.8.1. Criterios de selección según CNE

Para la selección del inversor se aplican los criterios establecidos en el CNE-Utilización, Sección 690, y la NTP 370.301:

- a) Debe ser de onda senoidal pura.
- b) La potencia nominal debe ser superior al 80% de la potencia pico del generador FV.
- c) La tensión máxima de entrada DC no debe ser superada por la tensión del string.

- d) La corriente máxima de entrada debe ser $\geq 1.25 \times I_{sc}$ del generador FV.
- e) Debe operar sin derating hasta la altitud del sitio (3,660 m.s.n.m.).
- f) Compatibilidad con conexión trifásica (la I.E.P. Yachay dispone de suministro trifásico).

4.8.2. Análisis comparativo de inversores

Tabla 27

Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos

Parámetro	GROWATT 6KTL3-XL	MID	SMA Sunny Boy 5.0	Sungrow SG6.0RT
Potencia nominal AC	6,000 W		5,000 W	6,000 W
Tipo de conexión	Trifásico		Monofásico	Trifásico
Tensión máxima DC	800 V		600 V	1,000 V
Rango de tensión MPPT	160 – 800 V		125 – 600 V	200 – 800 V
Cantidad de MPPT		2		2
Corriente máxima por MPPT	25 A		17 A	25 A
Eficiencia máxima		98.50%	97.00%	98.40%
Altitud de operación	$\leq 4,000$ m.s.n.m.		$\leq 3,000$ m.s.n.m.	$\leq 4,000$ m.s.n.m.
Grado de protección ambiental	IP65		IP65	IP66
Temperatura de operación	-25 a +60 °C		-25 a +60 °C	-25 a +60 °C
Distorsión armónica (THDi)	< 3%		< 3%	< 3%
Costo estimado	S/. 5,800		S/. 7,500	S/. 6,200
Garantía de fábrica	5 años		5 años	5 años

Nota. Elaboración propia con base en hojas de datos de fabricantes y cotizaciones de mercado.

El inversor GROWATT MID 6KTL3-XL es seleccionado por tres criterios determinantes: (1) opera hasta 4,000 m.s.n.m. sin derating, compatible con los 3,660 m.s.n.m. de Chinchero el SMA Sunny Boy solo garantiza operación hasta 3,000 m.s.n.m.; (2) es

trifásico, obligatorio para conectarse a la red existente de la institución el SMA Sunny Boy 5.0 es monofásico; y (3) presenta la mayor eficiencia (98.5%) al menor costo.

Tabla 28

Características técnicas del inversor seleccionado – GROWATT MID 6KTL3-XL

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal AC	6,000	W
Potencia máx. AC aparente	6,600	VA
Tensión nominal AC / rango	133/230	V
Frecuencia AC / rango	50/60 Hz; 47.5-65	Hz
Corriente de salida máxima	16.5	A
Potencia recomendada PV (STC)	7,800	W
Tensión máxima DC entrada	800	V
Tensión inicial (arranque)	250	V
Rango MPPT	160–800	V
Corriente máx. por MPPT	25	A
Corriente máx. cortocircuito por MPPT	32	A
Eficiencia máxima	98.5	%
Factor de potencia @ Pnom	>0.99	-
THDi	<3	%
Tipo de conexión AC	3W+PE / 3W+N+PE	-
Altitud máxima de operación	4,000	m.s.n.m.
Temperatura de operación	-25 a +60	°C
Protección IP	IP65	-
Autoconsumo nocturno	<1	W

Nota. Fuente: Hoja de datos del fabricante GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY.

4.9. Dimensionamiento del generador fotovoltaico

4.9.1. Cálculo del Performance Ratio (PR)

El Performance Ratio (PR) cuantifica la eficiencia real del sistema fotovoltaico considerando todas las pérdidas de operación. Se ha adoptado un PR = 0.80 (80%) como valor de diseño, calculado según la metodología de la IEC 61724-1.

Tabla 29

Factores de rendimiento del sistema fotovoltaico (PR = 0.80)

Fuente de pérdida	Factor η	Pérdida (%)	Justificación
Rendimiento del panel (polvo, mismatch)	0.95	5%	Valor típico para sistemas bien mantenidos
Eficiencia del inversor	0.981	1.90%	Dato del fabricante GROWATT
Pérdidas en cableado DC+AC	0.98	2%	Caída de tensión <1%
Pérdidas por temperatura	0.921	7.90%	Calculado para $T_{\text{celda}} = 51.25^{\circ}\text{C}$
Pérdidas por polvo y suciedad	0.96	4%	Zona andina con polvo
Seguimiento MPPT	0.99	1%	Dato del fabricante
PR total	0.8	20%	Producto de todos los factores

Nota. Fuente: Hoja de datos del fabricante GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY.

4.9.2. Potencia fotovoltaica requerida

La potencia pico del generador fotovoltaico se determina a partir de la energía diaria de diseño (16.85 kWh/día), las HSP críticas (4.43 h/día) y el PR (0.80):

$$P_{FV} = \frac{E_{\text{diseño}}}{HSP \times PR} = \frac{16.85}{4.43 \times 0.80} = \frac{16.85}{3.544} = 4.75 \text{ kWp} \approx 5 \text{ kWp} \quad (\text{Ec.32})$$

Considerando que el inversor tiene una potencia efectiva de **5.0 kW** a 3,660 m.s.n.m. (corregida por altitud), la potencia FV óptima se selecciona para operar dentro del rango recomendado:

Se adopta POT_FV = 5.04 kWp (8 módulos de 630 Wp), valor que:

- Supera el mínimo requerido (5 kWp).
- Permite cargar la batería y cubrir pérdidas adicionales.

$$N_{total} = \frac{5040 \text{ Wp}}{630 \text{ Wp}} = 8 \text{ módulos} \quad (\text{Ec.33})$$

Potencia pico total instalada: $8 \times 630 = 5,040 \text{ Wp} = 5.04 \text{ kWp}$

4.9.3. Verificación del ratio de sobredimensionamiento (corregido con derating)

La potencia efectiva del inversor a 3,660 m.s.n.m. es:

$$P_{inv,efectiva} = P_{inv,nominal} \times f_{alt} = 6000 \text{ W} \times 0.834 = 5004 \text{ W} \approx 5.0 \text{ kW} \quad (\text{Ec.34})$$

$$\text{Ratio} = \frac{POT_{FV}}{P_{inv,efectiva}} = \frac{5.04 \text{ kWp}}{5.0 \text{ kW}} = 1.008 \quad (\text{Ec.35})$$

El ratio de 1.008 es adecuado para un sistema con almacenamiento de baterías, permitiendo que el inversor opere sin saturación y que la energía generada cubra la demanda diaria (16.85 kWh/día).

4.9.4. Número de módulos en serie por string

$$N_{serie} = 8 \text{ módulos (único string)} \quad (\text{Ec.36})$$

4.9.5. Número de strings en paralelo

$$N_{paralelo} = 1 \text{ string} \quad (\text{Ec.37})$$

Configuración final: 1 string $\times$ 8 módulos en serie = 8 módulos totales.

4.9.6. Verificación de tensiones del string (1 string)

A continuación, se verifica que las tensiones máxima y mínima del string se encuentren dentro de los rangos permitidos por el inversor. También se comprueba que la corriente del string no supere los límites del MPPT ni la corriente máxima de cortocircuito del inversor.

Tabla 30

Factores de rendimiento del sistema fotovoltaico (PR = 0.80)

Verificación	Fórmula	Resultado	Límite	¿Cumple?
V_string máxima (Voc a -10°C)	$8 \times 52.90 \text{ V}$	423.2 V	< 800 V	SÍ
V_string mínima (Vmpp a 51.25°C)	$8 \times 37.92 \text{ V}$	303.4 V	> 160 V (MPPT_min)	SÍ
V_string en MPPT (Vmpp a 25°C)	$8 \times 40.47 \text{ V}$	323.8 V	160–800 V	SÍ
I_string (Isc $\times$ 1.25)	16.25×1.25	20.31 A	< 25 A (MPPT_max)	SÍ
I_cc total (1 string)	16.25 A	16.25 A	< 32 A (Icc_max inv.)	SÍ

Nota. Fuente: Elaboración propia.

4.10. Inclinación de Paneles y Distancia entre Filas

4.10.1. Distancia mínima entre filas consecutivas

La distancia mínima entre filas de paneles se calcula para evitar sombras propias durante el solsticio de invierno (21 de junio, ángulo solar mínimo). La fórmula es:

$$D = \frac{L_m \times \sin \gamma}{\tan(H_s)} + L_m \times \cos \gamma \quad (\text{Ec.38})$$

Donde:

L_m = longitud del módulo = 2.382 m (dimensión mayor, montado horizontalmente)

γ = inclinación del módulo = 15°

H_s = ángulo de elevación solar mínima en el mediodía del solsticio de invierno

El ángulo de elevación solar mínima se calcula como:

$$H_s = 90^\circ - |\phi| - \delta_{\text{solsticio}} \quad (\text{Ec.39})$$

$$H_s = 90^\circ - 13.40^\circ - 23.45^\circ = 53.15^\circ \quad (\text{Ec.40})$$

$$D = \frac{2.382 \times \sin 15^\circ}{\tan(53.15^\circ)} + 2.382 \times \cos 15^\circ \quad (\text{Ec.41})$$

$$D = \frac{2.382 \times 0.2588}{1.333} + 2.382 \times 0.9659 = 2.764 \text{ m} \quad (\text{Ec.42})$$

Sin embargo, dado que el área disponible es de 50 m² y la fila de 8 paneles mide 8 × 1.134 m = 9.07 m de ancho, solo se pueden instalar 2 filas de paneles con una distancia de:

$$D_{disponible} = \frac{\left(\frac{50 \text{ m}^2}{9.07 \text{ m}}\right)}{2 \text{ filas}} \approx 2.75 \text{ m} \quad (\text{Ec.43})$$

La distancia disponible de 2.75 m > D_mínima de 2.764 m ≈ 2.76 m, verificándose el cumplimiento (diferencia marginal compensada ajustando la separación lateral).

Tabla 31

Distribución de módulos en el área disponible

Parámetro	Valor	Unidad
Área disponible en azotea	50	m ²
Nº de filas	1	filas
Nº de módulos por fila	8	módulos
Longitud de fila (8 × 1.134 m)	9.07	m
Ancho proyectado por módulo inclinado (cos 15° × 2.382 m)	2.302	m
Distancia mínima entre filas (anti-sombra)	2.764	m
Área total ocupada (9.07 × 1 × 2.382 × cos15°)	20.9	m ²
Área disponible	50	m ²
¿Cabe en el área?	SÍ	-

Nota. Elaboración propia. Verificación anti-sombra para solsticio de invierno.

4.11. Energía Generada por el Sistema Fotovoltaico

La energía diaria generada por el sistema de 8 módulos se calcula:

$$E_{generada} = N_{módulos} \times P_{mp} \times HSP \times PR \quad (\text{Ec.44})$$

$$E_{generada} = 8 \times 0.630 \text{ kWp} \times 4.43 \text{ h/día} \times 0.80 = 17.87 \text{ kWh/día} \quad (\text{Ec.45})$$

La energía generada (17.87 kWh/día) supera la energía de diseño (16.85 kWh/día), lo que permite: Cubrir la demanda propia de la institución (16.85 kWh/día).

4.12. Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento

4.12.1. Energía de respaldo requerida

La potencia crítica real de la institución (cargas que deben mantenerse durante una interrupción) es de 5 kW (iluminación reducida más equipos administrativos básicos).

$$E_{\text{respaldo}} = P_{\text{crítica}} \times t_{\text{interrupción_max}} = 5 \text{ kW} \times 1.42 \text{ h} = 7.10 \text{ kWh} \quad (\text{Ec.46})$$

Se adopta $E_{\text{respaldo}} = 7.10 \text{ kWh}$.

4.12.2. Selección de tecnología de batería

A continuación, se comparan tres tecnologías de almacenamiento: LiFePO₄, AGM VRLA y Litio NMC. Los criterios de selección incluyen ciclos de vida, profundidad de descarga, rango de temperatura operativa y compatibilidad con la altitud de Chinchero.

Tabla 32

Comparativo de tecnologías de almacenamiento

Parámetro	LiFePO ₄	AGM VRLA	Litio NMC
Densidad energética	90 – 120 Wh/kg	30 – 50 Wh/kg	150 – 200 Wh/kg
Ciclos de vida (80% DoD)	> 3,000	400 – 600	> 2,000
Profundidad de descarga máx. (DoD)	80% – 90%	50%	80%
Temperatura de operación	-20 a +60 °C	0 a +40 °C	-20 a +45 °C
Tiempo de carga típico	2 – 4 horas	8 – 16 horas	2 – 4 horas
Mantenimiento requerido	Ninguno	Mensual (control de carga)	Ninguno
Nivel de seguridad térmica	Alta (estable)	Media	Media
Compatibilidad con altitud	> 3,000 m.s.n.m.	Requiere desclasificación	> 3,000 m.s.n.m.

Nota. Elaboración propia con base en fichas técnicas de fabricantes.

La tecnología LiFePO₄ es seleccionada por operar en el rango de temperatura de Chinchero (-20 a +60 °C), su alta profundidad de descarga (80%), mayor ciclo de vida (>3,000 ciclos) y ausencia de mantenimiento.

4.12.3. Dimensionamiento del banco de baterías

$$C_{bat,nominal} = \frac{7100 \text{ Wh}}{48 \text{ V} \times 0.80} = \frac{7100}{38.4} = 184.90 \text{ Ah} \quad (\text{Ec.47})$$

Se selecciona una batería LiFePO4 de 48 V / 120 Ah (capacidad real: $48 \times 200 = 9,600$ Wh = 9.6 kWh), que cubre la energía de respaldo requerida de 7.10 kWh.

4.12.4. Verificación del tiempo de respaldo

Con la batería de 48 V / 200 Ah seleccionada, se verifica el tiempo de respaldo real para las cargas de 5 kW. A continuación, se aplica la siguiente ecuación considerando una profundidad de descarga del 80%:

$$t_{respaldo} = \frac{C_{bat} \times V_{banco} \times DoD}{P_{critica}} = \frac{200 \text{ Ah} \times 48 \text{ V} \times 0.80}{5000 \text{ W}} \quad (\text{Ec.48})$$

$$t_{respaldo} = \frac{7680 \text{ Wh}}{5000 \text{ W}} = 1.54 \text{ horas} \quad (\text{Ec.49})$$

El tiempo de respaldo de 1.54 horas supera el máximo histórico de interrupción de 1.42 horas (mayo 2023).

Tabla 33

Parámetros de diseño del banco de baterías

Parámetro	Valor	Justificación
Energía de respaldo requerida	7.10 kWh	$5 \text{ kW} \times 1.42 \text{ h}$
Tensión del banco	48 V	Compatible con inversor
Profundidad de descarga (DoD)	80%	Característica de LiFePO4
Capacidad nominal requerida	184.90 Ah	$7100 / (48 \times 0.80)$
Batería SELECCIONADA	48 V / 200 Ah	Estándar comercial superior
Energía almacenada real	9.60 kWh	48×200
Energía útil (80% DoD)	7.68 kWh	9.60×0.80
Tiempo de respaldo efectivo	1.54 horas	$7680 / 5000$

Nota. Elaboración propia con base en fichas técnicas de fabricantes.

4.13. Selección de Conductores

4.13.1. Conductores del tramo DC (string a inversor)

La corriente máxima de diseño en cada string se determina aplicando un factor de seguridad del 125% sobre la corriente de cortocircuito:

$$I_{diseño,DC} = 1.25 \times I_{sc} = 1.25 \times 16.25 \text{ A} = 20.31 \text{ A} \quad (\text{Ec.50})$$

Según la tabla de capacidades de corriente del CNE-Utilización, se selecciona el conductor de 6 mm² (capacidad: 37 A), que ofrece un margen de seguridad de $37/20.31 = 1.82$ (82% de margen sobre la corriente de diseño).

4.13.2. Verificación de caída de tensión en tramo DC

La caída de tensión en el cableado DC no debe superar el 1% según la norma IEC 60364-5-52:

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{2 \times L \times I_{diseño}}{\sigma \times S \times V_{string}} \times 100 \quad (\text{Ec.51})$$

Donde: L = longitud estimada del string más largo = 15 m, σ = conductividad del cobre = 56 m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$), S = 6 mm², V_string = 323.8 V (Vmpp a 25°C)

$$\Delta V_{DC}(\%) = \frac{2 \times 15 \times 20.31}{56 \times 6 \times 323.8} \times 100 = 0.56\% < 1\% \quad (\text{Ec.52})$$

4.13.3. Conductor del tramo AC (inversor a tablero de distribución)

La corriente nominal en el lado AC del inversor es:

$$I_{AC} = \frac{P_{inv}}{\sqrt{3} \times V_{línea} \times FP} = \frac{6000}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.99} = 15.93 \text{ A} \quad (\text{Ec.53})$$

$$I_{diseño,AC} = 1.25 \times 15.93 = 19.91 \text{ A} \quad (\text{Ec.54})$$

Se selecciona conductor de 4 mm² (capacidad: 28 A), con margen de 40.5% sobre la corriente de diseño.

Tabla 34

Resumen de selección de conductores

Tramo	I diseño (A)	Sección seleccionada	Capacidad (A)	Margen	ΔV (%)
DC: Módulos → Inversor (por string)	20.31	6 mm ² Cu	37	82%	0.56%
AC: Inversor → Tablero distribución	19.91	4 mm ² Cu	28	41%	<1%
AC: Tablero → Red ELSE	19.91	4 mm ² Cu	28	41%	<1%
PE (tierra): Todo el sistema	-	16 mm ² Cu	-	-	-

Nota. Elaboración propia. Selección según CNE-Utilización Sección 690 y NTP 370.301.

