

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

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

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**“PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA
INTEGRADA A LA RED NMT:11290 PARA MEJORAR LA CALIDAD DE
SERVICIO ELÉCTRICO EN LA COMUNIDAD DE CHALLHUAHUACHO,
APURÍMAC 2022”**

PRESENTANDO POR:

Br. IVAN PILLCO MASIAS

Br. KAREN BRISETTE LUICHO QUISPE

Para optar al Título Profesional de Ingeniero
Electricista

ASESOR:

M.Sc. Ing. WILBERT JULIO LOAIZA CUBA

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Propuesta de generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022

presentado por: Ivan Pillo Masias con DNI Nro.: 73530231 presentado por: Karen Bissette Lucho Quispe con DNI Nro.: 74539156 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electricista

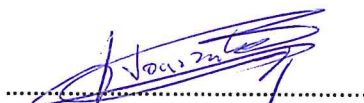
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9.....%.

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 se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica 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** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 06 de febrero de 2024



Firma

Post firma Wilbert Julio Loiza Cuba

Nro. de DNI 23.829491

ORCID del Asesor 0000-0003-3901-3178

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:325230741

NOMBRE DEL TRABAJO

PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTVOLTAICA INTEGRADA A LA RED NMT:11290 PARA MEJORAR LA CALIDAD

AUTOR

KARE_IVAN LUICHO_PILLCO

RECUENTO DE PALABRAS

28451 Words

RECUENTO DE CARACTERES

164581 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

154 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.8MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 6, 2024 8:05 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 6, 2024 8:07 AM GMT-5

● 9% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

PRESENTACIÓN

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica,
Dr. Ing. Lauro Enciso Rodas.

Distinguidos señores miembros del Jurado; al concluir mi proceso de formación académica conforme a las disposiciones establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad, nos disponemos a solicitar la obtención del Título Profesional de Ingenieros Electricistas. Estamos convencidos de que este trabajo no solo representa el cierre de nuestra etapa formativa, sino que también constituirá un valioso referente y contribución para investigaciones futuras relacionadas con el tema.

Ponemos a vuestra consideración la presente tesis titulada “Propuesta de Generación Distribuida Fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022”.

Atentamente

Karen Brisette Luicho Quispe

Ivan Pillco Masias

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por haberme otorgado a aquellas personas extraordinarios, quienes siempre han confiado en mí. Estas personas han sido un ejemplo de superación, humildad y sacrificio, guiándome para apreciar todo lo que tengo. Su apoyo ha sido fundamental en la consecución de este logro.

A mis padres Paulina Masias Valencia y Ruperto Pillco Ccuero, por haberme creado como la persona que soy en la actualidad; por brindarme su amor, respaldo, comprensión y orientación, hicieron que siga avanzando sin rendirme; ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi desarrollo profesional.

A mi abuelita Cirila Valencia, a mis hermanos; Lizzie, Jesús, Jessica, Alfredo, a mis tíos, tías, primas, primos y a todos aquellos que me acompañaron a lo largo de mi formación académica como son mis amigos; Leonidas, Harol, Freddy, Luis Oscar, Oscar L., Daniel, Bill, Jorge L., Edwar, Yoldy, Jean Carlos, por todos esos momentos en las aulas universitarias.

Ivan Pillco Masias.

DEDICATORIA

A mis padres Andrea Quispe Espinoza y Pascual Luicho Machacca por los valores que siempre me inculcaron y por el apoyo incondicional que me brindan.

A mis hermanos; Abrahan Alberto, Luz Marina, Nadia Roxana, Zoraida Jakelin, Jhoel Alex y Jennyferry Andrea, por su apoyo y motivación que me brindan día a día.

A mis sobrinos Scott, Aliona y Kataleya, a mis amigos y a todos los que nos brindaron su apoyo en el proceso de elaboración de nuestra tesis.

Karen Brisette Luicho Quispe

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, también a nuestras familias por su apoyo, especialmente a nuestros padres y a las demás personas que contribuyeron durante el desarrollo del presente trabajo de tesis y sus aportes realizados.

Agradecemos en especial a nuestro asesor Ing. Wilbert Loaiza Cuba y a los Ingenieros, Ing. Ronald Dueñas, Ing. Edgar Alarcón, Ing. Manuel Lau y al Ing. Wilfredo Callasi que nos brindaron su apoyo académico, por su motivación y la confianza en nosotros a lo largo de la formación académica y durante nuestras vidas universitarias.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica y a todos los docentes por su dedicación, por el compromiso, sobre todo a las ganas de transmitirnos sus conocimientos, hemos logrado culminar con el desarrollo de nuestra tesis con éxito.

También agradecemos a los Ingenieros de la empresa Electro Sur Este S.A.A. que nos brindaron información para el desarrollo de nuestro trabajo.

Ivan Pillco Masias

Karen Brisette Luicho Quispe

INTRODUCCIÓN

La electricidad es un servicio básico crucial para el desarrollo de la sociedad y el bienestar de los hogares. Sin embargo, al analizar la situación actual del suministro eléctrico en la zona en estudio, observamos caídas de tensión que superan los límites permitidos por las normas técnicas, lo que resulta en una baja calidad de la energía suministrada. Es imperativo tomar medidas mitigadoras para contrarrestar estos impactos negativos. La transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias es esencial. Estas acciones no solo beneficiarán al medio ambiente, sino que también asegurarán un servicio eléctrico confiable para las actuales y futuras generaciones.

Asimismo, es crucial tener en cuenta el crecimiento progresivo de la demanda eléctrica, que supera las proyecciones realizadas por Electro Sur Este hasta el año 2026. Esto sugiere que la demanda futura será aún más amplia de lo inicialmente estimado. En consecuencia, se vuelve imperativo implementar nuevas fuentes de energía, como los sistemas fotovoltaicos. Los paneles solares han emergido como recursos clave para la generación de energía en el siglo 21, destacándose por su sostenibilidad y limpieza. La continua promoción de la adopción de sistemas fotovoltaicos ha resultado en una alta integración de esta tecnología innovadora en los sistemas convencionales de energía eléctrica. Actualmente, la tecnología fotovoltaica es reconocida como la forma más común de generación distribuida (GD) integrada con el sistema eléctrico convencional. La implementación de sistemas fotovoltaicos no solo se presenta como una solución viable para cubrir la creciente demanda, sino que también representa un paso significativo hacia un sistema eléctrico más resiliente y respetuoso con el medio ambiente.

La implementación de energías renovables, como la solar, eólica e hidroeléctrica, no solo reduce los gases de efecto invernadero, sino que también fortalece la resiliencia del sistema eléctrico ante el cambio climático en Perú. Para aprovechar su gran potencial, es necesario una combinación adecuada de tecnologías considerando las características geográficas y climáticas del país. La diversificación de fuentes de generación asegura un suministro energético estable y seguro a largo plazo. Políticas claras, regulaciones e incentivos económicos son esenciales para impulsar la inversión y fomentar la generación distribuida de energías renovables, promoviendo así un uso sostenible de la energía y la protección del medio ambiente.

La ubicación preferida para la Generación Distribuida (GD) mediante energías renovables suele ser en puntos cercanos a las cargas en un sistema de distribución primaria, ya que esto ayuda a minimizar las pérdidas de energía, optimizar el factor de potencia, estabilizar la tensión en la parte final de la red eléctrica y mejorar la eficiencia en términos del factor de potencia.

En la actualidad, La generación distribuida fotovoltaica es una solución en crecimiento para contrarrestar interrupciones de energía, mejorando su calidad. Con avances tecnológicos y precios decrecientes, se prevé un aumento en su uso. Estas fuentes de energía renovable ofrecen beneficios significativos, especialmente en zonas rurales, proporcionando mejor calidad de vida y desarrollo a través del acceso a energía eléctrica.

Este trabajo de investigación plantea proponer la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctricos en la comunidad de Challhuahuacho, analiza un método adecuado para la inserción del sistema fotovoltaico a la barra del alimentador, además de la interpretación las variaciones de los parámetros del sistema de distribución, para evaluar si el sistema mantiene la calidad del servicio eléctrico necesario en el suministro.

RESUMEN

La presente tesis denominada **PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA INTEGRADA A LA RED NMT:11290 PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO EN LA COMUNIDAD DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC 2022**, surge como resultado del análisis de las necesidades energéticas en la zona que constituye el ámbito de estudio.

El trabajo desarrolla en cuatro capítulos cuyos alcances se encuentran respaldados en el marco teórico, estado del arte y cálculos desarrollados, así como en la investigación del problema, la experiencia profesional de los autores y el modelamiento de la propuesta de proyecto mediante software especializado.

El trabajo que se presenta en este documento tiene como objetivo principal proponer una generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.

Para lograr este objetivo, se realizó una investigación histórica del problema, se analizó el estado del arte y se desarrollaron cálculos y modelamiento energético de la propuesta de proyecto mediante software especializado. La metodología utilizada en este trabajo fue de tipo aplicada, con un diseño de investigación no experimental – transversal y un nivel de investigación descriptivo.