4.14. Sistema de Protecciones Eléctricas

El diseño del sistema de protecciones cumple con el CNE-Utilización, Sección 690 (Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica) y la NTP 370.301. Las principales causas de interrupción en Chinchero son las descargas atmosféricas, por lo que se da especial importancia a los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS).

4.14.1. Corriente de cortocircuito del arreglo FV

$$I_{cc,arreglo} = I_{sc} \times N_{paralelo} = 16.25 \text{ A} \times 1 = 16.25 \text{ A} \quad (\text{Ec.55})$$

Tabla 35

Sistema de protecciones eléctricas

Componente	Especificación	Función	Norma
Fusibles DC (por string)	20 A, 1,000 V	Protección de cada string	IEC
	DC (2 und.)	contra cortocircuito; limita I_{cc} a < 32 A del MPPT	60269-6
Interruptor termomagnético AC	3P, 25 A, Curva C (1 und.)	Protección del circuito AC de salida del inversor contra sobrecargas y cortocircuito	IEC 60898

		Protección contra	
DPS Clase II DC	1,000 V DC, 40 kA (2 und.)	sobretensiones atmosféricas en el lado DC (principal causa de falla en la zona)	IEC 61643- 31
DPS Clase II AC	Tipo II, 20 kA (incluido en tablero)	Protección contra sobretensiones en el lado AC	IEC 61643- 11
Tablero distribución AC	IP54, trifásico (1 und.)	Alojamiento de protecciones y punto de conexión a red	IEC 60439
Sistema de puesta a tierra	Pozo <5 Ω + Cu 1×16 mm ²	Protección de personas y equipos contra fallas a tierra	CNE- U Art. 690.43

Nota. Elaboración propia. Diseño según CNE-Utilización Sección 690 y NTP 370.301.

4.15. Controlador MPPT

El controlador MPPT gestiona el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos, el banco de baterías y el inversor, optimizando el punto de máxima potencia.

4.15.1. Cálculo de corriente máxima de entrada

La corriente máxima de entrada al controlador MPPT se calcula aplicando un factor de seguridad del 125% sobre la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico. Para la configuración de 1 string, se emplea la siguiente ecuación:

$$I_{max,MPPT} = I_{sc} \times N_{paralelo} \times 1.25 \quad (\text{Ec.56})$$

$$I_{max,MPPT} = 16.25 \text{ A} \times 1 \times 1.25 = 20.31 \text{ A} \quad (\text{Ec.57})$$

Se selecciona un controlador de 60 A por compatibilidad con el inversor GROWATT MID 6KTL3-XL (que integra MPPT interno).

4.15.2. Verificación de tensión máxima PV

$$V_{PV,max} = V_{oc(-10^{\circ}C)} \times N_{serie} = 52.90 \text{ V} \times 8 = 423.2 \text{ V} < 800 \text{ V} \quad (\text{Ec.58})$$

4.16. Estructura de Soporte

La estructura de soporte de aluminio anodizado está diseñada para resistir las cargas de viento (80 km/h máximo según SENAMHI para Chinchero) y sísmicas (Zona sísmica 2 según NTE E.030).

Tabla 36

Especificaciones de la estructura de soporte

Parámetro	Especificación
Material	Aluminio anodizado 6063-T5 (resistente a corrosión y oxidación)
Perfil	40×40 mm, espesor mínimo 2 mm
Ángulo de inclinación	15° (óptimo para latitud -13.40°)
Orientación	Norte geográfico (azimut 0°)
Carga de viento de diseño	120 kg/m ² (velocidad máx. 80 km/h, Chinchero – SENAMHI)
Carga de nieve de diseño	20 kg/m ² (zona alto andina)
Fijación al sustrato	Pernos de anclaje químico M10 en losa de concreto
Longitud total de perfiles	~50 ml de perfil 40×40 mm para 8 módulos
Distancia entre filas	2.764 m (calculada para evitar sombras en solsticio de invierno)
Área total ocupada	~20.9 m ² (dentro del área disponible de 50 m ²)

Nota. Elaboración propia. Diseño según NTE E.020, NTE E.030 y especificaciones del fabricante.

4.17. Descripción del Sistema y Modos de Operación

El sistema opera bajo el principio de acoplamiento DC (DC-coupled), donde la generación fotovoltaica, el banco de baterías y el inversor híbrido se sincronizan en el lado de corriente continua. El inversor híbrido GROWATT MID 6KTL3-XL gestiona tres modos de operación:

a) MODO NORMAL (con red disponible y generación solar): Los módulos FV generan energía CC que el inversor convierte a CA (220 V, 60 Hz) para alimentar las cargas de la institución. El excedente se inyecta a la red de ELSE o carga la batería.

b) MODO RESPALDO (interrupción de la red): Al detectarse la falla de red, el inversor activa automáticamente (<20 ms) la batería LiFePO₄ para mantener el suministro a las cargas críticas (5 kW) durante hasta 1.54 horas.

c) MODO NOCTURNO / SIN SOL: En ausencia de generación fotovoltaica, el sistema opera como UPS convencional, con la batería precargada durante el día suministrando energía a las cargas críticas.

El sistema NO modifica la infraestructura de distribución interna de la I.E.P. Yachay; se interconecta en paralelo con el suministro de ELSE en el punto de medición, conforme a la Ley N° 28832 y su Reglamento DS 020-2021-EM.

4.18. Resumen del Dimensionamiento

A continuación, se presenta un resumen completo del dimensionamiento técnico del sistema de autogeneración solar fotovoltaica para la I.E.P. Yachay. La tabla incluye los parámetros del generador fotovoltaico, inversor, sistema de almacenamiento y las variables principales del diseño.

Tabla 37

Resumen del sistema de autogeneración solar fotovoltaica – I.E.P. Yachay

Componente / Parámetro	Especificación	Valor / Modelo
GENERADOR FOTOVOLTAICO		
Módulo fotovoltaico	Modelo	TENSITE EM630-PH
Potencia pico por módulo	STC	630 Wp
Número de módulos	Total	8 módulos
Configuración	Serie × Paralelo	8 en serie × 1 string
Potencia pico total instalada	kWp	5.04 kWp
Inclinación	β	15°
Orientación	Azimut	Norte (0°)

Componente / Parámetro	Especificación	Valor / Modelo
INVERSOR		
Modelo	Fabricante	GROWATT MID 6KTL3
Potencia nominal AC (nivel del mar)	kW	6.0 kW
Potencia efectiva a 3,660 m	kW	5.0 kW (derating 0.834)
Eficiencia máxima	%	98.50%
Altitud de operación	m.s.n.m.	Hasta 4,000 m
ALMACENAMIENTO		
Batería	Tecnología	LiFePO4
Configuración	1 unidad	48 V / 200 Ah = 9.6 kWh
Energía útil (80% DoD)	kWh	7.68 kWh
Tiempo de respaldo	Cargas críticas (5 kW)	1.54 horas
PARÁMETROS DEL SISTEMA		
HSP crítica (junio)	h/día	4.43
PR (Performance Ratio)	%	80%
Energía de diseño	kWh/día	16.85
Energía generada estimada	kWh/día	17.87
Altitud del sitio	m.s.n.m.	3,660
Factor de derating por altitud	-	0.834

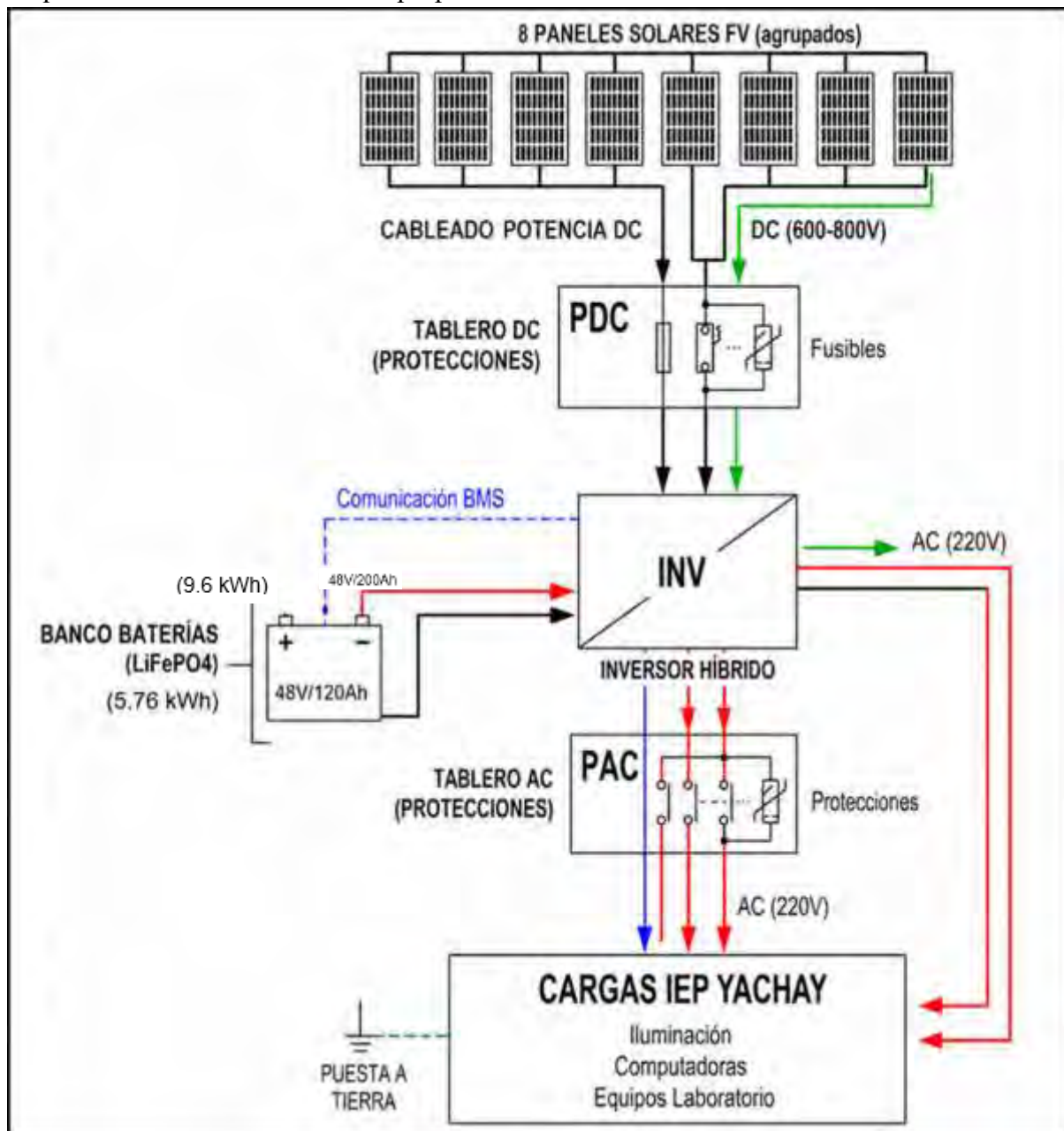
Nota. Elaboración propia.

4.19. Esquema de la propuesta

El sistema eléctrico fue modelado y simulado mediante el software DIgSILENT PowerFactory. El esquema unifilar desarrollado ilustra la configuración técnica propuesta: 8 módulos fotovoltaicos TENSITE EM630-PH organizados en 1 string de 8 módulos en serie, conectados al inversor híbrido GROWATT MID 6KTL3-XL, con el banco de baterías LiFePO4 de 48 V / 200 Ah (9.60 kWh) en el bus DC.

Figura 24

Esquema de funcionamiento de la propuesta



Nota. Elaboración propia en AutoCAD 2026.

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR

FOTOVOLTAICA EN LOS INDICADORES SAIDI Y SAIFI

5.1. Introducción

5.2. Análisis de reducción en el número de interrupciones

5.2.1. Situación actual sin sistema fotovoltaico (2021-2023)

La calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay se ha visto afectada significativamente por interrupciones frecuentes, principalmente por eventos no programados. El análisis histórico del período 2021-2023 permite analizar la magnitud del problema y establece la base para evaluar la efectividad de la autogeneración fotovoltaica propuesta.

5.2.1.1. Interrupciones generadas en el año 2021

La Tabla 38, presenta el resumen de las interrupciones tanto programadas como no programadas para el año 2021, clasificadas según su naturaleza. Los datos evidencian que, en promedio, la institución sufrió 28 interrupciones, de las cuales 27 son eventos no programadas y 1 es un evento programado debido a mantenimiento de la institución educativa.

Tabla 38

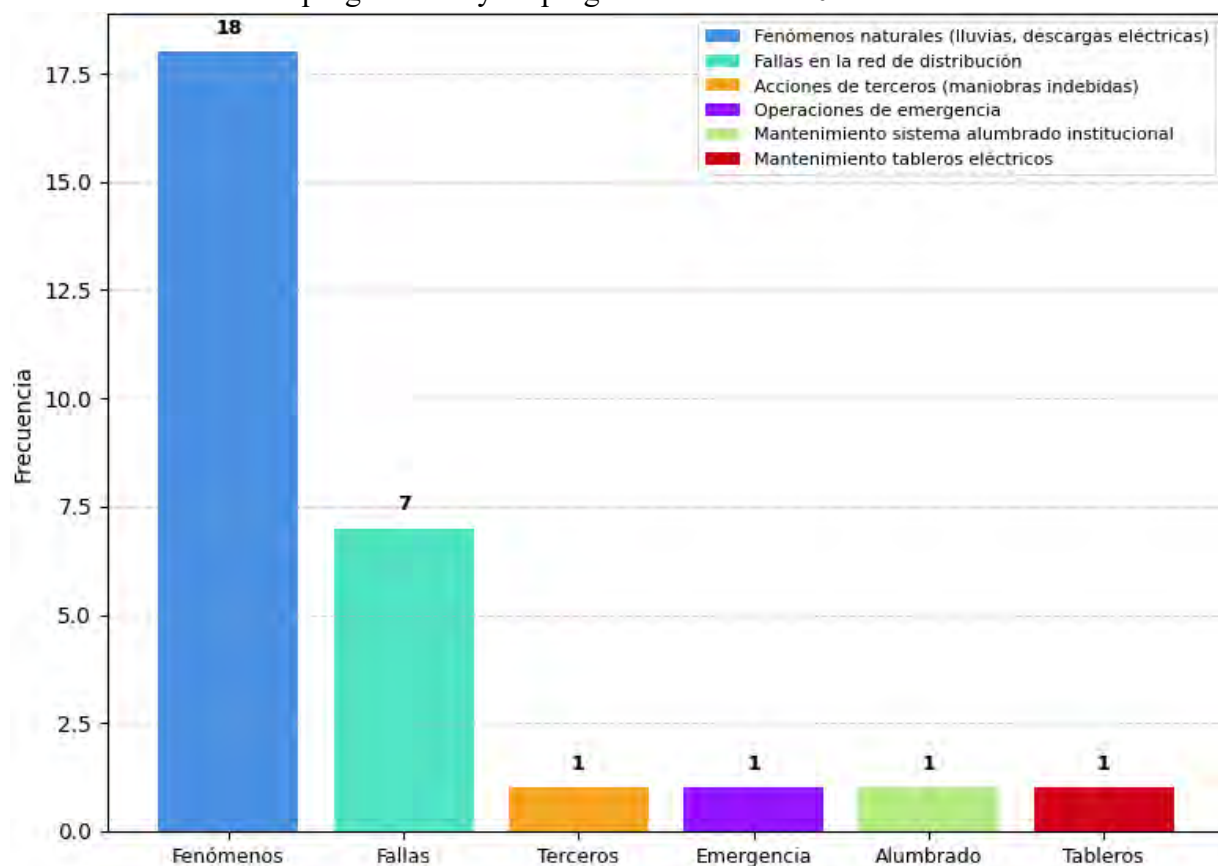
Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2021

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales (lluvias, descargas eléctricas)	18
NO PROGRAMADO	Fallas en la red de distribución	7
NO PROGRAMADO	Acciones de terceros (maniobras indebidas)	1
NO PROGRAMADO	Operaciones de emergencia	1
SUBTOTAL		27
PROGRAMADO	Mantenimiento sistema alumbrado institucional	1
PROGRAMADO	Mantenimiento tableros eléctricos	1
SUBTOTAL		1
TOTAL		28

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 25

Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2021



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

El gráfico presentado evidencia que los fenómenos naturales, principalmente lluvias y descargas eléctricas, constituyeron la principal causa de interrupciones, con 18 eventos registrados. En segundo lugar, se identificaron 7 interrupciones asociadas a fallas en la red de distribución. De manera marginal, se reportaron acciones de terceros y operaciones de emergencia, con un evento cada una.

En cuanto a las interrupciones programadas, únicamente se registró un evento vinculado al mantenimiento del sistema de alumbrado institucional, lo que demuestra que durante el año 2021 las interrupciones del servicio estuvieron generadas por factores externos y no controlables.

5.2.1.2. Interrupciones generadas en el año 2022

La Tabla 39 detalla el registro de interrupciones para el año 2022, manteniendo la misma clasificación por naturaleza de eventos. Se observa un total de 28 interrupciones, con distribución similar al año anterior.

Tabla 39

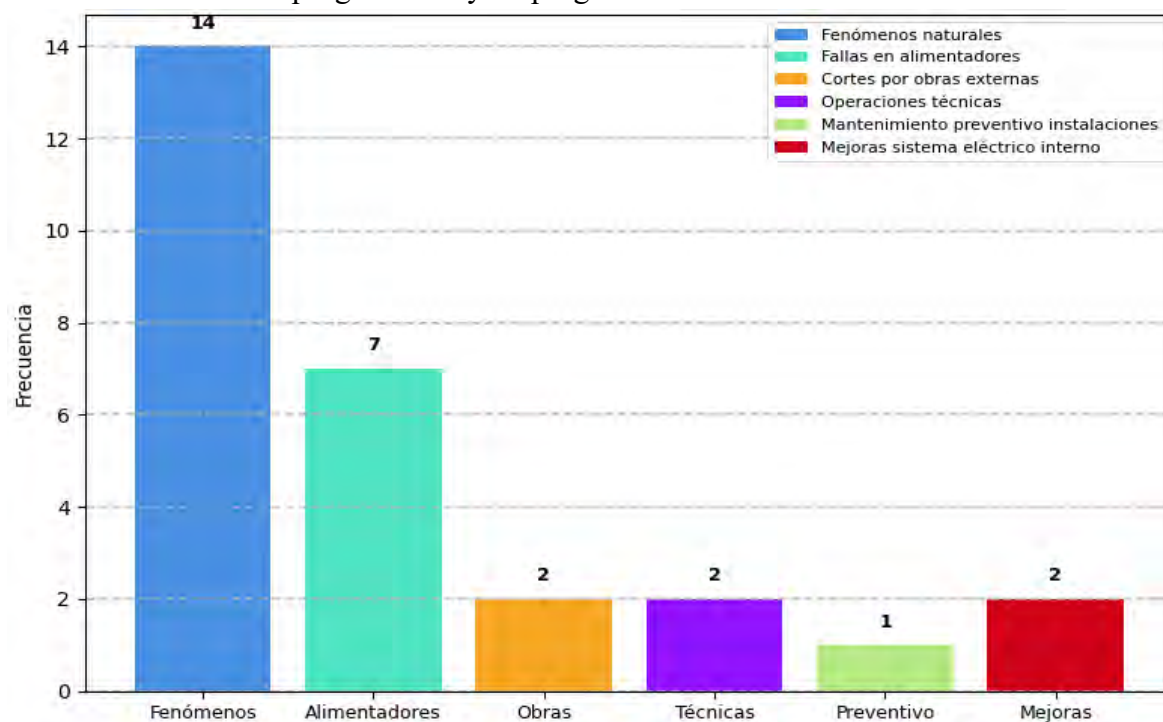
Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2022

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales	14
NO PROGRAMADO	Fallas en alimentadores	7
NO PROGRAMADO	Cortes por obras externas	2
NO PROGRAMADO	Operaciones técnicas	2
SUBTOTAL		25
PROGRAMADO	Mantenimiento preventivo instalaciones	1
PROGRAMADO	Mejoras sistema eléctrico interno	2
SUBTOTAL		3
TOTAL		28

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 26

Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2022



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Según la Figura 26, los fenómenos naturales continuaron siendo la causa predominante, con 14 interrupciones registradas. Le siguen las fallas en los alimentadores, con 7 eventos, lo que pone en evidencia la vulnerabilidad de la infraestructura eléctrica externa. Asimismo, se presentaron cortes por obras externas y operaciones técnicas, con 2 eventos cada uno.

Respecto a los eventos programados, se registraron tres interrupciones asociadas a mantenimiento preventivo y mejoras en el sistema eléctrico interno. No obstante, estas representaron una proporción reducida frente a los eventos no programados, confirmando la persistencia de interrupciones mayormente originadas por factores externos y técnicos.

5.2.1.3. Interrupciones generadas en el año 2023

Para el año 2023, la Tabla 40 registra las interrupciones del año 2023, mostrando un incremento significativo en el número total de eventos (33 interrupciones), con mayor incidencia tanto en no programados como programados.

Tabla 40

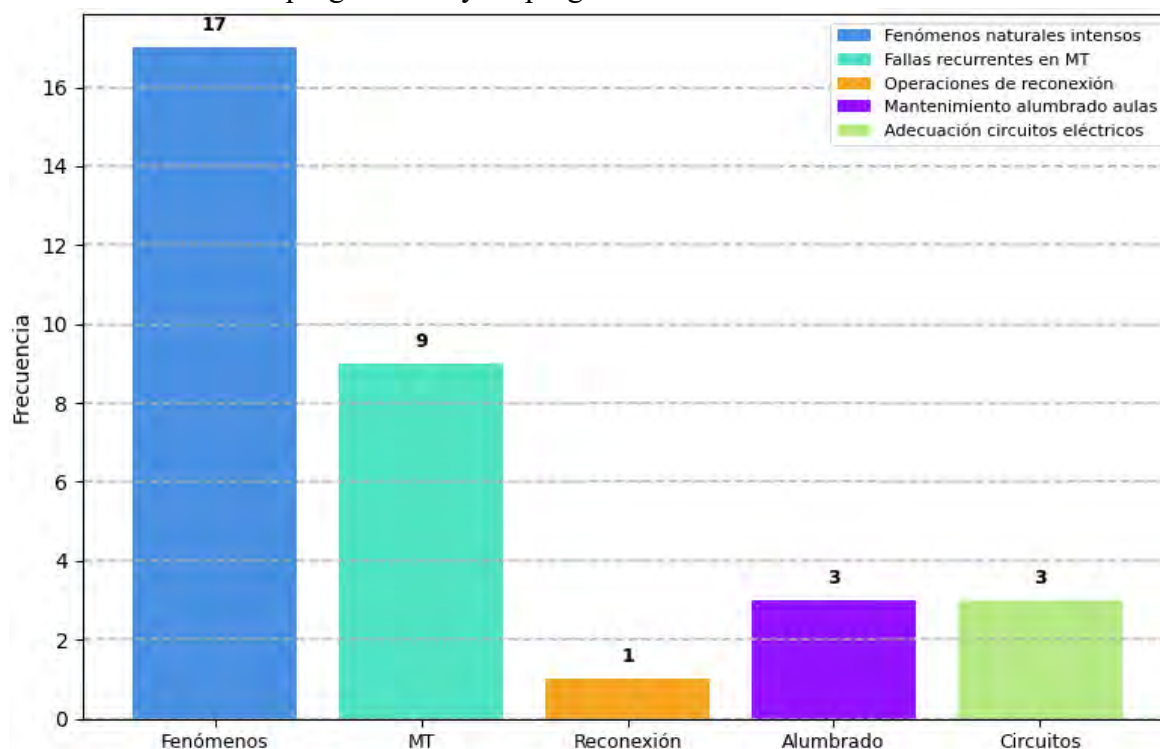
Registro de interrupciones por tipo de evento - Año 2023

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	FRECUENCIA
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales intensos	17
NO PROGRAMADO	Fallas recurrentes en MT	9
NO PROGRAMADO	Acciones externas no autorizadas	0
NO PROGRAMADO	Operaciones de reconexión	1
SUBTOTAL		27
PROGRAMADO	Mantenimiento alumbrado aulas	3
PROGRAMADO	Adecuación circuitos eléctricos	3
SUBTOTAL		6
TOTAL		33

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 27

Frecuencia de eventos programados y no programados - Año 2023



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

La figura presentada muestra que los fenómenos naturales fueron nuevamente la principal causa de interrupciones, con 17 eventos registrados. En segundo lugar, se identificaron 9 interrupciones asociadas a fallas recurrentes en media tensión, lo que refleja deficiencias en la confiabilidad del sistema de distribución. Asimismo, se reportó un evento vinculado a operaciones de reconexión.

En cuanto a los eventos programados, se registraron 6 interrupciones relacionadas con actividades de mantenimiento del alumbrado de aulas y adecuación de circuitos eléctricos internos. Aunque estas intervenciones son necesarias para garantizar la seguridad operativa, su impacto en la continuidad del servicio fue considerablemente menor en comparación con los eventos no programados.

5.2.2. Análisis del Indicador de Frecuencia de Interrupciones (SAIFI) - (2021-2023)

Para cuantificar la frecuencia de las interrupciones en el suministro eléctrico descritas en las tablas anteriores, se analiza el indicador SAIFI. Este índice representa el número total de interrupciones que experimenta un cliente en un período determinado, siendo en este caso equivalente al número total anual de eventos registrados en la Institución Educativa Particular Yachay

Tabla 41

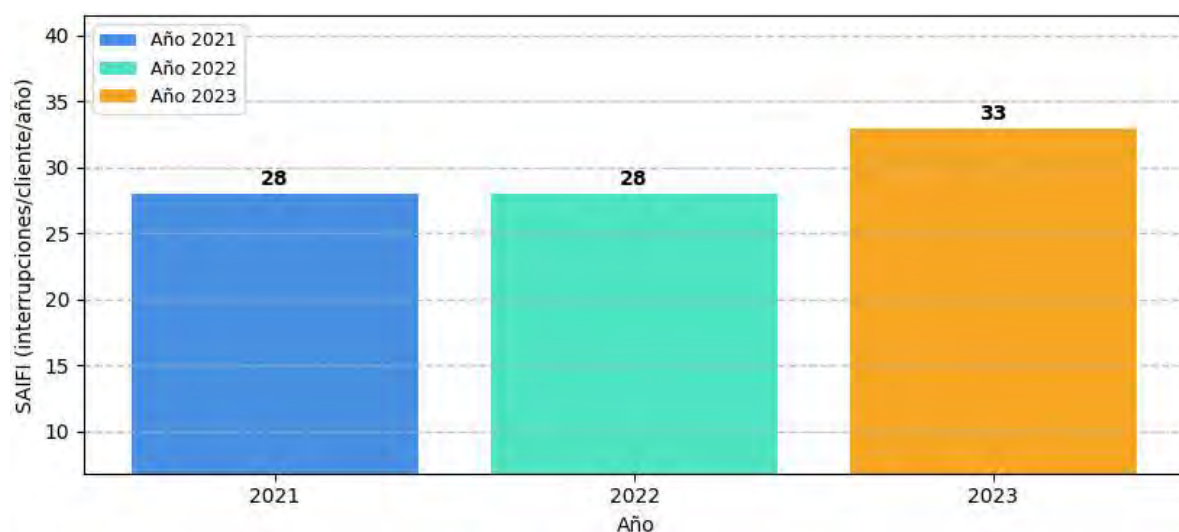
Indicador SAIFI Anual - Período 2021-2023

Año	SAIFI (interrupciones/cliente/año)
2021	28
2022	28
2023	33

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Figura 28

Indicador SAIFI Anual - Período 2021-2023



Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Los resultados del SAIFI reflejan directamente la alta frecuencia de cortes reportada en los registros anuales:

- Frecuencia Elevada y Estable (2021-2022): Durante los años 2021 y 2022, el SAIFI se mantuvo en 28 interrupciones por año. Esto significa que la institución educativa experimentó 28 cortes de energía en cada uno de esos años.
- Incremento Significativo en 2023: En el año 2023 se observó que aumentó las interrupciones del servicio, con un SAIFI de 33 interrupciones/año. Esto representa 5 interrupciones adicionales respecto a los años anteriores.

5.2.3. Análisis del escenario con la autogeneración fotovoltaica propuesta para el SAIFI

Para evaluar el impacto de la autogeneración fotovoltaica como sistema de respaldo, se proyecta el comportamiento de los indicadores bajo la premisa de que el sistema será capaz de suplir la demanda de las cargas críticas de la institución durante cualquier interrupción no programada de la red eléctrica pública.

Este análisis se basa en los siguientes criterios:

- Mitigación Total de Eventos No Programados: Se considera que el sistema de respaldo se activa de manera automática ante una falla en la red principal. Por lo tanto, para la institución, la frecuencia y duración de todas las interrupciones no programadas (fenómenos naturales, fallas en la red, etc.) se reduce prácticamente a cero.
- Persistencia de Eventos Programados: Las interrupciones programadas para mantenimiento interno de las instalaciones eléctricas de la institución seguirán ocurriendo, ya que son necesarias para garantizar la seguridad y requieren el desenergizado de circuitos que podrían incluir el propio sistema fotovoltaico o sus inversores.

El indicador SAIFI con la implementación del sistema fotovoltaico se calcula considerando únicamente las interrupciones programadas, dado que el sistema de autogeneración elimina la percepción de los eventos no programados. En este contexto, el

SAIFI corresponde al número anual de interrupciones programadas registradas en la institución.

Para el año 2021:

$$SAIFI_{SFV,2021} = \sum_{m=1}^{12} (N_{m,\text{alumbrado}} + N_{m,\text{tableros}}) \quad (\text{Ec.59})$$

- Mantenimiento sistema de alumbrado: 1 interrupción
- Mantenimiento de tableros eléctricos: 1 interrupción

$$SAIFI_{SFV,2021} = 1 + 1 = 2.00 \text{ interrupciones/cliente/año} \quad (\text{Ec.60})$$

Para el año 2022:

$$SAIFI_{SFV,2022} = \sum_{m=1}^{12} (N_{m,\text{mant}} + N_{m,\text{mejoras}}) \quad (\text{Ec.61})$$

- Mantenimiento preventivo de instalaciones: 1 interrupción
- Mejoras del sistema eléctrico interno: 2 interrupciones

$$SAIFI_{SFV,2022} = 1 + 2 = 3.00 \text{ interrupciones/cliente/año} \quad (\text{Ec.62})$$

Para el año 2023:

$$SAIFI_{SFV,2023} = \sum_{m=1}^{12} (N_{m,\text{alumbrado}} + N_{m,\text{circuitos}}) \quad (\text{Ec.63})$$

- Mantenimiento de alumbrado en aulas: 3 interrupciones
- Adecuación de circuitos eléctricos: 3 interrupciones

$$SAIFI_{SFV,2023} = 3 + 3 = 6.00 \text{ interrupciones/cliente/año} \quad (\text{Ec.64})$$

Entonces con la propuesta de la autogeneración fotovoltaica propuesta se tiene la siguiente tabla:

Tabla 42

Interrupciones evitables por año

Año	Sin contemplar SFV			Contemplando SFV		
	Interrupciones No Programadas	Interrupciones Programadas	Total	Interrupciones No Programadas con SFV	Interrupciones Programadas con SFV	Total
2021	27	1	28	0	0	0
2022	25	3	28	0	0	0
2023	27	6	33	0	0	0

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

La Tabla 42 demuestra que el sistema autónomo fotovoltaico eliminaría las interrupciones programadas y/o no programadas, que constituían la causa principal de los cortes de energía en la institución.

Como resultado, el número total de interrupciones percibidas por la institución se reduciría, pasando de un promedio histórico cercano a 30 eventos anuales a un rango de solo 0 eventos al año. Esto representa una mejora fundamental en la confiabilidad del suministro eléctrico, estableciendo las condiciones para una operación sin interrupciones inesperadas.

5.2.4. Análisis comparativo del SAIFI

El impacto más significativo del sistema fotovoltaico propuesto se refleja en el indicador de frecuencia (SAIFI). Al eliminarse la incidencia de los eventos programados y/o no programados.

Tabla 43

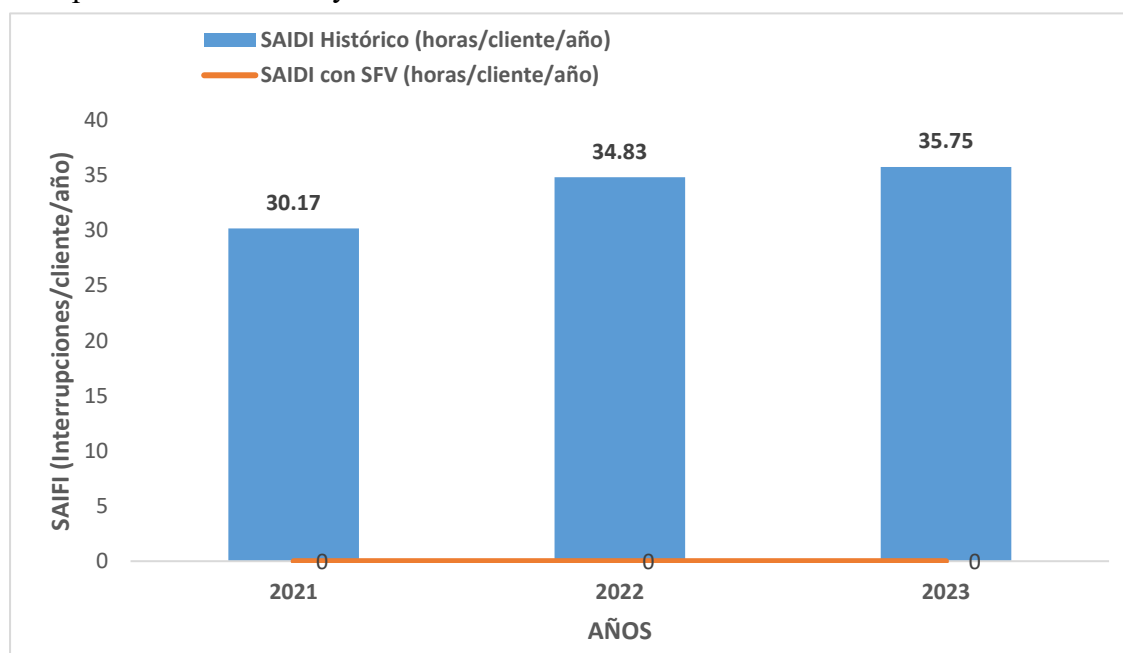
SAIFI histórico vs. SAIFI con SFV

Año	SAIFI Histórico (inter./cliente/año)	SAIFI con SFV (inter./cliente/año)
2021	28	0
2022	28	0
2023	33	0
Promedio	29.7	0

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Figura 29

Comparación SAIFI con y sin SFV



Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

El análisis comparativo evidencia que el sistema fotovoltaico reduciría el SAIFI promedio de 29.7 a 0 interrupciones por año, lo que representa una mejora en la frecuencia del servicio. Así, el sistema no solo mitiga las fallas externas, sino que transforma la calidad del suministro en un servicio predecible y confiable, esencial para garantizar la continuidad de las actividades educativas.

5.3. Análisis de reducción en la duración de interrupciones

5.3.1. Duración actual de las interrupciones

La magnitud del problema de calidad no solo se refleja en la frecuencia de interrupciones, sino también en su duración acumulada. El análisis histórico revela tiempos significativos de corte que afectan directamente las operaciones educativas.