Se planteó hipótesis general, y se recolectó información mediante técnicas e instrumentos específicos para la investigación. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la implementación de un sistema de generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 es una solución viable y efectiva para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho.

En cuanto a las sugerencias, se recomienda la implementación de este sistema en otras zonas con características similares, y se sugiere la realización de estudios más detallados sobre la viabilidad económica y social de este tipo de proyectos. En resumen, este trabajo presenta una propuesta innovadora y efectiva para mejorar la calidad de vida de la comunidad de Challhuahuacho mediante la implementación de un sistema de generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290.

Palabras claves: “Generación, distribuida, fotovoltaico, calidad de servicio”

ABSTRACT

The present thesis called **PROPOSAL FOR PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION INTEGRATED TO THE NETWORK NMT:11290 TO IMPROVE THE QUALITY OF ELECTRICITY SERVICE IN THE COMMUNITY OF CHALLHUAHUACHO, APURIMAC 2022**, arises as a result of the analysis of the energy needs in the area that constitutes the scope of study.

The work develops in four chapters whose scopes are supported in the theoretical framework, state of the art and calculations developed, as well as in the investigation of the problem, the professional experience of the authors and the modeling of the project proposal by means of specialized software.

The main objective of the work presented in this paper is to propose a distributed photovoltaic generation integrated to the NMT:11290 grid to improve the quality of electric service in the community of Challhuahuacho, Apurimac.

To achieve this objective, a historical research of the problem was carried out, the state of the art was analyzed and calculations and energy modeling of the project proposal were developed using specialized software. The methodology used in this work was applied, with a non-experimental - transversal research design and a descriptive research level.

A general hypothesis was proposed, and information was collected by means of specific techniques and instruments for the research. The results obtained allowed concluding that the implementation of a photovoltaic distributed generation system integrated to the NMT:11290 network is a viable and effective solution to improve the quality of electric service in the community of Challhuahuacho.

As for suggestions, the implementation of this system in other areas with similar characteristics is recommended, and more detailed studies on the economic and social viability of this type of project are suggested. In summary, this work presents an innovative and effective proposal to improve the quality of life of the Challhuahuacho community through the implementation of a photovoltaic distributed generation system integrated to the NMT:11290 grid.

Keywords: "Distributed, generation, photovoltaic, quality of service and storage".

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

GD	Generación Distribuida
LCE	Ley de Concesiones Eléctrica
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
OSINERMINING	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
COES	Comité de Operación Económica del Sistema
CNE	Código Nacional de Electricidad
LDGE	Ley de Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica
RD	Red de Distribución
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
IEEE	Instituto Tecnológico de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
GRNC	Generación Renovable No Convencional
RER	Recurso Energético Renovable
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
ANSI	American National Standards Institute
PCC	Punto Común de Conexión
NSRDB	Base de Datos Nacional de Radiación Solar
NREL	Laboratorio Nacional de Energías Renovables
NMT	Nodo de Media Tensión
LT	Líneas de transmisión
S/E	Subestación Eléctrica
SED	Subestación de Distribución
AT	Alta Tensión.
MT	Media Tensión.
BT	Baja Tensión.
kV	kilovoltio.
kVA	Kilo Voltamperio.
kVar	Kilo Voltio amperio reactivo.
kW	Kilovatio

p.u	Por unidad
SFV	Sistema Fotovoltaico.
PV	Célula fotoeléctrica.
SFV	Sistema Fotovoltaico
FV	Generación Fotovoltaica
PMGD	Pequeños Medios de Generación Distribuida
NTCSE	Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos
NTCSER	Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Rural
ELSE	Electro Sur Este
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average interruption Frequency Index
SFD	Sistema Fotovoltaico Domestico (Guía de instalación)
GDA	Generación Distribuida de Autoconsumo
GPAE	Gerencia de Políticas y análisis Económicos (OSINERGMIN)
PM	Programado mantenimiento
PE	Programado, expansión o reforzamiento
NF	No programado, falla
NO	No programado, operación
NT	No programado, acción de terceros
NC	No programado, fenómenos naturales

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xviii
CAPITULO I.....	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ÁMBITO GEOGRÁFICO.....	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. Descripción del problema.....	3
1.4. Formulación del Problema.....	10
1.4.1. Problema General.....	10
1.4.2. Problema Específicos.....	10
1.5. Objetivos.....	10
1.5.1. Objetivo general.....	10
1.5.2. Objetivos específicos.....	11
1.6. Justificación.....	11
1.6.1. Justificación Técnica.....	11
1.6.2. Justificación Económica.....	11
1.6.3. Justificación Social.....	12
1.7. Alcances y Limitaciones.....	12
1.7.1. Alcances.....	12

1.7.2.	Limitaciones	12
1.8.	Hipótesis	13
1.8.1.	Hipótesis general	13
1.9.	Variables e Indicadores	13
1.9.1.	Variables e indicadores independientes.....	13
1.9.2.	Variables e indicadores dependientes.....	13
1.10.	Metodología	14
1.10.1.	Tipo de investigación.....	14
1.10.2.	Diseño de investigación	14
1.10.3.	Nivel de Investigación	14
1.10.4.	Lugar de estudio.....	15
1.10.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de información	15
CAPITULO II.....		16
MARCO TEÓRICO		16
2.1.	Introducción	16
2.2.	Antecedentes	16
2.2.1.	Antecedentes internacionales	16
2.2.2.	Antecedentes nacionales.....	18
2.3.	Conceptos generales	21
2.3.1.	Recursos Energéticos Renovables	21
2.3.2.	Generación Distribuida.....	26
2.3.3.	Sistemas Fotovoltaicos	32
2.3.4.	Radiación Solar	33
2.3.5.	Base de Datos NSRDB	35
2.3.6.	Módulos fotovoltaicos	36
2.3.7.	Inversor de red	42
2.3.8.	Sistema de Almacenamiento	50
2.3.9.	Performance Ratio	51
2.3.10.	Interrupciones en el sistema de distribución.....	52
2.3.10.1.	Interrupciones de larga duración	54
2.3.10.2.	Interrupciones de energía eléctrica.....	54

2.3.10.3.	Clasificación de interrupciones	54
2.3.10.4.	Causas de las interrupciones	55
2.3.11.	Calidad de servicio eléctrico.....	55
2.3.11.1.	Indicadores de calidad de suministro por sistema eléctrico	56
2.3.12.	Calidad de energía	57
CAPITULO III		58
FORMULACIÓN DEL MODELO PROPUESTO		58
3.1.	Introducción	58
3.2.	Diagnóstico del Sistema eléctrico Llusco (LL-02)	58
3.2.1.	Sistema eléctrico de Llusco (LL-02)	58
3.2.2.	Componentes del alimentador Llusco (LL-02)	58
3.2.3.	Indicadores SAIDI y SAIFI de LL-02 del NMT: 11290	59
3.3.	Descripción del área del proyecto.....	65
3.3.1.	Ubicación geográfica.....	65
3.4.	Distribución del Sistema.....	68
3.5.	Capacidad energética a suministrar	68
3.6.	Solución propuesta.....	72
3.7.	Sistema BESS	77
3.8.	Convertidor BESS DC-DC	78
3.9.	Inversores.....	80
3.10.	Centro de transformación	82
3.11.	Distribución de la solución.....	82
3.12.	Inclinación y separación óptimas	83
CAPITULO IV		86
VALIDACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA		86
4.1.	Introducción	86
4.2.	Evaluación económica	86
4.2.1.	Gastos de capital (CAPEX)	86
4.2.2.	Gastos de operación (OPEX).....	86
4.3.	Evaluación de la viabilidad económica	88
4.3.1.	Egresos	88