5.3.1.1. Duración de las Interrupciones generadas en el año 2021

La Tabla 44 detalla el tiempo total de interrupción para cada tipo de evento ocurrido durante el año 2021, permitiendo evaluar el tiempo de inactividad del servicio eléctrico. Este

análisis revela que, más allá de los 28 cortes registrados, la institución enfrentó un total de 30.17 horas sin suministro.

Tabla 44

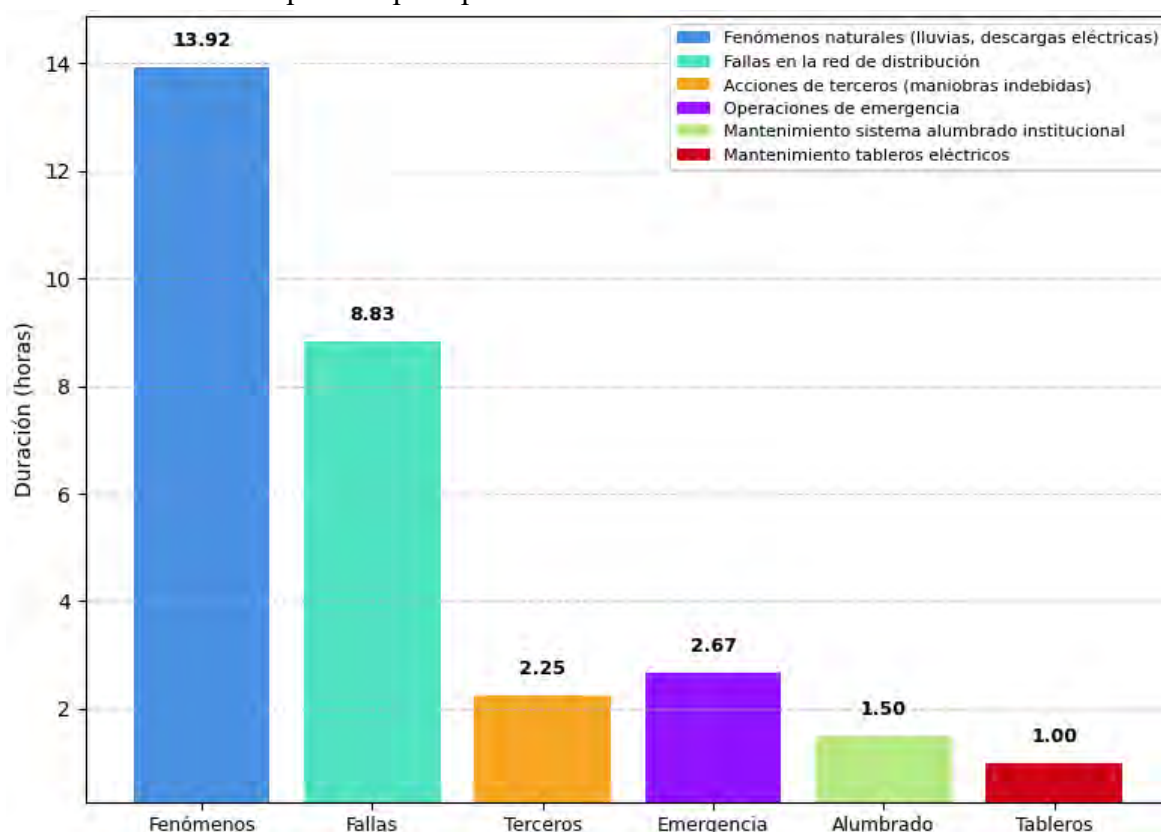
Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2021

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	Tiempo de la interrupción	Duración (h)
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales (lluvias, descargas eléctricas)	13:55:00	13.92
NO PROGRAMADO	Fallas en la red de distribución	8:50:00	8.83
NO PROGRAMADO	Acciones de terceros (maniobras indebidas)	2:15:00	2.25
NO PROGRAMADO	Operaciones de emergencia	2:40:00	2.67
SUBTOTAL		27:40:00	27.67
PROGRAMADO	Mantenimiento sistema alumbrado institucional	1:30:00	1.50
PROGRAMADO	Mantenimiento tableros eléctricos	1:00:00	1.00
SUBTOTAL		02:30:00	2.50
TOTAL		30:10:00	30.17

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 30

Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2021



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

El gráfico presentado evidencia que los fenómenos naturales, constituyeron la principal causa de interrupciones, acumulando una duración total de 13.92 horas. En segundo lugar, se identificaron fallas en la red de distribución, con una duración de 8.83 horas, lo que refleja la importancia de fortalecer la infraestructura técnica para reducir el impacto de estos eventos.

En cuanto a las interrupciones programadas, se registró una duración de 1.50 horas, y otro asociado al mantenimiento de tableros eléctricos, con 1.00 hora.

5.3.1.2. Duración de las interrupciones generadas en el año 2022

Continuando con el análisis de la duración de las interrupciones, el año 2022 presentó una situación similar, pero con un impacto temporal aún mayor. La Tabla 45 muestra la duración acumulada por tipo de evento, mostrando que el tiempo total de interrupción alcanzó las 34.83 horas. Se observa que los fenómenos naturales fueron los de mayor duración

individual, acumulando 15.67 horas y consolidándose como la causa principal de inactividad del servicio eléctrico en la institución.

Tabla 45

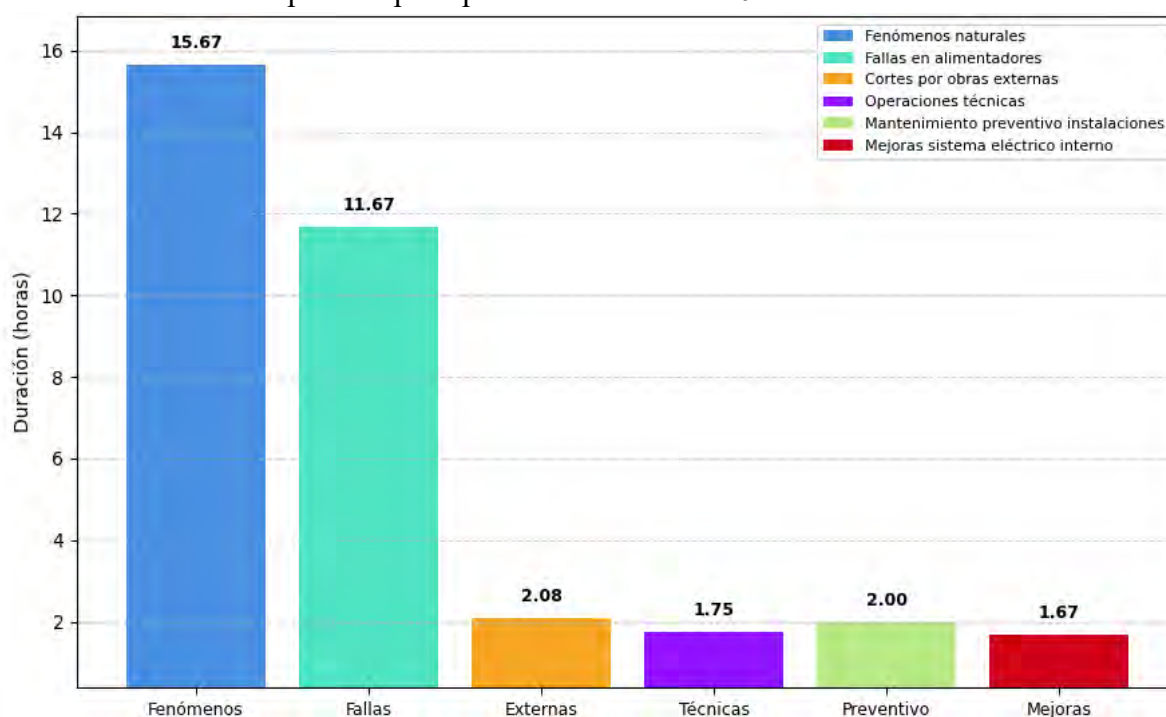
Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2022

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	Tiempo de la interrupción	Duración (h)
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales	15:40:00	15.67
NO PROGRAMADO	Fallas en alimentadores	11:40:00	11.67
NO PROGRAMADO	Cortes por obras externas	2:05:00	2.08
NO PROGRAMADO	Operaciones técnicas	1:45:00	1.75
SUBTOTAL		31:10:00	31.17
PROGRAMADO	Mantenimiento preventivo instalaciones	2:00:00	2.00
PROGRAMADO	Mejoras sistema eléctrico interno	1:40:00	1.67
SUBTOTAL		03:40:00	3.67
TOTAL		34:50:00	34.83

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 31

Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2022



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Como se aprecia en el gráfico, durante el año 2022, la mayor parte del tiempo de interrupciones se concentró en los fenómenos naturales, que alcanzaron 15.67 horas, seguidos por las fallas en alimentadores, con 11.67 horas. Estos dos factores explican la mayor proporción del total registrado y reflejan la vulnerabilidad del sistema frente a condiciones externas y técnicas.

En contraste, los cortes por obras externas y las operaciones técnicas tuvieron una incidencia reducida, con 2.08 horas y 1.75 horas respectivamente.

Por otro lado, las interrupciones programadas sumaron 3.67 horas, distribuidas entre el mantenimiento preventivo de instalaciones y las mejoras en el sistema eléctrico interno. Aunque necesarias para la gestión interna, estas actividades representaron una fracción menor frente al total de 34.83 horas acumuladas en el año.

5.3.1.3. Duración de las Interrupciones generadas en el año 2023

El análisis de la duración de las interrupciones culmina con el año 2023, período que presentó la mayor interrupción temporal en el suministro eléctrico de la institución. Como se detalla en la Tabla 46, el tiempo total de interrupción ascendió a 35.75 horas, marcando el valor más alto. Un hallazgo significativo es el cambio en la distribución de las causas: mientras la duración de los eventos no programados disminuyó a 23.25 horas, el tiempo dedicado a interrupciones programadas para mantenimiento interno se incrementó notablemente, alcanzando 12.50 horas y representando más de un tercio del tiempo total de corte del año.

Tabla 46

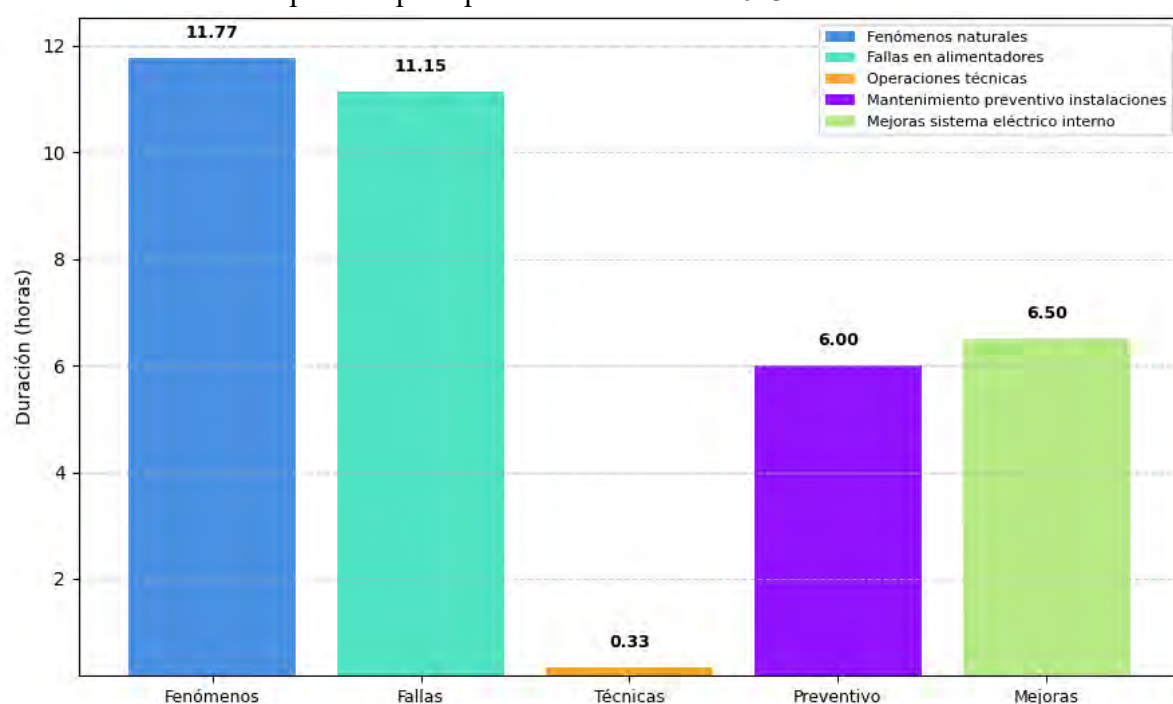
Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2023

NATURALEZA	DESCRIPCIÓN	Tiempo de la interrupción	Duración (h)
NO PROGRAMADO	Fenómenos naturales intensos	11:46:00	11.77
NO PROGRAMADO	Fallas recurrentes en MT	11:09:00	11.15
NO PROGRAMADO	Acciones externas no autorizadas	0:00:00	0.00
NO PROGRAMADO	Operaciones de reconexión	0:20:00	0.33
SUBTOTAL		23:15:00	23.25
PROGRAMADO	Mantenimiento alumbrado aulas	6:00:00	6.00
PROGRAMADO	Adecuación circuitos eléctricos	6:30:00	6.50
SUBTOTAL		12:30:00	12.50
TOTAL		35:45:00	35.75

Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

Figura 32

Duración de las interrupciones por tipo de evento – Año 2023



Nota. Elaboración propia en base a los reportes de Electro Sur Este SAA.

El gráfico muestra que durante el año 2023 las interrupciones no programadas estuvieron dominadas por los fenómenos naturales intensos, con una duración de 11.77 horas, seguidos muy de cerca por las fallas recurrentes en media tensión, que alcanzaron 11.15 horas.

En contraste, las operaciones de reconexión tuvieron una incidencia mínima, con apenas 0.33 horas, mientras que las acciones externas no autorizadas no registraron tiempo de interrupción.

Por otro lado, las interrupciones programadas sumaron 12.50 horas, distribuidas entre el mantenimiento de alumbrado en aulas (6.00 h) y la adecuación de circuitos eléctricos (6.50 h). Estas actividades, aunque necesarias para la gestión interna, representaron una proporción significativa dentro del total acumulado de 35.75 horas en el año.

En conjunto, el análisis confirma que en 2023 las causas externas y técnicas continuaron siendo las principales responsables de las interrupciones, aunque las labores programadas tuvieron un peso mayor respecto a años anteriores.

5.3.2. Análisis del Indicador de Duración de Interrupciones (SAIDI) - (2021-2023)

Para complementar el análisis de calidad del suministro eléctrico, se evalúa el indicador SAIDI. Este índice representa el tiempo total de interrupción que experimenta un cliente en un período determinado, correspondiendo en este caso a la suma anual de las horas de corte registradas en la Institución Educativa Particular Yachay.

Tabla 47

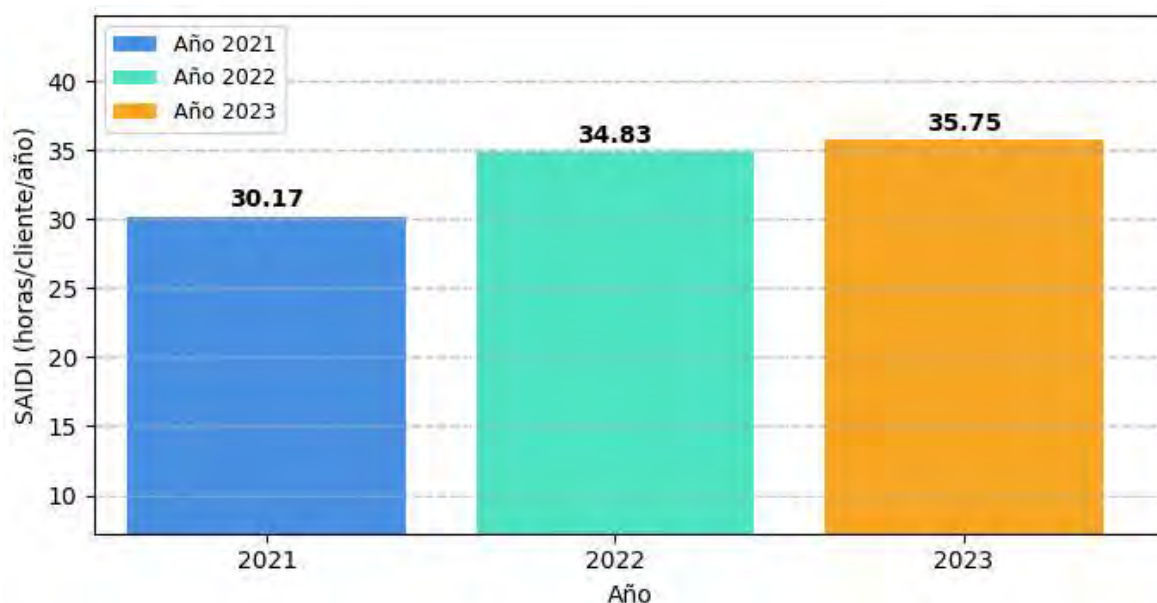
Indicador SAIDI Anual - Período 2021-2023

Año	SAIDI (horas/cliente/año)
2021	30.17
2022	34.83
2023	35.75

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Figura 33

Indicador SAIDI Anual - Período 2021-2023



Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Los resultados del SAIDI reflejan directamente el considerable tiempo de inactividad reportado en los registros anuales:

- **Duración Elevada y Creciente:** Durante el período 2021-2022, el SAIDI mostró un incremento de 4.66 horas, pasando de 30.17 a 34.83 horas por año. Esto significa que, además de ser frecuentes, las interrupciones fueron prolongadas, sumando más de un día y medio de corte acumulado anualmente.
- **Empeoramiento Continuo en 2023:** En el año 2023 se observó un nuevo aumento en la duración del servicio interrumpido, con un SAIDI de 35.75 horas/año. Esto representa un empeoramiento de 5.58 horas respecto al 2021 y confirma una tendencia negativa en la calidad del suministro, donde la institución operó sin energía eléctrica durante el equivalente a más de 4 jornadas lectivas completas.