4.3.2. Ingresos.....	88
4.4. Evaluación energética	89
4.5. Evaluación ambiental.....	90
4.6. Indicadores Económicos	93
4.7. Beneficios técnicos	96
4.8. Modelamiento Fotovoltaico general en DigSILENT Power Factory	97
4.8.1. Diagrama Unifilar General	97
4.8.2. Diagrama del S.E. Llusco (LL-02) al sistema proyectado	98
4.8.3. Propuesta de Generación fotovoltaica	99
4.8.4. Sin conexión de la generación distribuida fotovoltaica a NMT: 11290	100
4.8.5. Con conexión de la generación distribuida fotovoltaica a red NMT: 11290 103	
4.8.6. Con conexión de baterías BESS a red NMT: 11290	106
4.8.7. Análisis de corriente de cortocircuito.....	108
4.8.8. Niveles de tensión, frecuencia de red, potencia reactiva, factor de potencia, armónicos, estabilidad del sistema.	112
CONCLUSIONES.....	116
SUGERENCIAS.....	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ámbito geográfico de estudio	2
Figura 1. 2 Ubicación de la Generación Distribuida Fotovoltaica.	2
Figura 1. 3 Diagrama unifilar del alimentar de la comunidad de Challhuahuacho	9
Figura 2.1 Formación de la energía solar Fotovoltaica	23
Figura 2. 2 Sistema fotovoltaico de autoconsumo de 500 kWp para una industria textil en el departamento de Ica, Peru	24
Figura 2. 3 Evolución 2010-2022 de los costos de la tecnología fotovoltaica (USD/kW)	25
Figura 2.4 Sistema eléctrico con generación distribuida.....	28
Figura 2.5 Factores que contribuyen a la adopción de generación distribuida	29
Figura 2.6 Costos instalados de energía solar fotovoltaica y rango percentiles (2010-2018)	30
Figura 2.7 Mapa de la radiación solar horizontal en el Perú	30
Figura 2. 9 Componentes de la radiación global (directa, difusa y refleja).....	34
Figura 2. 10 Mapa solar de la radiación mundial	36
Figura 2. 11 Clasificación actual de los módulos fotovoltaicos.....	38
Figura 2. 12 Variación de los parámetros de operación de los módulos debido a la variación de irradiancia y temperatura en las celdas	40
Figura 2. 13 Etapas de conversión de un inversor fotovoltaico	42
Figura 2. 14 Esquema del inversor trifásico mediante la combinación de tres inversores monofásicos independientes	44
Figura 2. 15 Circuito del inversor trifásico	45
Figura 2. 16 Tres modos de funcionamiento para 180° de conducción.....	46
Figura 2. 17 Tres modos de funcionamiento para 120° de conducción.....	46
Figura 2. 18 Formas de onda en corriente alterna	47
Figura 2. 19 Inversor centralizado de 1 MW.....	49
Figura 2. 20 Etapas de conversión BESS: almacenamiento y potencia	50
Figura 3.1 Comparativo SAIFI.....	63
Figura 3.2 Comparativo SAIDI	64
Figura 3.3 Ubicación del proyecto de tesis a nivel del alimentador LL-02	66
Figura 3.4 Ubicación del proyecto de tesis a nivel del alimentador LL-02 del NMT 11290	66
Figura 3. 5 Ubicación de la Generación Distribuida Fotovoltaica.	67
Figura 3. 6 Área disponible para instalación	68
Figura 3. 7 Esquema de funcionamiento de proyecto	73
Figura 3. 8 Distribución de los Módulos fotovoltaicos	75

Figura 3. 9 Módulo fotovoltaico Monocristalino de 690Wp.....	76
Figura 3. 10 Módulo BESS de 573 kWh.....	77
Figura 3. 11 Convertidor DC-DC	79
Figura 3. 12 Inversor Central.....	81
Figura 3. 13 Ubicación propuesta para los inversores.....	83
Figura 3. 14 Distancia óptima inicial (DOI) para la separación entre filas.....	84
Figura 4. 1 Pérdidas y parámetros del sistema	89
Figura 4. 2 Generación mensual de energía solar (AC Energy).....	90
Figura 4. 3 Diagrama unifilar general	97
Figura 4. 4 Diagrama LL-02 al sistema proyectado	98
Figura 4. 5 Diagrama unifilar del Sistema fotovoltaico conectado a la red NMT: 11290 .	99
Figura 4. 6 Flujo de potencia sin conexión del sistema fotovoltaico	100
Figura 4. 7 Comportamiento del nivel de tensión del alimentador de red NMT:11290 en un día.	100
Figura 4. 8 Comportamiento del nivel de tensión del alimentador de red NMT:11290 en un mes.	101
Figura 4. 9 Curva de generación sin conexión del sistema fotovoltaico	102
Figura 4.10 Flujo de potencia con conexión del sistema fotovoltaico	103
Figura 4.11 Curva de generación del sistema fotovoltaica	103
Figura 4. 12 Nivel de Tensión con conexión de generación fotovoltaica del sistema	104
Figura 4. 13 Curva de generación con conexión de generación fotovoltaica.....	105
Figura 4. 14 Flujo de potencia con conexión de batería BESS	106
Figura 4. 15 Curva de generación con conexión de batería BESS.....	106
Figura 4. 16 Nivel de Tensión con conexión de batería BESS del sistema.....	107
Figura 4. 17 Curva de generación con conexión de sistema fotovoltaico y batería BESS	108
Figura 4. 18 Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” sin conexión del GDF 500kW	108
Figura 4. 19 Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” con conexión del GDF 500kW	109
Figura 4. 20 Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” con conexión del GDF 500kW	110
Figura 4. 21 Caída de tensión a cero cuando ocurre una falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV”.....	111
Figura 4. 22 Corriente de cortocircuito trifásico en la barra “Conexión en 22.9 kV”.....	112
Figura 4. 23 Regulación de tensión	113
Figura 4. 24 Regulación de frecuencia	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2018.....	4
Tabla 1. 2 Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2019.....	5
Tabla 1. 3 Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2020.....	6
Tabla 1. 4 Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2021.....	7
Tabla 1. 5 Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctricas en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2022.....	7
Tabla 1. 6 Variable e indicadores independientes.	13
Tabla 1. 7 Variable e indicadores dependientes.	13
Tabla 2. 1 Tipos de RER no convencionales y tecnologías de generación eléctrica.....	22
Tabla 2. 2 Naturaleza de interrupciones	55
Tabla 2. 6 Indicadores de calidad de servicio eléctrico	55
Tabla 3. 1 Reportes de SAIFI y SAIDI del año 20218.....	59
Tabla 3. 2 Reportes de SAIFI y SAIDI del año 20219.....	60
Tabla 3. 3 Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2020.....	60
Tabla 3. 4 Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2021.....	61
Tabla 3. 5 Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2022.....	61
Tabla 3. 6 Comparación de resultados de SAIFI del 2020 al 2022.....	62
Tabla 3. 7 Comparación de resultados de SAIDI del 2020 al 2022	63
Tabla 3. 8 Comparativo de SAIFI y SAIDI con incorporación de generación distribuida fotovoltaica del 2022.	65
Tabla 3.9 Coordenadas UTM de ubicación propuesta.....	67
Tabla 3. 10 Interrupciones energía eléctricas en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2018.....	69
Tabla 3. 11 Tiempo medio de interrupciones	70
Tabla 3. 12 Radiación solar de Chalhuahuacho.	71
Tabla 3. 13 Características Técnicas del módulo fotovoltaico	76
Tabla 3. 14 Características Técnicas del BESS	78
Tabla 3. 15 Características Técnicas Convertidor DC-DC.....	79
Tabla 3. 16 Características Técnicas del Inversor Central	81
Tabla 3. 17 Características Técnicas Inversor Central	82
tabla 4. 1 CAPEX y OPEX del sistema propuesto	87
Tabla 4. 2 Precio de venta de tecnología solar IV, subasta RER.....	91

Tabla 4. 3 Evaluación Económica sin bonos de carbono	93
Tabla 4. 4 Evaluación Económica con bonos de carbono	95
Tabla 4. 5 Corriente de cortocircuito.....	109
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	132
Tabla 2	133
Matriz de Consistencia	133

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

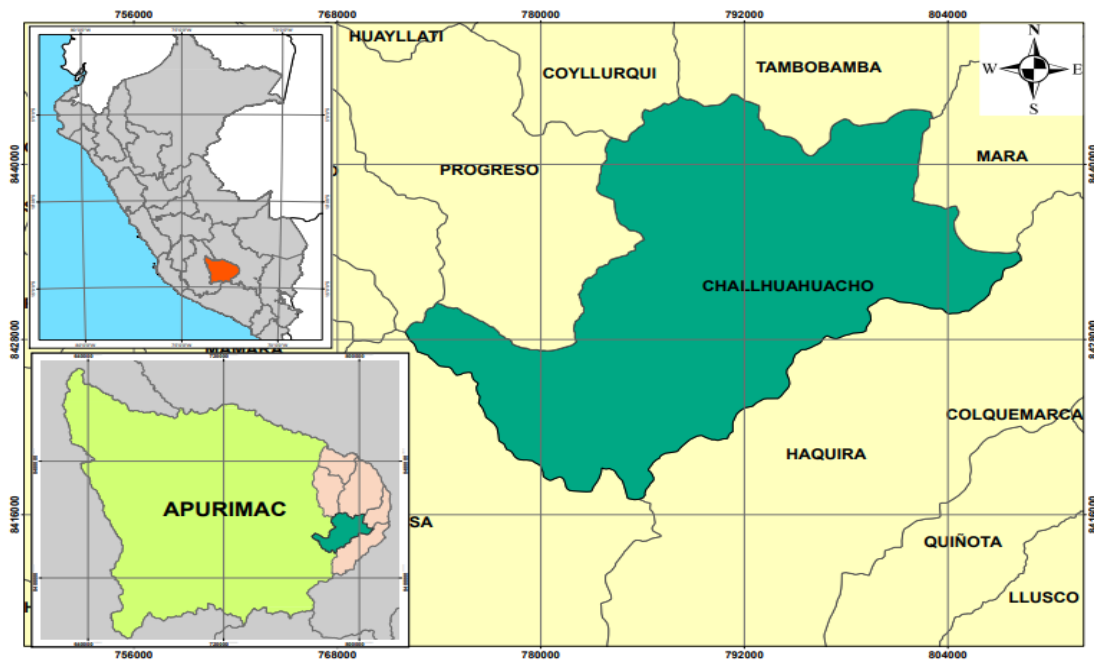
La falta de confiabilidad en los alimentadores de energía eléctrica, debido a fenómenos naturales, descargas eléctricas y otros factores, resulta en cortes frecuentes del servicio eléctrico. Estos cortes no solo generan pérdidas económicas para las concesionarias, que están obligadas a compensar a los usuarios afectados después de cierto tiempo de interrupción del servicio, sino que también causan descontento en la población. Este servicio es crucial tanto para las industrias como para los hogares. Una posible solución para mejorar la confiabilidad, medida a través de indicadores como SAIDI y SAIFI, en los alimentadores es la implementación de generación distribuida fotovoltaica en los mismos. Esto ayudaría a los problemas que no pueden ser controlados por las protecciones eléctricas de las redes, asegurando que el suministro de energía no se vea interrumpido en la comunidad de Challhuahuacho.