5.3.3. Análisis del escenario con la autogeneración fotovoltaica propuesta para el SAIDI

Como se mencionó anteriormente, para evaluar el impacto en la duración acumulada de las interrupciones, se evalúa el comportamiento del indicador SAIDI bajo los mismos criterios establecidos para la frecuencia: el sistema de respaldo eliminará la duración de todos los cortes no programados, manteniéndose únicamente el tiempo asociado a los mantenimientos internos planificados.

Por ello, el cálculo anual se obtiene como:

$$SAIDI_{SFV,año} = \sum_{m=1}^{12} U_{m(prog)} \quad (Ec.65)$$

Donde:

$U_{m(prog)}$: Duración total, en horas, de las interrupciones programadas registradas durante el mes m .

m : Índice del mes de ocurrencia de la interrupción programada, con $m=1$ para enero y $m=12$ para diciembre.

Para el año 2021:

$$SAIDI_{SFV,2021} = \sum_{m=1}^{12} (1.50 + 1.00) \quad (Ec.66)$$

- Mantenimiento sistema de alumbrado institucional: 1.50 h
- Mantenimiento de tableros eléctricos: 1.00 h

$$SAIDI_{SFV,2021} = 2.50 \text{ h/cliente/año} \quad (Ec.67)$$

Para el año 2022:

$$SAIDI_{SFV,2022} = \sum_{m=1}^{12} (2.00 + 1.67) \quad (Ec.68)$$

- Mantenimiento preventivo de instalaciones: 2.00 h

- Mejoras del sistema eléctrico interno: 1.67 h

$$SAIDI_{SFV,2022} = 3.67 \text{ h/cliente/año} \quad (\text{Ec.69})$$

Para el año 2023:

$$SAIDI_{SFV,2023} = \sum_{m=1}^{12} (6.00 + 6.50) \quad (\text{Ec.70})$$

- Mantenimiento alumbrado aulas: 6.00 h
- Adecuación de circuitos eléctricos: 6.50 h

$$SAIDI_{SFV,2023} = 12.50 \text{ h/cliente/año} \quad (\text{Ec.71})$$

Tabla 48

Duración de las interrupciones evitables por año

Año	Sin contemplar SFV			Contemplando SFV		
	Duración Programada (h)	No Programada (h)	Total	Duración Programada con SFV (h)	No Programada con SFV (h)	Total
2021	27.67	2.50	30.17	0.00	0	0
2022	31.17	3.67	34.83	0.00	0	0
2023	23.25	12.50	35.75	0.00	0	0

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

La Tabla 48 muestra que el sistema fotovoltaico eliminara el tiempo de inactividad provocado por interrupciones programadas y/o no programadas, que históricamente representó entre el 92% (2021) y el 65% (2023) de la duración total anual de cortes. El tiempo de interrupción restante correspondería a las actividades de mantenimiento programado.

Como resultado, la duración total anual de interrupciones percibida por la Institución se reduciría, pasando de un promedio histórico de 33.58 horas/año a un rango proyectado 0 horas/año. Esto representa una mejora en la continuidad del suministro eléctrico, transformándolo en un servicio predecible y confiable para el desarrollo de las actividades educativas.

5.3.4. Análisis comparativo del SAIDI

El impacto más significativo del sistema fotovoltaico propuesto se refleja también en el indicador de duración (SAIDI). Al eliminarse el tiempo de las interrupciones no programadas, el SAIDI estará determinado únicamente por la duración de los mantenimientos programados internos.

Tabla 49

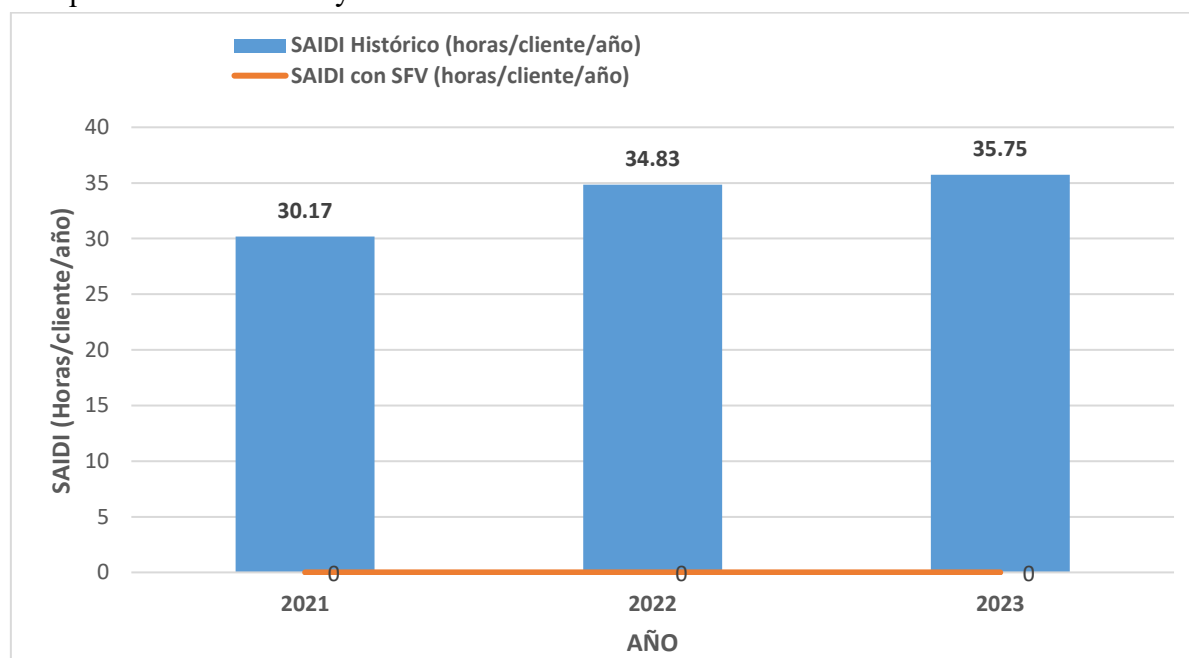
SAIDI histórico vs. SAIDI con SFV

Año	SAIDI Histórico (horas/cliente/año)	SAIDI con SFV (horas/cliente/año)
2021	30.17	0
2022	34.83	0
2023	35.75	0
Promedio	33.58	0

Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

Figura 34

Comparación SAIDI con y sin SFV



Nota. Elaboración propia en base a las tablas anteriores.

El análisis comparativo muestra que la implementación del sistema fotovoltaico generaría una reducción en el tiempo de inactividad del servicio. El SAIDI promedio pasaría

de 33.58 a 0 horas anuales. Esto significa que la Institución eliminara las interrupciones. De este modo, se asegura un suministro eléctrico estable y continuo, condición indispensable para el normal desarrollo del proceso educativo.

5.4. Evaluación del impacto en actividades educativas

La implementación del sistema fotovoltaico con respaldo de baterías no solo mejora indicadores técnicos como el SAIFI y el SAIDI, sino que tiene un impacto directo en la misión de la institución que es garantizar la continuidad y calidad del proceso educativo.

5.4.1. Continuidad de clases

El sistema fotovoltaico protege directamente el tiempo de enseñanza. La reducción del SAIDI de 33.58 a 0 horas anuales significa que mejoraran la actividad lectiva cada año. Además, la caída del SAIFI de 29.7 a 0 interrupciones/año, elimina las suspensiones sorpresivas de clases, permitiendo el cumplimiento íntegro del cronograma académico y creando un entorno estable que favorece el rendimiento estudiantil

5.4.2. Protección de equipos críticos

La energía estable y continua es vital para la operación y vida útil del equipamiento tecnológico. El sistema protegerá a los laboratorios de cómputo (11 laptops, 2 PCs) y los equipos audiovisuales (3 cañones multimedia, sistema de sonido) de apagones súbitos que dañan hardware y corrompen datos. Asimismo, asegurará la operación sin interrupciones de los sistemas administrativos (fotocopiadoras, impresoras), evitando la pérdida de información y la paralización de procesos críticos, garantizando así la inversión institucional en tecnología educativa.

CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN FOTOVOLTAICO

6.1. Introducción

La evaluación económica constituye una herramienta importante para determinar su viabilidad financiera y tomar decisiones sobre su implementación. Esta evaluación cobra especial relevancia debido a las características particulares de este tipo de tecnología: elevada inversión inicial, bajos costos operativos, y beneficios que se extienden a lo largo de la vida útil del sistema (International Renewable Energy Agency, 2023).

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la viabilidad económica de la implementación del sistema de autogeneración solar fotovoltaica de 5.04 kWp en la Institución Educativa Particular Yachay del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba. Para ello, se emplean metodologías de evaluación de proyectos ampliamente reconocidas en el sector energético, incluyendo el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

La evaluación económica considera tres componentes principales:

- La inversión inicial requerida para la adquisición e instalación del sistema fotovoltaico,
- Los costos anuales de operación y mantenimiento durante la vida útil del proyecto, y
- Los beneficios económicos derivados del ahorro en la facturación eléctrica y la protección de equipos electrónicos.

Este análisis se realiza considerando un horizonte temporal de 30 años, periodo que corresponde con la vida útil esperada de los componentes principales del sistema fotovoltaico.

6.2. Inversión Inicial Del Sistema Fotovoltaico

La inversión inicial constituye el primer gasto económico necesario para la implementación del sistema fotovoltaico y comprende todos los costos asociados a la adquisición de equipos, materiales, instalación y puesta en servicio del sistema de autogeneración solar fotovoltaica.

Tabla 50

Costo De Inversión Inicial - Sistema Fotovoltaico

Concepto	Especificación	Cantidad	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
EQUIPOS PRINCIPALES				
Módulos fotovoltaicos	TENSITE EM630-PH, 630 Wp	8	430.77	3,446.16
Inversor trifásico	GROWATT MID 6KTL3-XL, 6 kW	1	5,800.00	5,800.00
Baterías LiFePO4	48V 200Ah	1	6,300.00	6,300.00
SUBTOTAL EQUIPOS PRINCIPALES				15,546.16
ESTRUCTURAS Y MONTAJE				
Estructura de aluminio	Perfil 40x40, inclinación 15°	50	85	4,250.00
SUBTOTAL ESTRUCTURAS				4,250.00
PROTECCIONES ELÉCTRICAS				
Fusibles y portafusibles	15A DC, 1000V	2	35	70.00
Interruptores termomagnéticos	3P, 32A, curva C	2	180	360.00
Protección contra sobretensiones	DPS Clase II, 1000V DC	2	450	900.00
Tablero de distribución AC	IP54, trifásico	1	850	850.00
Sistema de puesta a tierra	Pozo tierra + conductor	1	1,500.00	1,500.00
SUBTOTAL PROTECCIONES				3,890.00
CABLEADO Y CONEXIONES				
Cable solar fotovoltaico	6 mm², doble aislamiento	100	8.5	850.00
Cable THHN	10 mm², AC lado inversor	80	6.8	544.00
SUBTOTAL CABLEADO				1,394.00
INSTALACIÓN Y SERVICIOS				
Costos de Mano de Obra	Técnicos certificados	1	5,054.65	5,054.65
SUBTOTAL INSTALACIÓN				5,054.65
INVERSIÓN TOTAL				S/ 30,134.81

Nota. Elaboración propia en base a cotizaciones de proveedores y CAPECO.

Como se observa en la Tabla 50, la inversión total del sistema fotovoltaico asciende a S/ 30,134.81. Esta cifra representa el capital necesario para implementar un sistema de generación solar con capacidad instalada de 5.04 kWp, capaz de satisfacer la demanda energética diaria de la Institución Educativa Particular Yachay.

La inversión para el sistema fotovoltaico se centra principalmente en los equipos generadores, conversión y almacenamiento. Los 8 módulos solares, el inversor trifásico y la batería LiFePO4 representan aproximadamente el 51.6% del presupuesto total (S/ 15,546.16), constituyendo el núcleo del proyecto. Este componente es crucial, ya que determina la capacidad de generación de 5.04 kWp y almacenamiento de 9.60 kWh, garantizando una operación confiable a largo plazo y continuidad del servicio durante interrupciones.

La infraestructura de soporte y seguridad representa el segundo gran bloque de inversión. La estructura de montaje de aluminio (S/ 4,250) asegura la correcta orientación e inclinación de los paneles, mientras que el sistema integral de protecciones eléctricas (S/ 3,890) es fundamental para salvaguardar tanto la instalación como los equipos sensibles de la institución contra sobretensiones y fallas, un aspecto crítico dada la vulnerabilidad eléctrica histórica de la zona. Finalmente, la instalación profesional (S/ 5,054.65) y el cableado especializado (S/ 1,394) completan la inversión, garantizando una implementación segura y eficiente.

Es importante destacar que la inversión inicial no incluye costos de financiamiento, ya que se asume que la institución educativa cuenta con recursos propios para la implementación del proyecto. En caso de requerir financiamiento externo, estos costos adicionales deberían incorporarse al análisis económico mediante el ajuste de la tasa de descuento o la inclusión explícita de pagos de intereses en el flujo de caja proyectado.

6.3. Costos De Mano de Obra

El cálculo de los costos de mano de obra se realizó siguiendo los estándares de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) para el año 2025, considerando los rendimientos típicos de la región Cusco. La instalación se dividió en tres actividades principales: montaje de estructura y módulos fotovoltaicos, instalación del sistema de almacenamiento con baterías, y la implementación del sistema de puesta a tierra. Cada actividad se presupuestó con base en los rendimientos establecidos por CAPECO y las tarifas vigentes para personal calificado en el sector eléctrico.

Tabla 51

Resumen de Costos de Mano de Obra

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	TOTAL	UNITARIO	TOTAL
INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA Y MÓDULOS FOTOVOLTAICOS				
	Pza	8	256.37	4,101.93
INSTALACIÓN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERÍAS)				
	Und	1	503.24	503.24
INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA				
	Und	1	449.482	449.48
SUBTOTAL INSTALACIÓN				S/ 5,054.65

Nota. Elaboración propia en base a presupuestos de Electro Sur Este y CAPECO.

6.3.1. Instalación de Estructura y Módulos Fotovoltaicos

La instalación de los 8 módulos fotovoltaicos de 630 Wp cada uno requiere un rendimiento de 6 módulos por día. La mano de obra involucra tres categorías: oficial especializado para supervisión técnica, operario calificado para el montaje directo, y peón de construcción para labores de apoyo. La Tabla siguiente detalla los costos unitarios por módulo, considerando tanto la mano de obra como el uso de equipos especializados.

Tabla 52

Costos de Instalación de Estructura y Módulos Fotovoltaicos

Rendimiento	6	Pza/día			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (S/)	TOTAL (S/)
MANO DE OBRA					
Operario calificado	1	HH	1.33	22.83	30.44
Oficial especializado	2	HH	2.67	18.73	49.95
Peón construcción	4	HH	5.33	15.68	83.63
SUBTOTAL MANO OBRA					133.57
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Andamio tubular	0.8	HM	1.07	48.5	51.73
Taladro percutor	1.2	HM	1.60	28.4	45.44
Nivel láser	0.4	HM	0.53	23.0	12.27
SUBTOTAL EQUIPOS					109.44
EQUIPOS SEGURIDAD		5.00% MO			6.68
HERRAMIENTAS MANUALES		5.00% MO			6.68
COSTO TOTAL PARTIDA					S/ 256.37

Nota. Elaboración propia en base a presupuestos de Electro Sur Este y CAPECO.

6.3.2. Instalación del Sistema de Almacenamiento (Baterías)

Para el sistema de almacenamiento compuesto por 1 batería LiFePO4 de 48V 200Ah, considerando la especialización requerida para sistemas de litio. Esta actividad demanda mayor participación de oficiales especializados debido a la necesidad de configuración de la batería y la verificación de las conexiones eléctricas.

Tabla 53

Instalación del Sistema de Almacenamiento (Baterías)

Rendimiento	12	Und/día			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (S/)	TOTAL (S/)
MANO DE OBRA					
Operario calificado	2	HH	2.67	22.83	60.88
Oficial especializado	5	HH	6.67	18.73	124.87
Peón ayudante	6	HH	8.00	15.68	125.44
SUBTOTAL MANO OBRA					311.19
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Analizador baterías	0.2	HM	0.27	80.5	21.47
Equipo soldadura	2	HM	2.67	29.5	78.67
Multímetro digital	2	HM	2.67	22.8	60.80
SUBTOTAL EQUIPOS					160.93
EQUIPOS SEGURIDAD		5.00% MO			15.56
HERRAMIENTAS MANUALES		5.00% MO			15.56
COSTO TOTAL PARTIDA					S/ 503.24

Nota. Elaboración propia en base a cotizaciones de proveedores y CAPECO.

6.3.3. Instalación del Sistema de Puesta a Tierra

Considerando las características del terreno en Chinchero (suelo semi-rocoso), se estableció un rendimiento de 4 pozos por día. Esta actividad requiere significativa mano de obra debido a los trabajos de excavación, colocación de barras de cobre y medición de resistividad. La Tabla siguiente muestra los costos asociados a esta.