1.2. ÁMBITO GEOGRÁFICO

El estudio de investigación se desarrollará en la línea Llusco (LL-02) en el tramo de alimentación del NMT:11290 de la Comunidad de Challhuahuacho, distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas y departamento de Apurímac a una altitud de 3698 msnm.

Figura 1.1

Ámbito geográfico de estudio



Nota: Elaboración propia con ArcGis

Figura 1.2

Ubicación de la Generación Distribuida Fotovoltaica.



Nota: Google maps

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Descripción del problema

La generación distribuida en el Perú inició en 2006 con la Ley 28832, con el objetivo de mejorar las reglas establecidas en la Ley de Concesiones Eléctricas. En 2015, se implementaron medidas adicionales con el D.L. N° 1221. En 2018, se autorizó la publicación de un proyecto de decreto supremo para aprobar el reglamento de generación distribuida, pero a la fecha aún no se ha aprobado. El 02 de agosto del 2018 mediante la Resolución Ministerial N° 292-2018-MEM/DM, el MINEM propone un Reglamento de la Generación Distribuida, el cual se puso en consulta pública, pero nunca fue aprobado.

Según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER) RD N° 016-2008-EM/DGE, se establecen tolerancias admitidas para variación de tensión, siendo $\pm 6\%$ para Media Tensión (MT), y $\pm 7.5\%$ para Baja Tension (BT). En cuanto a los indicadores de calidad del servicio la norma define tolerancias, que se debe tener en cuenta son: Numero de interrupciones de 07 interrupciones/semestre y una duración ponderada en las interrupciones de 17 horas/semestre para MT, así mismo para BT de 10 interrupciones/semestre y 25 horas/semestre.

A nivel nacional, las interrupciones en las instalaciones de transmisión de energía eléctrica pueden atribuirse a diversas causas, como caídas de árboles, descargas atmosféricas, fallas de equipos y la expansión/reforzamiento de redes. En la región Sur del país, se han registrado interrupciones más frecuentes, especialmente durante la temporada de lluvias. Estas interrupciones afectan la calidad de la energía eléctrica, provocando daños y deterioro en equipos electrónicos. Es esencial abordar estas causas para garantizar un suministro eléctrico más estable y de mejor calidad.

La región sur del Perú destaca por su alto potencial de energía solar. En la zona de Apurímac, específicamente en la comunidad de Challhuahuacho, se registra un índice de radiación solar elevado. Para aprovechar este potencial, se propone la implementación de un Sistema Fotovoltaico para Generación Distribuida con una capacidad de suministro de 500 kW y almacenamiento de 511 kWh. Este sistema beneficiará a la población, mejorando la calidad de la energía. Entre sus ventajas se encuentran bajos costos de operación y mantenimiento, impacto ambiental mínimo, pueden conectarse y desconectarse de la red eléctrica.

El alimentador Llusco (LL-02), según reportes obtenidos, ha experimentado mayor número de fallas en los últimos meses, estas fallas han resultado en interrupciones de energía eléctrica que afecta directamente a la comunidad de Challhuahuacho. La confiabilidad del servicio eléctrico es fundamental para el adecuado funcionamiento de un sistema de distribución, y la falta de esta continuidad afecta significativamente diversas actividades de los usuarios, generando costos adicionales para los usuarios y para la empresa concesionaria.

Además, las interrupciones en el alimentador no solo afectan a los usuarios, sino que también pueden resultar en penalización por parte de la entidad reguladora que es Osinergmin. Las fallas en la red NMT: 11290, se dan por diversos factores, como descargas atmosféricas, sobrecargas durante las horas pico, la extensión del alimentador, el desbalance en la red y pérdidas, entre factores. Estas fallas tienen un impacto considerable en diversas actividades de los usuarios y requieren una atención inmediata para mejorar la calidad del servicio.

La presente tesis tiene como objetivo general, proponer una generación distribuida de sistema fotovoltaico integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.

Para el proyecto de tesis, se realizó la recopilación de datos de interrupciones eléctricas no programadas del AMT - LL02, en el tramo de la red de la línea del NMT:11290 que alimenta a la comunidad de Chalhuahuacho de los años del 2018 al 2022.

Tabla 1. 1

Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2018.

Cantidad de interrupciones (2018)				
MES	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	2	0	0	12
Febrero	2	0	0	7
Marzo	0	1	1	9
Abril	0	0	2	3
Mayo	1	0	0	2

Junio	1	0	0	2
Julio	0	0	0	2
Agosto	1	0	0	3
Septiembre	0	1	0	3
Octubre	1	0	1	2
Noviembre	1	0	0	3
Diciembre	1	0	0	4

Nota: Centro de Control-ELSE (Elaboración propia)

En la tabla 1.1, se presenta el registro de interrupciones que afectaron principalmente al alimentador en el NMT: 11290 de Challhuahuacho durante el año 2018. Estas interrupciones se debieron a factores como descargas eléctricas, vientos intensos, inundaciones y otros eventos de origen natural o ambiental, con una cantidad de 68 interrupciones.

Tabla 1. 2

Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2019.

MES	Cantidad de interrupciones (2019)			
	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	1	0	0	1
Febrero	0	1	0	3
Marzo	0	0	1	3
Abril	3	0	0	8
Mayo	0	1	0	5
Junio	1	0	1	8
Julio	1	1	1	5
Agosto	1	0	4	6
Septiembre	2	2	1	6
Octubre	5	3	8	8
Noviembre	1	0	0	4
Diciembre	9	2	1	4

Nota: Centro de Control - ELSE (Elaboración propia)

En la tabla 1.2, se presenta el registro de interrupciones que afectaron principalmente al alimentador en el NMT: 11290 de Challhuahuacho durante el año 2019, estas interrupciones se debieron a factores como descargas eléctricas, caída de conductor de red, contacto de red con árbol, error de maniobra y entre otros, fuertes vientos, otros eventos de fenómenos naturales o ambientales, contacto entre conductores y otros por falla en componentes del sistema de potencia, con una cantidad de 112 interrupciones.

Tabla 1. 3

Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2020.

Cantidad de interrupciones (2020)				
MES	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	0	0	0	2
Febrero	1	1	0	0
Marzo	0	0	0	7
Abril	0	0	0	2
Mayo	1	0	0	0
Junio	0	0	0	0
Julio	1	1	0	2
Agosto	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0

Nota: Centro de Control - ELSE (Elaboración propia)

En la tabla 1.3, se presenta el registro de interrupciones que afectaron principalmente al alimentador en el NMT: 11290 de Challhuahuacho durante el año 2020, estas interrupciones se debieron a factores como descargas eléctricas, fuertes vientos, otros eventos de fenómenos naturales o ambientales, caída conductor red y error de maniobra, con una cantidad de 18 interrupciones.

Tabla 1. 4

Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2021.

Cantidad de interrupciones (2021)				
MES	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	0	0	1	4
Febrero	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0
Abril	0	0	0	3
Mayo	0	0	0	0
Junio	2	0	2	1
Julio	0	0	0	1
Agosto	0	0	0	0
Septiembre	2	0	2	2
Octubre	1	1	1	0
Noviembre	1	1	1	1
Diciembre	2	0	1	3

Nota: Centro de Control-ELSE (Elaboración propia)

En la tabla 1.4, se presenta el registro de interrupciones que afectaron principalmente al alimentador en el NMT: 11290 de Chalhuahuacho durante el año 2021, estas interrupciones se debieron a factores como descargas eléctricas, fuertes vientos, caída conductor de red y bajo nivel de aislamiento, con una cantidad de 33 interrupciones.

Tabla 1. 5

Numero de interrupciones imprevistas de energía eléctricas en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2022.

Cantidad de interrupciones (2022)				
MES	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	0	0	0	1
Febrero	2	2	3	1
Marzo	3	4	1	7

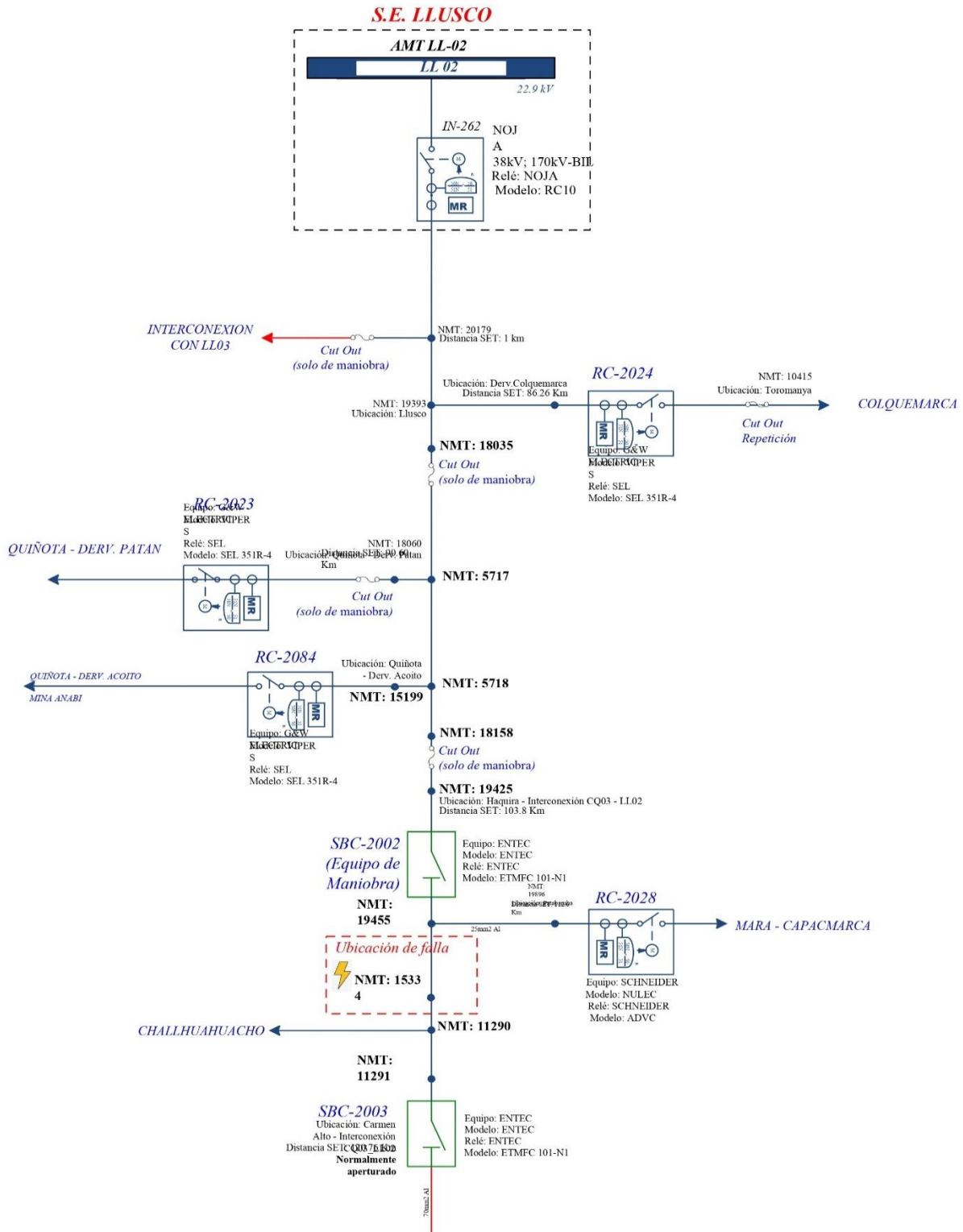
Abril	0	0	2	3
Mayo	1	0	0	1
Junio	0	0	0	2
Julio	1	2	1	3
Agosto	0	0	1	6
Septiembre	0	0	1	8
Octubre	1	0	0	9
Noviembre	3	1	8	10
Diciembre	3	3	2	12

Nota: Centro de Control - ELSE (Elaboración propia)

En la tabla 1.4, se presenta el registro de interrupciones que afectaron principalmente al alimentador en el NMT: 11290 de Challhuahuacho durante el año 2022, estas interrupciones se debieron a factores como descargas eléctricas, fuertes vientos, caída conductor de red y otros, con una cantidad de 108 interrupciones.

Figura 1.3

Diagrama unifilar del alimentar de la comunidad de Challhuahuacho



Nota: Centro de Control - Electro Sur Este S.A.A

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

¿Cómo la implementación de la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 permitirá mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022?

1.4.2. Problema Específicos

- ¿Cuáles son las principales deficiencias de calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac, identificadas en el diagnóstico de la red eléctrica NMT: 11290?
- ¿Cómo se determinará la capacidad de generación requerida, el dimensionamiento de los paneles solares, la ubicación óptima de la instalación y la selección de los dispositivos de conversión de energía en la propuesta de la implementación de generación distribuida fotovoltaica en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac?
- ¿Cuál será el enfoque económico - financiero de la propuesta de generación distribuida fotovoltaica conectado a la red eléctrica NMT: 11290, para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer una generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico de la red eléctrica NMT: 11290, considerando las principales deficiencias de calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.
- Diseñar una propuesta técnica que incluya la capacidad de generación necesaria, el dimensionamiento de paneles solares, la ubicación y los dispositivos de conversión de energía para implementar una instalación de generación distribuida fotovoltaica en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.
- Realizar el enfoque económico - financiero de la propuesta de generación distribuida fotovoltaica conectado a la red eléctrica NMT: 11290, para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Técnica

La integración del sistema de generación distribuida fotovoltaica en la red eléctrica proporciona varios beneficios técnicos. Al aprovechar la energía solar, una fuente de energía limpia y renovable, se reducirá la dependencia de fuentes de energía convencionales y no renovables. Dado que la región de Apurímac cuenta con una exposición solar significativa, la generación distribuida fotovoltaica tiene un gran potencial para generar electricidad de manera constante. Además, al estar integrada en la red eléctrica, esta solución puede contribuir a reducir las interrupciones y mejorar la calidad de energía eléctrico en la red.

1.6.2. Justificación Económica

La generación distribuida fotovoltaica ofrece ventajas económicas sustanciales, los costos de producción de energía solar han disminuido en los últimos años, haciendo que esta alternativa sea más asequible en comparación con otras opciones de generación eléctrica, como centrales hidroeléctricas o generadores eólicos. La inversión inicial en la infraestructura fotovoltaica puede resultar en ahorros a largo plazo debido a la reducción de los gastos operativos. Además, el mantenimiento de los paneles solares es relativamente

sencillo en comparación con otras formas de generación. También promoverá el desarrollo económico local al atraer inversiones y propiciar el crecimiento de pequeñas empresas, generando empleos en áreas como manufactura, turismo y servicios comunes. Además, al aprovechar la energía solar, esta iniciativa reducirá los costos de electricidad para los residentes, aliviando la carga financiera en los hogares, permitiendo que las familias destinen recursos a otras necesidades básicas que requieran.

1.6.3. Justificación Social

La implementación de generación distribuida fotovoltaica tiene implicaciones sociales positivas. La mejora en la calidad del servicio eléctrico beneficia directamente a los clientes de la comunidad de Challhuahuacho, al reducir las interrupciones y proporcionar un suministro eléctrico más confiable. Esto puede tener un impacto positivo en la vida cotidiana de las personas, mejorando la comodidad y la productividad. Además, al utilizar una fuente de energía renovable y limpia, se contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente, lo que a su vez puede aumentar la conciencia y la satisfacción de la comunidad en general.

1.7. Alcances y Limitaciones

1.7.1. Alcances

La presente investigación comprende plantear una propuesta de solución con la implementación de la generación de distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, cumpliendo con los lineamientos contemplados por la NTCSE y NTCSE.

1.7.2. Limitaciones

El análisis técnico y operativo para incorporar generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 en la comunidad de Challhuahuacho, 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 red eléctrica NMT:11290 en la comunidad de Challhuahuacho, por lo que será un estudio no esencial en este momento, sino a futuro.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

La incorporación de la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 mejorará la calidad del servicio eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022.

1.9. Variables e Indicadores

1.9.1. Variables e indicadores independientes

Tabla 1. 6

Variable e indicadores independientes.

Variable independiente (causa)	Dimensiones	Indicadores
Generación Distribuida Fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación de paneles solares• Capacidad de generación• Costos	<ul style="list-style-type: none">• Ubicación geográfica• Orientación de los paneles• KWp• Inversión inicial (Dólares)

Nota: Elaboración propia.

1.9.2. Variables e indicadores dependientes

Tabla 1. 7

Variable e indicadores dependientes.

Variable dependiente (efecto)	Dimensiones	Indicadores
Calidad de Servicio Eléctrico	<ul style="list-style-type: none">• SAIDI• SAIFI	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo promedio de duración de interrupciones en minutos• Numero de interrupciones del suministro eléctrico por año

Nota: Elaboración propia.