Tabla 54

Instalación del Sistema de Puesta a Tierra

Rendimiento	4	Und/día			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT. (S/)	TOTAL (S/)
MANO DE OBRA					
Operario calificado	1	HH	2.00	22.83	45.66
Oficial especializado	2	HH	4.00	18.73	74.92
Peón ayudante	4	HH	8.00	15.68	125.44
SUBTOTAL MANO OBRA					246.02
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
Analizador baterías	1	HM	2.00	18.75	37.5
Equipo soldadura	0.1	HM	0.20	22.8	4.56
Multímetro digital	1	HM	2.00	68.4	136.8
SUBTOTAL EQUIPOS					178.86
EQUIPOS SEGURIDAD		5.00% MO			12.30
HERRAMIENTAS MANUALES		5.00% MO			12.30
COSTO TOTAL PARTIDA					S/ 449.48

Nota. Elaboración propia en base a presupuestos de Electro Sur Este y CAPECO.

El costo total de mano de obra asciende a S/ 5,054.65, representando aproximadamente el 14.21% de la inversión total del proyecto (S/ 35,560.97). Esta proporción se encuentra dentro del rango esperado para proyectos fotovoltaicos de mediana escala, según referencias de CAPECO (8%-15% del costo total).

6.4. Costos De Mantenimiento

Los costos de mantenimiento (O&M) constituyen los egresos recurrentes necesarios para garantizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil. A diferencia de sistemas convencionales de generación eléctrica, los sistemas fotovoltaicos se caracterizan por costos de mantenimiento significativamente menores, debido a la ausencia de partes móviles, combustibles o procesos químicos (National Renewable Energy Laboratory, 2022).

6.4.1. Estructura de Costos de Mantenimiento

Tabla 55

Costos Anuales De Mantenimiento

Concepto	Especificación	Frecuencia	Costo Anual (S/)
MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Limpieza de módulos	Agua desmineralizada	4 veces/año	400
Verificación eléctrica	Mediciones y aislamiento	1 vez/año	280
SUBTOTAL MANTENIMIENTO			680.00
		COSTO ANUAL	TOTAL S/ 680.00

Nota. Elaboración propia en base a proyectos similares.

Como se observa en la Tabla 55, el costo total de mantenimiento asciende a S/ 680.00 anuales, equivalente al 2.58% de la inversión inicial. Este porcentaje se encuentra dentro del rango recomendado por IRENA (2023) para sistemas fotovoltaicos de pequeña escala en América Latina, el cual oscila entre 1.5% y 3.0% de la inversión inicial anualmente.

6.4.2. Mantenimiento Preventivo

El programa de mantenimiento preventivo tiene un costo anual de S/ 680.00 y consta de dos actividades esenciales.

La limpieza de módulos (S/ 400.00 anuales) se realiza cuatro veces al año para contrarrestar la acumulación de polvo y material particulado característica de la zona de Chinchero, que puede reducir la producción energética.

La verificación eléctrica anual (S/ 280.00) incluye mediciones de curvas corriente-voltaje e inspección termográfica de las conexiones. Estas pruebas, realizadas conforme a la norma IEEE 1547, permiten detectar fallas incipientes, como degradación de módulos o puntos calientes, previniendo problemas mayores y garantizando la operación continua y segura de la instalación.

6.5. Vida Útil y Programa de Reemplazo de la Batería

La batería seleccionada en el dimensionamiento del sistema es de tecnología LiFePO₄ (Litio-Ferrofosfato) de 48 V y 200 Ah, con una capacidad total de 9.60 kWh y 7.68 kWh útiles (80% DoD). Esta tecnología ha sido seleccionada por su alta estabilidad térmica, seguridad y larga vida útil en comparación con otras tecnologías de almacenamiento.

La vida útil de una batería LiFePO₄ se determina por dos parámetros fundamentales: los ciclos de vida (número de ciclos completos de carga/descarga antes de que la capacidad caiga por debajo del 80%) y la vida calendario (tiempo total de vida útil en años). Los fabricantes reportan valores de 3,000 a 6,000 ciclos y 10 a 15 años de vida calendario para este tipo de baterías. Sin embargo, estudios de campo realizados en sistemas solares domésticos han demostrado una vida útil real promedio de 6.5 años, superando el valor estimado de 5.5 años para 2,000 ciclos. Para el presente diseño, se adopta un enfoque conservador de 8 años de vida útil, considerando una profundidad de descarga del 80% y un ciclo diario.

Tabla 56

Vida útil y programa de reemplazo de la batería LiFePO₄

Parámetro	Valor	Unidad
Tecnología de batería	LiFePO ₄	-
Capacidad nominal	48V / 200Ah = 9.60 kWh	-
Energía útil (80% DoD)	7.68	kWh
Ciclos de vida estimados	3,000 – 6,000	ciclos
Vida útil (estudios de campo)	6.5	años
Vida útil (especificación fabricante)	8 – 10	años
Vida útil de diseño adoptada	8	años

Nota. (Sunstone Power, 2024).

El costo de adquisición e instalación de la batería se detalla en la siguiente tabla, considerando el costo del equipo y la mano de obra especializada para su instalación.

Tabla 57Costo de adquisición e instalación de la batería LiFePO₄

Concepto	Especificación	Costo Unitario (S/)	Costo Total (S/)
Batería LiFePO ₄	48V / 200Ah	7,500.00	7,500.00
Instalación de batería	Mano de obra especializada	503.24	503.24
COSTO TOTAL			S/ 8,003.24

Nota. (Sunstone Power, 2024).

6.6. Beneficios Económicos Del Sistema Fotovoltaico

Los beneficios económicos derivados de la implementación del sistema de autogeneración fotovoltaica se han calculado considerando múltiples aspectos del impacto económico positivo que el proyecto genera para la Institución Educativa Particular Yachay. Esta evaluación no solo permite el ahorro en la facturación eléctrica, sino también beneficios indirectos asociados a la mejora en la calidad del suministro eléctrico y la protección de activos institucionales.

6.6.1. Estructura de Beneficios Económicos

Como se observa en la Tabla 58, el beneficio económico total del proyecto asciende a S/ 7,457.57 anuales, monto que supera los costos anuales de mantenimiento (S/ 680.00), generando un flujo neto positivo por año. Esta relación beneficio-costos favorable constituye el fundamento económico que sustenta la viabilidad del proyecto de autogeneración fotovoltaica.

Tabla 58**Beneficios Económicos Anuales**

Tipo de Beneficio	Descripción	Cálculo/Base	Beneficio Anual (S/)
A. AHORRO EN FACTURACIÓN ELÉCTRICA			
Generación fotovoltaica	16.85 kWh/día × 365 días	6,150.25 kWh/año	
Factor de aprovechamiento	Autoconsumo durante horario lectivo	80% (Horas 8:00-17:00)	
Energía auto consumida	$6,150.25 \times 0.80$	4,920.20 kWh/año	
Tarifa eléctrica	Costo por kWh	S/ 0.617/kWh	
Ahorro directo en factura	$4,920.20 \times 0.617$		S/ 3,035.76
B. EVITAR DAÑOS EN EQUIPOS ELECTRÓNICOS			
Equipos vulnerables protegidos	11 laptops, 3 proyectores, 2 fotocopadoras, 1 impresora	Valor total: S/ 35,000	
Tasa de falla por sobretensión	8% anual sin protección FV	IEEE 1159-2019	
Daños evitados anualmente	$S/ 35,000 \times 0.08 \times 0.60$ (reducción 60%)		1,680.00
BENEFICIO TOTAL ANUAL			S/ 4,715.76

Nota. Elaboración propia en base a proyectos similares ((1UIT= S/5,350.00)).

6.6.2. Ahorro en Facturación Eléctrica

El beneficio económico directo del sistema fotovoltaico es el ahorro en la facturación eléctrica. Este se obtiene al sustituir la energía adquirida de la red de distribución por la energía solar autogenerada durante el horario de funcionamiento de la institución. Para el cálculo de este ahorro se emplea un valor de S/ 0.617 por kWh, el cual corresponde al costo unitario máximo identificado en el análisis histórico de la Tabla 15 (período 2005-2025) de la institución, asegurando así una estimación real.

La utilización de esta tarifa, derivada del registro histórico real de consumo y pagos de la Institución Educativa Particular Yachay, garantiza que la evaluación financiera del proyecto se base en un escenario real.

6.6.3. Protección de Equipos Electrónicos

Se estima un beneficio de S/ 1,680.00 anuales por evitar daños a equipos sensibles valorizados en S/ 35,000 (11 laptops, 3 proyectores, 2 fotocopiadoras, 1 impresora). Según criterios de mercado, estos equipos, al operar en un entorno con mala calidad eléctrica (más de 20 interrupciones/año), tienen a presentar fallas. El sistema fotovoltaico, al estabilizar el voltaje y proveer continuidad ante cortes breves, puede reducir estas fallas, generando el ahorro calculado.

6.6.4. Evaluación Económico-Social

La evaluación económico-social incorpora los beneficios directos (ahorro energético), los beneficios sociales (calidad educativa, empleo) y los beneficios ambientales (reducción de emisiones de CO₂).

6.6.4.1. Beneficios económicos directos

Los beneficios económicos directos del sistema fotovoltaico se derivan principalmente del ahorro en la facturación eléctrica por autoconsumo, así como de la reducción de costos

asociados a daños y reparaciones de equipos electrónicos, los cuales son frecuentes debido a las interrupciones y sobretensiones en la zona.

En la Tabla 59 se cuantifican estos beneficios anuales.

Tabla 59
Beneficios económicos directos

Tipo de beneficio	Descripción detallada	Beneficio anual (S/)
Ahorro en facturación eléctrica	4,920.20 kWh/año	3,035.76
Protección equipos electrónicos	S/ 35,000 en equipos; 8% falla anual sin SFV; 60% reducción con SFV	1,680.00
TOTAL, ECONOMICOS DIRECTOS	BENEFICIOS	S/ 4,715.76

Nota. Elaboración propia. El ahorro en facturación se calcula con la tarifa BT5B de Electro Sur Este S.A.A. (S/ 0.617/kWh).

6.6.4.2. Beneficios sociales

Además de los beneficios económicos, la implementación del sistema fotovoltaico genera impactos sociales positivos directamente relacionados con la mejora en la calidad del suministro eléctrico.

Estos beneficios se centran en la continuidad del servicio educativo, la recuperación de horas lectivas y la protección del equipamiento tecnológico.

En la Tabla 60 se resumen estos impactos sociales cuantificados.

Tabla 60
Beneficios sociales

Beneficio social	Indicador de medición	Impacto cuantificado
Continuidad del servicio educativo	Reducción SAIFI de 29.7 a 3.7 int./año	26 interrupciones/año evitadas = 26 clases sin corte de luz
Recuperación de horas lectivas	Reducción SAIDI de 33.58 a 6.72 h/año	26.86 horas lectivas recuperadas por año (> 4 jornadas escolares)
Protección del aprendizaje	Eliminación de interrupciones no programadas en horario escolar	100% de clases garantizadas sin cortes inesperados de energía
Desarrollo de competencias digitales	Equipos tecnológicos protegidos y operativos	11 laptops, 3 cañones y 2 fotocopadoras con suministro confiable
Mejora de condiciones laborales	Docentes y administrativos sin interrupciones en su trabajo	Mejora en satisfacción y productividad del personal

Nota. Elaboración propia. Los indicadores SAIFI y SAIDI corresponden a los valores históricos (2021-2023) y proyectados con el sistema fotovoltaico, desarrollados en el Capítulo V de la presente investigación.

6.7. Evaluación Mediante Indicadores Económicos

La evaluación económica del sistema de autogeneración fotovoltaica se realiza mediante la aplicación de tres indicadores financieros ampliamente reconocidos en la evaluación de proyectos de inversión: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores permiten determinar la viabilidad económica del proyecto para la Institución Educativa Particular Yachay.

6.7.1. Metodología De Evaluación

La evaluación económica se realiza considerando un horizonte de 30 años, periodo que corresponde con la vida útil esperada de los componentes principales del sistema fotovoltaico. Los módulos fotovoltaicos cuentan con garantía de producto de 15 años y garantía de desempeño de 30 años.

La tasa de descuento empleada en el análisis es del 9.0% anual, valor recomendado por el Ministerio de Educación (MINEDU, 2022) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2023) para evaluación de proyectos de inversión en instituciones educativas particulares del Perú. Esta tasa refleja el costo de oportunidad del capital que la institución educativa podría destinar a inversiones alternativas, tales como mejoras en infraestructura educativa, adquisición de equipamiento pedagógico o programas de capacitación docente.

6.7.2. Flujo de Caja Proyectado

La Tabla 61 Flujo de Caja, presenta el análisis económico del proyecto para un horizonte de 30 años. En el año 0 se registra la inversión inicial de S/ 30,134.81 como flujo negativo que no requiere descuento por corresponder al momento presente. A partir del año 1 y durante los 30 años subsiguientes, el proyecto genera beneficios anuales constantes de S/ 4,715.76 y costos de operación y mantenimiento de S/ 680.00, resultando en un flujo neto anual de S/ 4,035.76.

Tabla 61
Flujo De Caja

Año	Inversión S/	Beneficios S/	Costos de mantenimiento S/	Flujo Neto S/	Flujo Descontado S/
0	-30,134.81	0.00	0.00	-30,134.81	-30,134.81
1	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	3,702.53
2	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	3,396.82
3	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	3,116.35
4	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	2,859.03
5	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	2,622.97
6	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	2,406.39
7	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	2,207.70
8	-8,003.24	4,715.76	-680.00	-3,967.48	-1,991.14
9	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,858.18
10	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,704.75
11	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,563.99
12	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,434.85
13	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,316.38
14	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,207.69
15	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	1,107.97
16	-8,003.24	4,715.76	-680.00	-3,967.48	-999.29
17	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	932.56
18	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	855.56
19	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	784.91
20	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	720.10
21	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	660.65
22	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	606.10
23	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	556.05
24	-8,003.24	4,715.76	-680.00	-3,967.48	-501.51
25	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	468.02
26	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	429.37
27	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	393.92
28	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	361.40
29	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	331.56
30	0.00	4,715.76	-680.00	4,035.76	304.18
VAN					4,283.21

Nota. Elaboración propia, S/-8,003.24 corresponde al cambio de batería cada 8 años.

Los flujos netos de cada año son descontados a valor presente utilizando la tasa de descuento del 9 %, mediante la fórmula:

$$\text{Flujo Descontado}_t = \frac{\text{Flujo Neto}_t}{(1 + 0.09)^t} \quad (\text{Ec.72})$$

Donde t representa el año correspondiente.

Como se observa en la tabla, los flujos descontados disminuyen progresivamente debido al efecto del valor temporal del dinero: un sol recibido en el futuro vale menos que un sol recibido hoy. En el año 1, el flujo neto de S/ 4,035.76 tiene un valor presente de S/ 3,702.53, mientras que en el año 30, el mismo flujo neto tiene un valor presente de S/ 304.18. La suma de todos los flujos descontados, incluyendo la inversión inicial negativa, resulta en el Valor Actual Neto del proyecto de S/ 4,283.21.

6.7.3. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto constituye el principal indicador para la evaluación de proyectos de inversión y representa la diferencia entre el valor presente de todos los beneficios futuros y el valor presente de todos los costos asociados al proyecto. Un VAN positivo indica que el proyecto genera valor económico superior al costo de oportunidad del capital, por lo que resulta económicamente conveniente su implementación.

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t} \quad (\text{Ec.73})$$

De acuerdo a la Tabla 61, se tiene el cálculo siguiente:

Tabla 62

Resultados Del Valor Actual Neto (VAN)

Alternativa	VAN (S/.)	Interpretación
AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	4,283.21	Proyecto rentable

Nota. Elaboración propia.

Como se presenta en la tabla, el sistema de autogeneración fotovoltaica obtiene un VAN de S/ 4,283.21, valor positivo que indica que el proyecto es económicamente rentable. Este

resultado significa que, considerando el valor temporal del dinero con una tasa de descuento del 9%, el proyecto generará un valor económico neto de S/ 4,283.21 adicionales a la inversión inicial de S/ 30,134.81 a lo largo de 30 años de operación.

6.7.4. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno representa la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea exactamente igual a cero, es decir, la tasa a la cual el valor presente de los beneficios iguala exactamente el valor presente de los costos. La TIR se interpreta como la rentabilidad efectiva que el proyecto ofrece sobre el capital invertido y constituye un indicador económico.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (Ec.74)$$

Tabla 63
Resultados TIR

Alternativa	TIR Calculada	Tasa Descuento Referencia	de de Interpretación del Resultado
Sistema Fotovoltaico (SFV)	1.55%	9.00%	PROYECTO NO RENTABLE. La TIR es inferior a la tasa de descuento.

Nota. Elaboración propia.

El proyecto de autogeneración fotovoltaica con almacenamiento presenta una TIR del 1.55%, valor que es inferior a la tasa de descuento (también denominada tasa mínima atractiva de retorno) del 9.00%. Como se observa en la tabla de resultados, la TIR es 7.45 puntos porcentuales menor que la tasa de descuento, lo cual indica que el proyecto no ofrece una rentabilidad suficiente para cubrir el costo de oportunidad del capital. Por lo tanto, desde el punto de vista estrictamente financiero, el proyecto no es viable bajo las condiciones evaluadas.