1.10. Metodología

1.10.1. Tipo de investigación

La metodología de este trabajo de tesis es de tipo aplicada, ya que tiene como objetivo desarrollar una propuesta de generación distribuida fotovoltaica para abordar los problemas identificados y mejorar la calidad de servicios eléctricos en la comunidad de Challhuahuacho.

La investigación aplicada pretende resolver problemas o desarrollar ideas a corto o medio plazo para lograr innovaciones, mejorar procesos o productos, aumentar la calidad y la productividad, etc. (Cegarra, 2004)

1.10.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de carácter no experimental - transversal, porque se centra en la observación y descripción de situaciones en su contexto natural, sin manipular variables o realizar intervenciones experimentales.

El diseño no experimental – transversal, es aquella en donde no hay manipulación de variables por parte del investigador y se evalúan las situaciones tal como ocurren en un solo momento y una sola vez, además es importante señalar que toda investigación está orientada a objetivos, por lo que el investigador también debe tomarse su tiempo y recopilar datos mediante la observación y la investigación. (Arias, 2021)

1.10.3. Nivel de Investigación

El nivel del estudio es descriptivo, ya que pretende medir variables en base a métodos confiables y análisis de datos, en este caso analizando el diseño de un sistema fotovoltaico para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Chalhuahuacho.

Con este tipo de investigación, que utiliza el método de análisis, se consigue describir un objeto de estudio o una situación específica, indicar sus características y propiedades. (Behar, 2008).

1.10.4. Lugar de estudio

Esta investigación se desarrollará en el espacio geográfico de la comunidad de Challhuahuacho, distrito de Challhuahuacho, Provincia Cotabambas y Departamento de Apurímac. Por lo tanto, se desarrollará la recolección de datos de la concesionara en vista a que ellos tienen los reportes de los datos actualizados de las interrupciones de energía eléctrica, entre otros sucesos, en periodo y tiempo que se tienen de la red NMT: 11290 la cual alimenta a la comunidad de Challhuahuacho.

1.10.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Técnicas

- Observación de sucesos
- Recolección de datos
- Análisis de datos
- Ficha bibliográfica

Instrumentos

- Ficha de observación
- Mapa solar
- Software PVSYST
- Estudio
- Microsoft Excel
- Software DigSILENT

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

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

2.2. Antecedentes

2.2.1. Antecedentes internacionales

Se tuvo en cuenta la información básica relacionada con las variables de este estudio. Para la justificación del estudio del presente trabajo debían utilizarse los siguientes elementos de la bibliografía: artículos científicos indexados en revistas con un factor de impacto elevado, tesis de pre grado y postgrado.

(Aristizabal C. & Gonzales, 2021), afirma en su investigación titulada: “Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo”, (artículo científico indexada en la revista Semestre Económico – Colombia), el objetivo de la investigación es, la implementación de la energía solar fotovoltaica, con la red interconectada en el ITM, campus Robledo. Su metodología tuvo un método cuantitativo, diseño no experimental. Para efectos del estudio se consideró la disponibilidad de energía solar promedio a largo plazo por región en Colombia, la irradiancia promedio global, la energía solar anual disponible en Medellín y el consumo eléctrico del campus ITM Robledo.

Las conclusiones del presente artículo mediante un análisis técnico, ambiental y económico fueron:

- Este estudio demuestra que es más rentable y sostenible ejecutar proyectos que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer la calidad y el funcionamiento normal de la institución.
- Si el sistema fotovoltaico se hubiera instalado en 2015, a 80 kWh/mes, el sistema fotovoltaico habría evitado el 75,79 % de las emisiones de gases de efecto

invernadero. Con 100 kWh/mes, se habría logrado una reducción del 95,41% y con 120 kWh/mes, una reducción del 95,58%.

- Como resultado en términos económicos de sostenibilidad, el escenario de 100 kWh con una TIR de 221.27% sería el más indicado.

(Martinez, 2019), refiere en su investigación titulada: “Diseño y construcción de un prototipo de detección de fallas serie para disminuir el tiempo de interrupciones en el sistema eléctrico de distribución”. (tesis de investigación – Escuela Politécnica Nacional - Ecuador), el objetivo de la investigación es, el diseño y la construcción de un prototipo de sensor de presión que incorpora hardware y software para la apertura en serie de imprecisiones con el fin de acortar el tiempo necesario para la terminación de los sistemas de distribución eléctrica. Su metodología experimental con el diseño y desarrollo de un prototipo de sensor para la detección de faltas en serie o de ausencia de tensión en alimentadores de distribución simplificados para el análisis de faltas en serie. Las conclusiones según el autor:

- Al reducir el tiempo de interrupción El ENS disminuye, lo que se traduce en menores pérdidas para la empresa distribuidora y cambios favorables en los índices de fiabilidad TTIK y FMIK.
- La supervisión del nivel de tensión permite observar los perfiles de voltaje de alimentación, los déficits de tensión, las sobretensiones y las alarmas de desconexión continua desde el centro de control.
- El beneficio para los clientes es una reducción del tiempo de interrupción del servicio, ya que la empresa distribuidora responderá a una avería lo antes posible, puesto que el personal de servicio sólo buscará averías en secciones del cable de alimentación.

(Barreto & Guananga, 2022), precisaron en su investigación titulada: “Análisis de calidad de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos”. (tesis de investigación – Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador), el objetivo del estudio es determinar el impacto en la calidad de la energía al incorporar sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Cuenca, teniendo en cuenta las normas y regulaciones vigentes. La metodología de la investigación es cuantitativa y sistemática. Concluyeron que:

- Entre las causas de la mala calidad de la energía están las perturbaciones de la línea eléctrica, las fluctuaciones de tensión, las interrupciones del servicio y las distorsiones armónicas.
- Los parámetros más relevantes para analizar la calidad de la energía en los sistemas fotovoltaicos son el desequilibrio de tensión y corriente, el nivel de tensión y corriente, el flicker, la distorsión armónica y la frecuencia.
- Existen incumplimientos en la mayoría de los parámetros estudiados, lo que supone una baja eficiencia en los equipos eléctricos conectados en la vivienda, reduciendo la calidad de la energía, y el estudio reveló el incumplimiento de los límites establecidos.

2.2.2. Antecedentes nacionales

(Sanchez, 2019), precisó en su investigación titulada: “Propuesta de mejora del abastecimiento de energía con paneles solares para reducir la insatisfacción de clientes en Zarumilla – Tumbes” (tesis de investigación – Universidad San Ignacio de Loyola), plantea como objetivo evaluar la alternativa de energía solar por medio de paneles solares para reemplazar el sistema eléctrico y así poder reducir el nivel de insatisfacción. Su metodología tiene enfoque cuantitativo, descriptivo no experimental. Considerando como población, encuestar a habitantes mayores de 18 años con un tamaño de muestra de 68 personas. El método utilizado fue mediante encuestas cerradas a pobladores de Zarumilla. Las conclusiones fueron:

- Del total de encuestados el 54.41% se encuentra descontento con el servicio de energía eléctrica que reciben y el 45.59 % se encuentran satisfecho con el servicio, en conclusión, se demuestra que más de la mitad de la población encuestada no se encuentra satisfecho con el servicio de energía eléctrica.
- Se requiere un sistema de energía solar que permita aprovechar los niveles de radiación solar, promedio 6 kWh/m² y las 12 horas promedio de duración y que garantice el servicio de calidad a los clientes para cubrir la demanda de la provincia Zarumilla.
- La tarifa que ofrece la central termoeléctrica, debido a las constantes fluctuaciones en el precio de los combustibles, la falta de infraestructura de la central, dichos

factores no permiten que el sistema sea sostenible tanto en el aspecto económico y ambiental.

(Santiesteban, LLamo, Olivos, & Maza, 2020) sostiene en su tesis titulada: “Diseño de sistema fotovoltaico para alimentar con energía eléctrica renovable al hotel Tartar – Cajamarca” (tesis de investigación – Universidad Cesar Vallejo). Plantea como objetivo, diseñar sistema fotovoltaico para alimentar con energía eléctrica renovable al Hotel Tartar – Cajamarca. Su metodología el tipo de diseño será no experimental porque no se manipularán las variables, mediante informe se aplicará a todas las muestras que tienen conocimiento que adquieren para poder dar soluciones de manera práctica, recolección de datos, con fichas de análisis de documentos, método de análisis de datos. Se concluye que:

- Con los requerimientos teóricos haciendo referencia de lo que consume de manera real y se dispuso para poder calcular lo que incide el sol, como factores en pérdidas globales de 0,0686 esto nos indica lo que realmente necesita la dimensión de la potencia total, para el diseño del sistema fotovoltaico.
- Económicamente tiene viabilidad porque lo proyectamos a un tiempo de vida de todo el sistema fotovoltaico de 25 años promediados, excluyendo los acumuladores que se reemplazan cada 7 años, obteniendo un TIR 27% y un VAN de S/. 1 82,11 5.07, con estos datos logramos determinar que tiene viabilidad y rentabilidad nuestra investigación para el uso de energía eléctrica esto nos ayudara en otros proyectos de investigación con los datos de uso del sistema fotovoltaico.

(Chiroque, Ricaldi, & Romero, 2022) precisan en su tesis titulada: “Diseño de un sistema de energía limpia mediante paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en una vivienda rural de Cusco, Perú, 2022” (Tesis de investigación – Universidad Nacional de Callao). Plantea como objetivo diseñar un sistema de energía limpia mediante paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en una vivienda rural de cusco, Perú, 2022. Su metodología es de tipo investigación aplicada con diseño no experimental – transversal, ya que no existe manipulación de las variables por parte del investigador, es de nivel descriptivo – correlacional porque se buscó medir las variables a base de técnicas confiables y estadísticos, el método es hipotético deductivo porque se buscó aceptar o rechazar las hipótesis del investigador. Los investigadores concluyeron que:

- Hay un aumento de la generación de energía eléctrica a partir de la implementación del sistema, encontrando un aumento en su media de 8.442, donde en el pre test el nivel bajo presentó un valor de 65% mientras que el nivel medio en un 35%, luego, en el post test se evidenció un valor de 0% para el nivel bajo, un 52% para el nivel medio y 48% para el nivel alto, observándose un cambio a partir de la implementación del sistema de paneles fotovoltaico.

(Lipa & Zevallos, 2023) precisan en su tesis titulada: “Propuesta de Norma Reglamentaria para la Generación Distribuida para autoconsumo en el Perú, 2023” (Tesis de investigación – Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Como objetivo proponer una norma reglamentaria para realizar la Generación Distribuida para Autoconsumo en el Perú. Su metodología es de tipo de investigación aplicada con diseño de la teoría fundamentada y de tipo sistemático, es de nivel descriptivo propositivo ya que primero se describen y analizan las teorías para un caso concreto de investigación. Los investigadores concluyeron que:

- En este trabajo de investigación han podido proponer un documento normativo que contiene todos los aspectos regulatorios necesarios para la implementación de la generación distribuida para autoconsumo en Perú y que es suficiente, según los expertos consultados y los grupos de interés.
- En el caso de Perú, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) elaboró una propuesta de reglamento para la Generación Distribuida para Autoconsumo, pero lamentablemente no fue aprobada después de su consulta pública. Esta situación ha dejado un vacío normativo en el país, lo que dificulta el desarrollo y la implementación de la GDA, la comparativa entre la normativa peruana y la de otros países revela una clara necesidad de contar con una normativa reglamentaria específica para la Generación Distribuida para Autoconsumo en Perú.
- Tras el análisis de la normativa en países como España, México y Chile, se ha identificado que los aspectos regulatorios esenciales para llevar a cabo la Generación Distribuida para Autoconsumo en el Perú son los siguientes: regulaciones relacionadas con la conexión, operación y régimen comercial.
- Con los aspectos regulatorios determinados se ha elaborado la propuesta de norma reglamentaria para realizar la Generación Distribuida para Autoconsumo en el Perú, siguiendo los principios básicos para la formulación de propuestas

normativas, mencionadas en la Guía de Técnica legislativa para elaboración de Proyectos Normativos de las Entidades del Poder Ejecutivo.

2.3. Conceptos generales

2.3.1. Recursos Energéticos Renovables

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables, las energías renovables se definen como cualquier tipo de energía generada de fuentes sostenibles y renovables.

Las propiedades técnicas y financieras relacionadas con la producción de energía a partir de fuentes de energía renovable (RER) han avanzado con el tiempo y en muchas situaciones son ahora más competitivas en comparación con las tecnologías convencionales. Además, las RER tienen la ventaja de contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la mitigación de los impactos del cambio climático. (Osinergmin, 2017)

Perú dispone de considerables recursos energéticos, tanto convencionales (como hidrocarburos líquidos, gas natural y energía hidroeléctrica) como no convencionales (solar, eólica, geotérmica y biomasa), que ofrecen oportunidades significativas para respaldar el desarrollo económico de manera sostenible. Transformar estos recursos en energía para satisfacer las necesidades de la población representa un desafío importante. Este desafío no solo se debe a las condiciones ambientales (como la existencia de regiones remotas, la distancia entre los recursos y las áreas pobladas y la tendencia a concentrar la producción de energía en la región central), sino también a los compromisos a largo plazo a nivel social y político, una política de Estado y la reorganización institucional necesaria para llevar a cabo una planificación estratégica en este ámbito.

Perú se destaca en América Latina por su matriz energética altamente respetuosa del medio ambiente, con cerca del 50% de su energía proviniendo de fuentes hidroeléctricas y un 5% adicional de fuentes renovables no convencionales, como la solar y la eólica. La razón principal detrás de esta matriz energética limpia es la abundante generación hidroeléctrica que se beneficia de la geografía del país. (Andina, 2019)

En los últimos años, la implementación de tecnologías basadas en recursos energéticos renovables (RER) ha conducido a una disminución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático y fortaleciendo la seguridad energética del país. La implementación de un marco normativo que favorece la incorporación de estas tecnologías ha facilitado el inicio de operaciones de centrales eólicas y solares. (Osinergmin, 2017)

2.3.1.1. Tipos de RER

En cuanto a las energías renovables, es notable que la mayoría de ellas tienen su origen o están de alguna manera vinculadas con la energía solar. Esto se debe a que la radiación solar desencadena la circulación del aire que impulsa las corrientes o también juega un papel fundamental en el proceso de fotosíntesis de las plantas, que a su vez es la base de la biomasa.

Tabla 2. 1

Tipos de RER no convencionales y tecnologías de generación eléctrica

Tipos de RER no convencionales		Tecnologías de generación eléctrica
Energía solar		Solar fotovoltaica
		Solar térmica
Energía eólica		Onshore
		Offshore
Energía de la biomasa		Procesos bioquímicos
		Procesos termoquímicos
Energía minihidráulica		Centrales de agua fluyente
		Centrales a pie de presa
		Centrales en canal de riego o de abastecimiento
Energía marítima	Energía mareomotriz	Presa de marea
		Generador de corriente de marea
		Energía mareomotriz dinámica
	Energía undimotriz	Columna de agua oscilante
		Convertidor de movimiento oscilante
		Sistemas de rebosamiento
	Energía maremotérmica	Sistemas de ciclo abierto
		Sistemas de ciclo cerrado
		Sistemas híbridos
Energía geotérmica		Plantas de vapor seco
		Plantas <i>flash</i>
		Plantas de ciclo binario

Nota: Elaboración GPAE - Osinergmin

2.3.1.2. Energía Solar

Se trata de una forma de energía sostenible que se obtiene a partir de la captación de la radiación electromagnética que emana del sol. Esta radiación puede desencadenar reacciones químicas o producir electricidad.

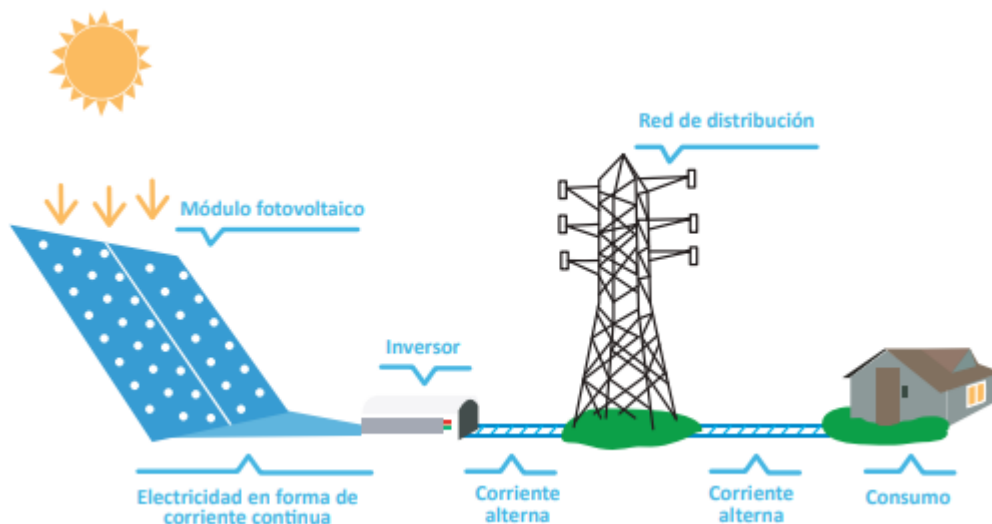
Los sistemas de aprovechamiento de energía solar se clasifican en dos categorías: pasivos y activos. Los sistemas pasivos no requieren dispositivos específicos para captar la energía solar, ya que se basan en elementos arquitectónicos bioclimáticos diseñados para aprovechar la luz solar de manera natural. En contraste, los sistemas activos emplean dispositivos especializados, como paneles fotovoltaicos o colectores solares térmicos para captar la radiación solar.

2.3.1.3. Tecnología solar fotovoltaica

Se trata de la conversión de la radiación solar en electricidad mediante el uso de materiales semiconductores, como las células fotovoltaicas, que se componen principalmente de silicio, un metaloide ampliamente disponible en el mundo. Cuando los fotones de la luz solar inciden en una de las superficies de la célula fotovoltaica, generan una corriente eléctrica que se utiliza como fuente de energía.