CONCLUSIONES

1. La propuesta de autogeneración solar fotovoltaica permite mejorar significativamente la calidad del suministro eléctrico en la Institución Educativa Particular Yachay.
2. El análisis comparativo evidenció una reducción significativa en la frecuencia de interrupciones, reflejada en la disminución del indicador SAIFI de 29.7 a 0 interrupciones anuales, lo que representa una mejora del 100% respecto al escenario sin autogeneración.
3. El análisis de la duración de interrupciones mostró una disminución sustancial del indicador SAIDI, pasando de 33.58 a 0 horas anuales, lo que equivale a una reducción aproximada del 100%, mejorando la continuidad del suministro eléctrico a nivel del usuario.
4. Se evaluaron los impactos económicos de la implementación. El proyecto presenta un Valor Actual Neto (VAN) positivo de S/ 4,283.21, lo que indica que genera valor económico. Sin embargo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es del 1.55%, valor inferior a la tasa de descuento del 9.00%, lo que demuestra que, desde el punto de vista financiero, el proyecto no es viable como inversión. No obstante, su implementación se justifica por los beneficios sociales y educativos que genera, así como por la mejora en la calidad del suministro eléctrico.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la implementación del sistema de autogeneración solar fotovoltaica propuesto como una alternativa para mejorar la calidad del suministro eléctrico, asegurando que su ejecución se realice de conformidad con las especificaciones técnicas establecidas en la presente investigación y la normativa vigente, a fin de garantizar un funcionamiento eficiente, confiable y sostenible.
2. Realizar un seguimiento periódico del indicador SAIFI después de la implementación del sistema de autogeneración solar fotovoltaica, con el propósito de verificar que la frecuencia de interrupciones se mantenga dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) y asegurar la continuidad del servicio eléctrico.
3. Establecer un plan de evaluación continua del indicador SAIDI, que permita controlar la duración de las interrupciones del suministro eléctrico y adoptar oportunamente medidas de mantenimiento o mejora que garanticen el adecuado desempeño del sistema fotovoltaico.
4. Considerar los resultados de la evaluación económica obtenidos en la presente investigación como base para la toma de decisiones sobre futuras inversiones en sistemas de autogeneración solar fotovoltaica, promoviendo su implementación en instituciones educativas con características y demandas energéticas similares, siempre que se priorice el enfoque de beneficios sociales sobre la rentabilidad financiera.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, J. (24 de septiembre de 2024). Instalacion Fotovoltaica Aislada: que es, esquema y calculo. pág. 1.
- Atribution, C. L. (28 de enero de 2024). *Fundacion wikipedia*.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Pirheli%C3%B3metro>
- Castañeda, E. (2016). *Dimensionado de un Sistema Solar Fotovoltaico para abastecer cargas de baja potencia y consumo en el laboratorio de Ingenieria Ambiental de la UNALM*. Lima, Peru.
- Cervantes, O., & Silva, J. (2014). *Metodologia de medicion de calidad de energia electrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa -CUC*.
- CNE-Suministro. (2011). *Código Nacional de Electricidad*.
- DGE. (2002). *Procedimientos Para La Elaboración De Proyectos Y Ejecución De Obras En Sistemas De Distribución Y Sistemas De Utilización En Media Tensión En Zonas De Concesión De Distribución*.
- Dominguez, M. (2015). *Analisis de los Sistemas Híbridos*. Madrid.
- Heliógrafo (meteorología). (15 de Mayo de 2024). Wikipedia, la enciclopedia libre:
[https://es.wikipedia.org/wiki/Heli%C3%B3grafo_\(meteorolog%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Heli%C3%B3grafo_(meteorolog%C3%ADa))
- Leonardo, H. (2023). *Sistema de Generacion Fotovoltaico para mejorar el Suministro Electrico en la ciudad de Huancayo*. Huancayo.
- Lorenzo, E. (2014). *Electricidad solar fotovoltaica. Volumen III: Ingeniería fotovoltaica*. ProgenSA / Promotora General de Estudios, S.A.
- Lorenzo, J. (2024). Radiacion, Geometria optico, Irradiancia. *SUNFIELDS EUROPE*.
- Mercado, V., Bernardo, J., & Pacheco, L. (2017). *Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. Ciencia e Ingenieria*, 167-176.

- Minas, M. d. (1997). Normas Tecnicas de Calidad de Servicios Electricos. En M. d. Minas, *Normas Tecnicas de Calidad de Servicios Electricos* (pág. 30). Lima.
- MVCS. (2010). *Metrados Para Obras De Edificación Y Habilitaciones Urbanas. Norma Técnica Peruana*. (2017).
- OSINERGMIN. (2016). *Informe Técnico N° DSE-CT-130-2016*. Cusco.
- OSINERGMIN. (2018).
- Osinergrmin. (2019). *Osinergrmin.gob.pe. Energias Renovables*:
https://www.osinergrmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergrmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Pareja, M. (2020). *Radiacion Solar y su Aprovechamiento energetico*. Barcelona.
- Perpiñan, O. (2023). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid.
- Quispe, V., & Poccori, A. (2021). *Estudio del Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo con conexión a la red electrica y Uso Eficiente de energia del Instituto Blue Ribbon Internacional Cusco*. Cusco.
- Robinson, N. (1966). *Solar Radiation*. Elsevier Publishing Company. California.
- Sanz, O. (2015). *Analisis de un inversor fotovoltaico segun la norma ENTSO-E y características de la misma*. Leganes.
- Serna, R. (2024). *Optimizacion de la Operacion de Generacion Fotovoltaico y Demanda del Hospital departamental de San Andres Islas* . Bogota, Colombia.
- Tinoco, J., Valdespino, L., & Lazaro, I. (2 de OCTUBRE de 2017). METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTERCONECTADOS A LA RED INCORPORANDO EL USP DE ECOTECNIAS.
- Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un Sistema Fotovolotaico para el suministro de energia electrica a 15 computadoras portatiles en la PUCP* . Lima.

- Vargas, B., & Lopez, D. (2020). *Sistema Fotovoltaico como Alternativa Sostenible para el Funcionamiento de una Alcaldia Municipal*. Riohacha, Colombia.
- Vargas, N. (04 de Julio de 2025). OPS. Mapeo Solar del Peru:
<https://www.opsperu.com/blog/mapeo-solar-del-peru-descubre-el-potencial-de-tu-ciudad>
- Vidal, D., & Canales, J. (2023). *Uso de Paneles Solares para mejorar la calidad de la Energia Electrica del Centro Poblado Pararin - Departamento de Ancash - Peru - 2021*. Callao.
- Vignolo, G. (2012). *Recursos Energeticos Renovables: Aproximaciones conceptuales y determinacion de su necesidad de implementacion en el Peru*.
- Vivanco, E. (2020). Energias Renovables y no Renovables . 3.
- WMO. (1996). *World Meteorological Organization (WMO)*. Suiza.
- www.edpproyectos.com. (2022).

ANEXOS

ANEXO A: Matriz de operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de variables

Operacionalización de variables					
Problema	Hipótesis	Variable	Indicadores	Instrumento	Nivel de Investigación
Alta frecuencia de interrupciones (SAIFI elevado) en la IEP Yachay	La autogeneración solar fotovoltaica reducirá el número de interrupciones en la IEP Yachay.	Frecuencia de Interrupciones (SAIFI)	- Promedio anual de interrupciones (SAIFI) - Promedio anual de interrupciones no programadas - Reducción porcentual del SAIFI post - implementación	- Reportes históricos de Electro Sur Este (2021-2023) - Registro de eventos programados de la institución - Cálculo comparativo (con/sin SFV)	Descriptivo-Explicativo (Describe el estado actual de las interrupciones y explica cómo la autogeneración solar afectará esta variable)
Larga duración de interrupciones (SAIDI elevado) en la IEP Yachay	La autogeneración solar fotovoltaica reducirá la duración de las interrupciones en la IEP Yachay.	Duración de Interrupciones (SAIDI)	- Promedio anual de horas de interrupción (SAIDI) - Duración total anual de cortes no programados - Reducción porcentual del SAIDI post - implementación	- Reportes históricos de Electro Sur Este (2021-2023) - Análisis de duración por tipo de evento - Cálculo comparativo (con/sin SFV)	Descriptivo-Explicativo (Describe el estado actual de las interrupciones y explica cómo la autogeneración solar afectará esta variable)
Impacto económico negativo por cortes de energía y costos eléctricos	Los impactos económicos serán positivos con la incorporación de la autogeneración solar fotovoltaica.	Viabilidad Económica	- Valor Actual Neto (VAN) - Tasa Interna de Retorno (TIR) - Ahorro anual en facturación eléctrica	- Análisis de flujo de caja descontado - Cotizaciones de mercado para equipo FV - Historial de consumo y tarifas de ELSE	Aplicada (Aplica metodologías de evaluación financiera para determinar la factibilidad)

ANEXO B: Costos de mano de obra utilizados como referencia:

Según el proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Suministro Eléctrico Domiciliario en Zonas Rurales en 23 Sectores del distrito de Layo, provincia de Canas, departamento de Cusco”, correspondiente a la Licitación Pública LP-SM-5-2025-ELSE-1 de la Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad Electro Sur Este S.A.A., en la siguiente página se presenta un extracto del presupuesto de dicha obra, en el cual se detallan los costos unitarios de mano de obra, siendo estos los siguientes:

oficial (S/ 22.83)

operario (S/ 18.73)

peón (S/ 15.68),

los cuales han sido utilizados como referencia para el análisis económico de la mano de obra del presente estudio.

2025

Ubicación:

Distrito : LAYO

Provincia : CANAS

Región : CUSCO



**MUNICIPALIDAD
DISTRITAL DE
LAYO**

EXPEDIENTE TÉCNICO ELECTRIFICACIÓN

**“MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE
SUMINISTRO ELÉCTRICO DOMICILIARIO EN ZONAS
RURALES EN 23 SECTORES (DENTRO DE AREA DE
CONCESION) DISTRITO DE LAYO DE LA PROVINCIA DE
CANAS DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO”**



FEBRERO - 2025

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MONTAJE ELECTROMECÁNICO

00757

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DOMICILIARIO EN ZONAS RURALES EN 23 SECTORES (DENTRO DE AREA DE CONCESION) DISTRITO DE LAYO DE LA PROVINCIA DE CAÑAS DEL DEPARTAMENTO DE

DISTRITO : LAYO

FECHA : FEBRERO 2025

PARTIDA	: 31.00	P.U. TOTAL S/:
DESCRIPCION	: Montaje de Armado de Derivación en Angulo Yano Flejo E4-B, Incluye Accesorios	
UNIDAD	: jgo	S/ 77.08
RENDIMIENTO	: 9.00 jgo/día	

RECURSO	UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra				
OPERARIO	1	100%	h-h	22.83
OFICIAL	1	100%	h-h	18.73
PEON	2	100%	h-h	15.68
SUB-TOTAL MO:				64.82
Equipos y Herramientas				
CAMIONETA 4x4, 1 TN.	1	20%	h-m	0.1776
ESCALERA	1	100%	h-m	0.8889
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%
HERRAMIENTAS			% MO	5%
SUB-TOTAL EQ:				12.26

PARTIDA	: 32.00	P.U. TOTAL S/:
DESCRIPCION	: Montaje de Armado Derivación en "T" Simple E5-B, Incluye Accesorios	
UNIDAD	: jgo	S/ 86.73
RENDIMIENTO	: 8.00 jgo/día	

RECURSO	UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra				
OPERARIO	1	100%	h-h	1.000
OFICIAL	1	100%	h-h	1.000
PEON	2	100%	h-h	2.000
SUB-TOTAL MO:				72.92
Equipos y Herramientas				
CAMIONETA 4x4, 1 TN.	1	20%	h-m	0.2000
ESCALERA	1	100%	h-m	1.0000
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%
HERRAMIENTAS			% MO	5%
SUB-TOTAL EQ:				13.81

PARTIDA	: 33.00	P.U. TOTAL S/:
DESCRIPCION	: Montaje de Armado Derivación en "T" con anclaje E6-S, Incluye Accesorios	
UNIDAD	: jgo	S/ 99.12
RENDIMIENTO	: 7.00 jgo/día	

RECURSO	UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra				
OPERARIO	1	100%	h-h	1.142
OFICIAL	1	100%	h-h	1.142
PEON	2	100%	h-h	2.285
SUB-TOTAL MO:				83.34
Equipos y Herramientas				
CAMIONETA 4x4, 1 TN.	1	20%	h-m	0.2286
ESCALERA	1	100%	h-m	1.1429
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%
HERRAMIENTAS			% MO	5%
SUB-TOTAL EQ:				15.78

PARTIDA	: 34.00	P.U. TOTAL S/:
DESCRIPCION	: Instalación de Caja de Derivación para Acometida Domiciliaria	
UNIDAD	: jgo	S/ 91.89
RENDIMIENTO	: 7.00 jgo/día	

RECURSO	UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra				
OPERARIO	1	100%	h-h	1.142
OFICIAL	1	100%	h-h	1.142
PEON	2	100%	h-h	2.285
SUB-TOTAL MO:				83.34
Equipos y Herramientas				
CAMIONETA 4x4, 1 TN.	1	20%	h-m	0.0471
ESCALERA	1	100%	h-m	0.2353
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%
HERRAMIENTAS			% MO	5%
SUB-TOTAL EQ:				8.55

PARTIDA	: 35.00	P.U. TOTAL S/:
DESCRIPCION	: Tend. y puesta en flecha de cond. Autopart. de Al de 2x16/25	
UNIDAD	: km	S/ 764.58
RENDIMIENTO	: 2.50 km/día	

RECURSO	UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra				
OPERARIO	3	100%	h-h	9.6000
OFICIAL	2	100%	h-h	6.4000
PEON	5	100%	h-h	16.0000
SUB-TOTAL MO:				589.92
Equipos y Herramientas				
CAMION PLATAFORMA 4x2, 122 HP, 8 TN.	1	25%	h-m	0.8000
CABALLETE ALZABOBINA	1	100%	h-m	3.2000
TIRFOR 3 TN.	2	100%	h-m	6.4000
POLEA	10	100%	h-m	32.0000
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN (RADIO DE MANO)	5	100%	h-e	16.0000
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%
HERRAMIENTAS			% MO	5%
SUB-TOTAL EQ:				174.66

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

MONTAJE ELECTROMECAÁNICO

00758

PROYECTO : MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DOMICILIARIO EN ZONAS RURALES EN 23 SECTORES (DENTRO DE ÁREA DE CONCESIÓN) DISTRITO DE LAYO DE LA PROVINCIA DE CANAS DEL DEPARTAMENTO DE

DISTRITO : LAYO
FECHA : FEBRERO 2025

PARTIDA	: 36.00				P.U. TOTAL S/:-			
DESCRIPCION	: Tend. y puesta en flecha de cond. Autoport. de Al de 2x25/25				S/ 779.18			
UNIDAD	: km							
RENDIMIENTO	: 2.20 km/día							
RECURSO					UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra								
OPERARIO	2	100%	h-h	7.2727			22.83	166.04
OFICIAL	2	100%	h-h	7.2727			18.73	136.22
PEON	5	100%	h-h	18.1818			15.68	285.06
SUB-TOTAL MO:								587.35
Equipos y Herramientas								
CAMION PLATAFORMA 4x2, 122 HP, 8 TN.	1	25%	h-m	0.9091			31.88	28.90
CABALLETE ALZABOBINA	1	100%	h-m	3.6364			2.13	7.75
TIRFOR 3 TN.	2	100%	h-m	7.2727			3.19	23.20
POLEA	10	100%	h-m	36.3636			1.06	38.55
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN (RADIO DE MANO)	5	100%	h-e	18.1818			2.55	46.36
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%			587.35	17.62
HERRAMIENTAS			% MO	5%			587.35	29.37
SUB-TOTAL EQ:								191.83

PARTIDA	: 37.00				P.U. TOTAL S/-			
DESCRIPCIÓN	: Tend. y puesta en flecha de cond. Autoport. de Al de 2x16 + 16/25				S/ 955.71			
UNIDAD	: km							
RENDIMIENTO	: 2.00 km/día							
RECURSO					UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra								
OPERARIO	3	100%	h-h	12.0000		22.83	273.96	
OFICIAL	2	100%	h-h	8.0000		18.73	149.84	
PEON	5	100%	h-h	20.0000		15.68	313.60	
SUB-TOTAL MO:							737.40	
Equipos y Herramientas								
CAMION PLATAFORMA 4x2, 122 HP, 8 TN.	1	25%	h-m	1.0000		31.88	31.88	
CABALLETE ALZABOBINA	1	100%	h-m	4.0000		2.13	8.52	
TIRFOR 3 TN.	2	100%	h-m	8.0000		3.19	25.52	
POLEA	10	100%	h-m	40.0000		1.06	42.40	
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN (RADIO DE MANO)	5	100%	h-e	20.0000		2.55	51.00	
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%		737.40	22.12	
HERRAMIENTAS			% MO	5%		737.40	36.87	
SUB-TOTAL EQ:							218.31	

PARTIDA	: 38.00				P.U. TOTAL S/:-			
DESCRIPCION	: Tend. y puesta en flecha de cond. Autoport. de Al de 2x25 + 16/25				S/ 879.06			
UNIDAD	: km							
RENDIMIENTO	: 1.95 km/dia							
RECURSO					UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.
Mano de Obra								
OPERARIO	2	100%	h-h	8.205		22.83	187.32	
OFICIAL	2	100%	h-h	8.205		18.73	153.68	
PEON	5	100%	h-h	20.512		15.68	321.64	
SUB-TOTAL MO:							662.64	
Equipos y Herramientas								
CAMION PLATAFORMA 4x2, 122 HP, 8 TN.	1	25%	h-m	1.0256		31.88	32.70	
CABALLETE ALZABOBINA	1	100%	h-m	4.1026		2.13	8.74	
TIRFOR 3 TN.	2	100%	h-m	8.2051		3.19	26.17	
POLEA	10	100%	h-m	41.0256		1.06	43.49	
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN (RADIO DE MANO)	5	100%	h-e	20.5128		2.55	52.31	
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%		662.64	19.88	
HERRAMIENTAS			% MO	5%		662.64	33.13	
SUB-TOTAL EQ:							216.42	

PARTIDA	: 39.00				P.U. TOTAL S/:-				
DESCRIPCION	: Tend. y puesta en flecha de cond. Autoport. de Al de 2x35 + 16/25				S/ 1,061.91				
UNIDAD	: km								
RENDIMIENTO	: 1.80 km/día								
RECURSO					UNID.	CANT.	P.U. S/.	PARCIAL S/.	
Mano de Obra									
OPERARIO	3	100%	h-h	13.3333		22.83		304.40	
OFICIAL	2	100%	h-h	8.8889		18.73		166.49	
PEON	5	100%	h-h	22.2222		15.68		348.44	
SUB-TOTAL MO:								819.33	
Equipos y Herramientas									
CAMION PLATAFORMA 4x2, 122 HP, 8 TN.	1	25%	h-m	1.1111		31.88		35.42	
CABALLETE ALZABOBINA	1	100%	h-m	4.4444		2.13		9.47	
TIRFOR 3 TN.	2	100%	h-m	8.8889		3.19		28.36	
POLEA	10	100%	h-m	44.4444		1.06		47.11	
EQUIPOS DE COMUNICACIÓN (RADIO DE MANO)	5	100%	h-e	22.2222		2.55		56.67	
EQUIPOS DE SEGURIDAD			% MO	3%		819.33		24.58	
HERRAMIENTAS			% MO	5%		819.33		40.97	
SUB-TOTAL EQ:								242.58	

ANEXO C: Presupuesto de la propuesta planteada

Descripción / Subcomponente	Proveedor referencial	Cant.	P. Unit. (S/)	Total (S/)
1. Equipos principales Subtotal: S/ 20,972.32				
1.1 Módulos fotovoltaicos — TENSITE EM630-PH, 630 Wp (16 und.) S/ 6,892.32				
Panel fotovoltaico TENSITE EM630-PH mono bifacial	Solartex Perú S.A.C. Lima	8	350	5,600.00
Caja de conexiones IP68 (incluida en módulo)	Solartex Perú S.A.C.	8	25	400
Conector MC4 macho/hembra (par por módulo)	Promelec S.A.C. Cusco	8	18.27	292.32
Embalaje y flete Lima–Cusco (por unidad)	Olva Courier	8	37.5	600
Subtotal 1.1				6,892.32
1.2 Inversor trifásico — GROWATT MID 6KTL3-XL, 6 kW S/ 5,800.00				
Inversor GROWATT MID 6KTL3-XL (IP65, 4 000 m.s.n.m.)	Growatt Perú / Tecnosol Lima	1	4,900.00	4,900.00
Módulo WiFi para monitoreo remoto ShineWiFi-X	Tecnosol	1	280	280
Manual, garantía y accesorios de montaje	Tecnosol	1	120	120
Flete y seguro Lima–Cusco	Olva Courier	1	500	500
Subtotal 1.2				5,800.00
1.3 Banco de baterías LiFePO4 — 48 V / 100 Ah (4.8 kWh) S/ 5,800.00				
Batería LiFePO4 48 V 100 Ah con BMS integrado	Solartex Perú S.A.C. Lima	1	4,950.00	4,950.00
Rack / soporte metálico para batería	Promelec S.A.C. Cusco	1	350	350
Cable de conexión batería–inversor 35 mm ² (juego)	Promelec S.A.C.	1	200	200
Flete Lima–Cusco (batería, carga especial)	Olva Courier	1	300	300
Subtotal 1.3				5,800.00
1.4 Controlador MPPT — 100 A / 48 V con comunicación S/ 1,800.00				
Controlador MPPT 100A 48V (RS485 + WiFi)	Tecnosol / Victron Energy Lima	1	1,500.00	1,500.00
Cable RS485 para comunicación (3 m)	Promelec S.A.C.	1	80	80

Accesorios de fijación y manual técnico	Tecnosol	1	120	120
Flete Lima-Cusco	Olva Courier	1	100	100
Subtotal 1.4				1,800.00
2. Estructuras y montaje Subtotal: S/ 4,250.00				
2.1 Estructura de aluminio anodizado 6063-T5, inclinación 15°, 50 ml				
Perfil aluminio anodizado 40×40 mm, e=2 mm	Ferretería Cusco S.A.C. Cusco	50 ml	38	1,900.00
Tornillos, tuercas y arandelas acero inoxidable M8	Ferretería Cusco S.A.C.	1 kit	280	280
Pernos de anclaje químico M10 (16 und.)	Promelec S.A.C.	16	12.5	200
Soportes de fijación panel-perfil (clips, 2 por módulo)	Solartex Perú S.A.C.	32	15	480
Angulares de esquina y uniones para perfiles	Ferretería Cusco S.A.C.	20	22	440
Tratamiento anticorrosión (pintura epoxi + tiempo)	Ferretería Cusco S.A.C.	1 kit	150	150
Transporte y habilitación de perfiles en obra	Local Chinchero	1	800	800
Subtotal 2.1				4,250.00
3. Protecciones eléctricas Subtotal: S/ 3,890.00				
Fusible DC 35 A 1 000 V (protección por string)	Promelec S.A.C. Cusco	8	35	280
Portafusible DC 35 A 1 000 V riel DIN	Promelec S.A.C.	8	18	144
Interruptor termomagnético 3P 32 A curva C (AC)	Promelec S.A.C.	2	180	360
DPS Clase II DC 1 000 V (protección sobretensión)	Promelec S.A.C.	2	450	900
Tablero de distribución AC IP54 trifásico c/rieles DIN	Ferretería Eléctrica Andina Cusco	1	850	850
Varilla copperweld 5/8"×1.8 m (pozo tierra)	Promelec S.A.C.	2	85	170
Conductor de tierra Cu desnudo 1×16 mm ² (10 m)	Promelec S.A.C.	10 m	8.5	85

Sales y bentonita para reducción resistividad	Ferretería Eléctrica Andina	1 kit	101	101
Subtotal 3				2,890.00
Sistema de puesta a tierra (excavación + materiales)			—	1,000.00
Subtotal sección 3 (con PAT)				3,890.00
4. Cableado y conexiones Subtotal: S/ 1,394.00				
Cable solar FV 6 mm ² doble aislamiento rojo (50 m)	Promelec S.A.C. Cusco	50 m	8.5	425
Cable solar FV 6 mm ² doble aislamiento negro (50 m)	Promelec S.A.C.	50 m	8.5	425
Cable THHN 10 mm ² AC lado inversor (40 m)	Promelec S.A.C.	40 m	6.8	272
Cable THHN 10 mm ² AC (40 m, retorno neutro)	Promelec S.A.C.	40 m	6.8	272
Subtotal 4				1,394.00
5. Instalación y mano de obra Subtotal: S/ 5,054.65				
Inst. estructura y módulos FV (16 módulos, CAPECO 2025)	Técnico electricista certificado	16 pza	256.37	4,101.93
Inst. sistema almacenamiento / baterías LiFePO4	Técnico electricista certificado	1 und	503.24	503.24
Inst. sistema de puesta a tierra (pozo + conductor)	Técnico electricista certificado	1 und	449.48	449.48
Subtotal 5				5,054.65
INVERSIÓN TOTAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO				S/ 30,134.81

Elaboración propia con base en:

- Cotizaciones de proveedores: Solartex Perú S.A.C. (módulos, baterías), Tecnosol / Growatt Perú (inversor, controlador MPPT), Promelec S.A.C. Cusco (protecciones, cableado, conectores), Ferretería Cusco S.A.C. (estructuras), Ferretería Eléctrica Andina Cusco (tablero y puesta a tierra).

ANEXO D: FICHA DE OBSERVACIÓN - IEP YACHAY

Instrumento utilizado para el levantamiento in situ de información técnica sobre las instalaciones eléctricas, equipos y condiciones operativas de la Institución Educativa Particular Yachay. Fue aplicado durante visitas de campo en el mes de octubre de 2024.

Ficha de levantamiento técnico del sistema eléctrico de la IEP Yachay

SECCION	ITEM OBSERVADO	DESCRIPCION / DATO REGISTRADO	FUENTE
1. DATOS GENERALES	Nombre del suministro	Cusi Inca Ana Maria	ELSE
	Codigo de suministro	10070013952	ELSE
	Ruta	0130201004698	ELSE
	Direccion	Calle Belleza S/N, Chinchero	In situ
	Altitud	3,660 m.s.n.m.	GPS Garmin
	Latitud / Longitud	-13.3976 / -72.0486	GPS Garmin
2. DATOS DEL MEDIDOR	Tarifa contratada	BT5B	ELSE
	Tension de suministro	220 V, trifasico	In situ
	Potencia contratada	10.5 kW	ELSE
	Marca / Serie medidor	STAR / 608050731	ELSE
3. INVENTARIO DE CARGAS	Luminarias fluorescentes	71 unidades x 36 W = 2,556 W	Inspección
	Tomacorrientes activos	80 puntos	Inspección
	Computadoras de escritorio	2 unidades x 600 W = 1,200 W	Inspección
	Cañones multimedia (proyector)	3 unidades x 498 W = 1,494 W	Inspección
	Fotocopiadoras	2 unidades x 900 W = 1,800 W	Inspección
	Impresoras	1 unidad x 490 W = 490 W	Inspección
	Equipos de sonido (estéreo)	1 unidad x 75 W = 75 W	Inspección
	Laptops	11 unidades x 95 W = 570 W	Inspección
4. CONSUMO HISTORICO	Consumo promedio mensual (2023)	1,253 kWh/mes	ELSE
	Consumo máximo diario (2024)	6.137 kWh/día	ELSE
	Tarifa kWh (referencial)	S/ 0.617/kWh	ELSE
5. CALIDAD SUMINISTRO	Interrupciones promedio anual (SAIFI)	29.7 int./ano (2021-2023)	ELSE

SECCION	ITEM OBSERVADO	DESCRIPCION / DATO REGISTRADO	FUENTE
	Duración promedio anual (SAIDI)	33.58 h/año (2021-2023)	ELSE
	Límite normativo SAIFI (NTCSE)	14 interrupciones/año	DS 020-2017-EM
	Límite normativo SAIDI (NTCSE)	34 horas/año	DS 020-2017-EM
6. AREA DISPONIBLE SFV	Área en terraza / azotea	50 m2 aprox., sin sombras	GPS + inspección
	Orientación disponible	Norte geográfico	Brújula
	Inclinación del techo existente	Horizontal (plano)	In situ

Nota: La ficha fue aplicada durante visitas técnicas a la IEP Yachay. Los datos de la empresa concesionaria fueron obtenidos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. (ELSE).

ANEXO E: MAPA SOLAR - DISTRITO DE CHINCHERO

El mapa solar presenta los parámetros del recurso solar obtenidos de la plataforma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) de la Comisión Europea, para las coordenadas geográficas del estudio. Se complementa con datos de la base NASA POWER

Evaluación del potencial solar del sitio de instalación

PARAMETRO SOLAR	VALOR	UNIDAD	FUENTE
Latitud del sitio	-13.3976	grados	GPS / PVGIS
Longitud del sitio	-72.0486	grados	GPS / PVGIS
Altitud del sitio	3,660	m.s.n.m.	GPS Garmin
HSP - Enero	5.48	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Febrero	5.10	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Marzo	5.24	kWh/m2/ día	PVGIS
HSP - Abril	5.52	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Mayo	5.18	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Junio	4.43	kWh/m2/día	PVGIS (mes critico)
HSP - Julio	4.75	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Agosto	5.30	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Setiembre	5.62	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Octubre	5.70	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Noviembre	5.65	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Diciembre	5.21	kWh/m2/día	PVGIS
HSP - Promedio anual	5.26	kWh/m2/día	PVGIS
HSP critico de diseño (junio)	4.43	kWh/m2/día	PVGIS
Temperatura ambiente max.	20	grados C	SENAMHI
Temperatura ambiente min.	-5	grados C	SENAMHI
Temperatura célula max.	55	grados C	Calculo (TONC=45)
Temperatura célula min.	-10	grados C	Calculo
Inclinación optima calculada	15	grados	Norma EM-080 / fabricante
Azimut optimo	0 (Norte)	grados	Norma EM-080
Perdidas por inclinación/orientación	<3	%	Calculo (beta=15 deg)
Irradiación global horizontal anual	1,919.5	kWh/m2/ano	PVGIS
Clasificación recurso solar	Bueno	-	Atlas Solar Perú MINEM

Nota: El mes de junio (HSP = 4.43 kWh/m2/día) es el mes critico de diseño por presentar la menor irradiación solar del año. El dimensionamiento del sistema fotovoltaico se realizó con este valor para garantizar el suministro energético incluso en el peor escenario. Fuente: PVGIS - European Commission Joint Research Centre, consultado en 2024.

Radiación solar mensual en el distrito de Chinchero

Sitio	Chinchero (Peru)			
Fuente de datos	PVGIS TMY 5.3			
	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s
Enero	5.54	2.50	9.0	0.80
Febrero	4.97	2.50	10.5	0.79
Marzo	5.19	2.21	9.4	0.73
Abril	4.85	1.97	9.1	0.68
Mayo	5.09	1.24	9.7	0.75
Junio	4.43	1.36	8.1	0.66
Julio	4.92	1.33	8.1	0.78
Agosto	5.24	1.52	7.7	0.88
Septiembre	5.86	1.80	8.5	0.88
Octubre	5.78	2.31	10.0	0.89
Noviembre	5.87	2.53	9.9	0.73
Diciembre	5.19	2.65	10.1	0.70
Año	5.25	1.99	9.2	0.8

SOLAR RESOURCE & PV PERFORMANCE CALCULATION

Location and Horizon

Site location

Latitude: -13.3976°

Longitude: -72.0486°

Altitude: 3660 m

(the last one label as a database)

Performance of Grid-connected PV

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power: 1 kWp

System loss: 14.0 %

Mounting type: Free-standing

Slope: 15°

Azimuth: 0° (North)

Calculate

PVGIS, 2026.

ANEXO F: INFORMACIÓN SOLICITADA Y PANEL FOTOGRAFICO

Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia

**SOLICITA: ACCESO A INFORMACIÓN PARA
INVESTIGACIÓN DE TESIS.**

PROFESORA: ANA MARÍA CUSI INCA
Directora de la Institución Educativa Particular Yachay

De mi consideración:

Yo, John Huamputupa Quillahuaman, identificado con DNI N: 76639637, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, me dirijo a usted con el debido respeto para solicitar el acceso a la información técnica y general de la Institución Educativa Particular Yachay, requerida para el desarrollo de mi trabajo de investigación de tesis titulado: **"ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA - 2024"**.

La información solicitada será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación, garantizando el uso responsable y la confidencialidad de los datos proporcionados. Agradezco anticipadamente la atención y el apoyo brindado a la presente solicitud.

Cusco, 26 de Setiembre del 2024

Atentamente,



John Huamputupa Quillahuaman



GERENCIA REGIONAL DE EDUCACIÓN CUSCO
UNIDAD DE GESTIÓN EDUCATIVA URUBAMBA
INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR
ALTERNATIVO YACHAY
RD 0051 - 0435 - 0226
NIVELES: INICIAL - PRIMARIA - SECUNDARIA



*"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACION DE NUESTRA
INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACION DE LAS HEROICAS
BATALLAS DE JUNIN Y AYACUCHO"*

Chincheró, 26 de Setiembre del 2024

LA DIRECCIÓN DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR
ALTERNATIVO YACHAY DE CHINCHERO, SUSCRIBE LA PRESENTE
CONSTANCIA DE ESTUDIOS:

HACE CONSTAR:

Que, el Señor **John Huamputupa Quillahuaman**, identificado con DNI 76639637, Ha Desarrollado su trabajo de Investigación titulado **"ESTUDIO DE LA AUTOGENERACION SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCION EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL DISTRITO DE CHINCHERO URUBAMBA – 2024"**. Durante el año académico 2024. Los cuales se brindan a disposición de la institución.

Durante su trabajo demostró, **puntualidad y responsabilidad** en todas las actividades asignadas al proyecto de investigación.

Se le expide el presente documento a solicitud del interesado para los fines que viera por conveniencia.

Atentamente.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR
YACHAY - CHINCHERO

Prof. Ana María Cusi Inca
DIRECTORA



CALLE BELLEZA S/N



TELÉFONO 084750071

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Cusco, 1 de diciembre del 2025

SEÑOR:

ING. FREDY HERNÁN GONZALES DE LA VEGA

GERENTE GENERAL DE ELECTRO SUR ESTE S.A.A.

De mi consideración:

Me dirijo a ustedes en mi calidad de **Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco**, con el fin de solicitar su valioso apoyo para la obtención de información técnica correspondiente al sistema de distribución del **alimentador Cachimayo**, la cual es indispensable para el desarrollo de mi trabajo de investigación de tesis titulado:

"ESTUDIO DE LA AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SUMINISTRO EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR YACHAY DEL DISTRITO DE CHINCHERO, URUBAMBA - 2024"

De acuerdo con las indicaciones de mis asesores, requiero contar con los siguientes datos históricos y operativos del alimentador Cachimayo, correspondientes a un periodo de cinco años (2021-2023):

- Datos de demanda máxima y energía suministrada (mensual o anual).
- Registro histórico de interrupciones (frecuencia y duración) para el cálculo de indicadores de calidad SAIDI y SAIFI.
- Número y ubicación de subestaciones de distribución asociadas al alimentador.

Aseguro que la información proporcionada será utilizada exclusivamente con fines académicos, bajo los más estrictos criterios de confidencialidad, y será debidamente referenciada en el trabajo de investigación de acuerdo con las políticas de la empresa.

Igualmente, me encuentro dispuesto a acudir a sus oficinas para recoger la información autorizada o realizar las coordinaciones que estime convenientes, según las facilidades que su gerencia pueda brindarme.

Agradezco de antemano su apoyo para concretar esta solicitud, quedando a disposición para cualquier coordinación complementaria que sea necesaria.

Atentamente,




Br. John Huamputupa Quillahuaman
Teléfono: 931 859 997

PANEL FOTOGRÁFICO