Figura 2.1

Formación de la energía solar Fotovoltaica



Nota: Proyecto Tecnología: Energía Fotovoltaica

Este proceso se denomina efecto fotoeléctrico. Los paneles solares fotovoltaicos son conjuntos de células fotovoltaicas que comparten características similares y se conectan entre sí en serie o en paralelo, estos paneles generan electricidad en forma de corriente continua.

Figura 2. 2

Sistema fotovoltaico de autoconsumo de 500 kWp para una industria textil en el departamento de Ica, Peru



Nota: Diario El Comercio, 2019

La energía solar fotovoltaica implica la generación directa de electricidad a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica. Los paneles solares fotovoltaicos no producen calor que se pueda reutilizar, aunque se están investigando paneles híbridos que permiten la generación simultánea de energía eléctrica y térmica. Estos paneles son adecuados para proyectos de electrificación en áreas rurales sin acceso a la red eléctrica, instalaciones sencillas en techos y sistemas de autoconsumo fotovoltaico. El autoconsumo fotovoltaico implica la generación individual y a pequeña escala de electricidad para uso propio mediante equipos de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, estructuras y un inversor, algunos de los cuales son de fácil instalación.

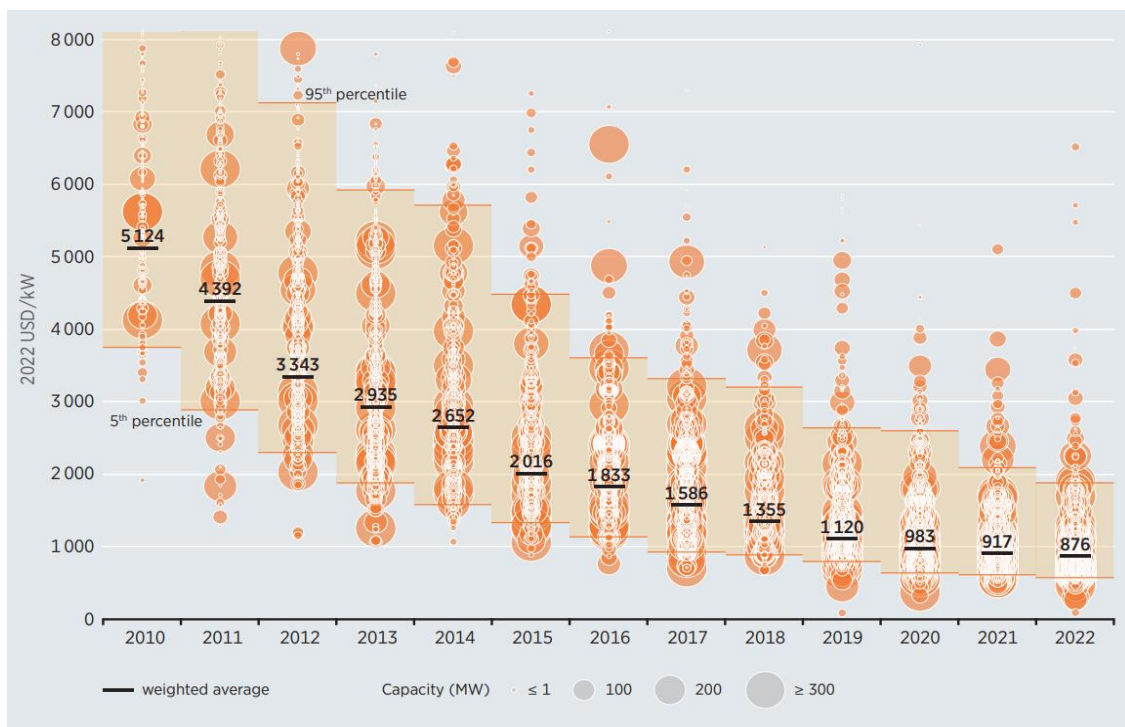
Según la Agencia Internacional de la Energía, el avance de tecnologías solares limpias, asequibles e inagotables conlleva un beneficio sustancial a largo plazo. Esto se traduce en

un aumento de la seguridad energética de las naciones al depender de una fuente local e inagotable de energía, independiente de la importación de combustibles fósiles. Además, esta transición a la energía solar promueve la sostenibilidad, reduce la contaminación, recorta los gastos relacionados con la mitigación del cambio climático y previene el alza desmesurada de los precios de los combustibles fósiles. Estos beneficios son de alcance global, lo que implica que los costos asociados con la promoción y desarrollo de las energías renovables deben ser vistos como inversiones. Es fundamental ejecutar estas inversiones de manera adecuada y difundirlas ampliamente.

Gracias a los progresos tecnológicos, la sofisticación en el desarrollo y la capacidad de producción en masa, el costo de la energía solar fotovoltaica ha disminuido de manera constante en la última década. Paralelamente, la eficiencia de sus componentes ha mejorado significativamente. En la actualidad, el costo promedio de generar electricidad mediante la energía solar fotovoltaica es competitivo en comparación con fuentes de energía no renovable en un número creciente de áreas geográficas, lo que ha llevado a la paridad de red. Esto ha generado un fuerte estímulo para su adopción y aplicación a nivel global.

Figura 2. 3

Evolución 2010-2022 de los costos de la tecnología fotovoltaica (USD/kW)



Nota: Renewable Power Generation Costs in 2022 – IRENA

2.3.1.4. Beneficios de los RER

Se pueden destacar al menos seis beneficios de la producción de energía mediante recursos energéticos renovables (RER): reduce la probabilidad de conflictos sociales, se implementa de manera rápida, promueve la diversificación de las fuentes de energía, descentraliza la distribución geográfica de la producción, disminuye la contaminación ambiental y contribuye a cerrar la brecha de acceso a la energía en áreas rurales.

2.3.2. Generación Distribuida

La integración de la generación distribuida es la más estudiada en el mundo, ya que permite utilizar fuentes de energía convencionales y no convencionales en el sistema eléctrico, reduciendo así las emisiones de CO₂ en el caso de las fuentes renovables.

El término "generación distribuida" no tiene una definición universalmente aceptada, pero finalmente todas se reducen a tres características básicas: conexión cercana a la carga, generación pequeña, mediana y grande, y capacidad de conectarse o no a la red de distribución. Puede considerarse que la integración de la GD ayuda al sistema de distribución desde dos puntos de vista: permite satisfacer el aumento de la demanda utilizando los activos existentes y puede tener un impacto positivo en las condiciones de la red si los generadores están bien ubicados y dimensionados. Para ello, la integración debe tener en cuenta las necesidades técnicas o económicas de las partes interesadas.

El concepto de generación distribuida ingresa en un contexto donde el sector energético a nivel global está atravesando una fase de cambio cuyo objetivo es respaldar el progreso constante de la sociedad a través de un suministro de electricidad que sea competitivo, seguro y confiable. Durante la última década, se han producido una serie de eventos que han tenido un impacto significativo en este sector, como la notable reducción de los costos asociados a las tecnologías de energías renovables y el descubrimiento de nuevas fuentes de gas natural, el desarrollo tecnológico y no menos relevante, la ausencia del recurso hídrico como consecuencia del calentamiento global. Esto ha permitido a un número de países descarbonizar el sector, aumentar la seguridad energética y reducir la dependencia de la importación de combustibles o de la tradicional tecnología hidroeléctrica. Además, engloba todas las fuentes de energía que se encuentran conectadas muy cerca de los puntos de

consumo, lo que implica que están conectadas a la misma red de baja o media tensión utilizada por los consumidores. (Osinergmin, 2017)

Las fuentes de generación distribuida se promueven debido a sus efectos positivos en el sistema eléctrico en general, que se resumen de la siguiente manera: (Osinergmin, 2017)

- **Reducción de pérdidas técnicas:** Esto se debe a que la generación ocurre en el mismo nivel de tensión donde se consume la energía.
- **Menos inversión en infraestructura de red:** Debido a la disminución de la demanda neta de potencia, se requieren inversiones menores en la expansión de la red eléctrica.
- **Posible mejora en los perfiles de tensión:** Esto se logra gracias a la reducción del par eléctrico en el sistema

2.3.2.1. Clasificación de la Generación Distribuida

De acuerdo con el estudio de (Gischler & Janson, 2011), se puede clasificar la capacidad de la generación distribuida y las características de la red a la que se encuentra conectada en dos grupos principales: uno de pequeña escala y otro de escala comercial.

- **Pequeña escala:** Tiene una capacidad de hasta 100 kW, está conectada a la carga del usuario y solo puede vender energía únicamente a la existencia de un exceso en la producción. Las tecnologías primarias asociadas a este tipo de generación son la energía solar fotovoltaica y la eólica. Esta modalidad abarca tanto a los sectores residenciales como a los no residenciales.
- **Escala comercial:** Son centrales relativamente pequeñas, en general por encima de 100kW y típicamente inferiores a 10 MW.

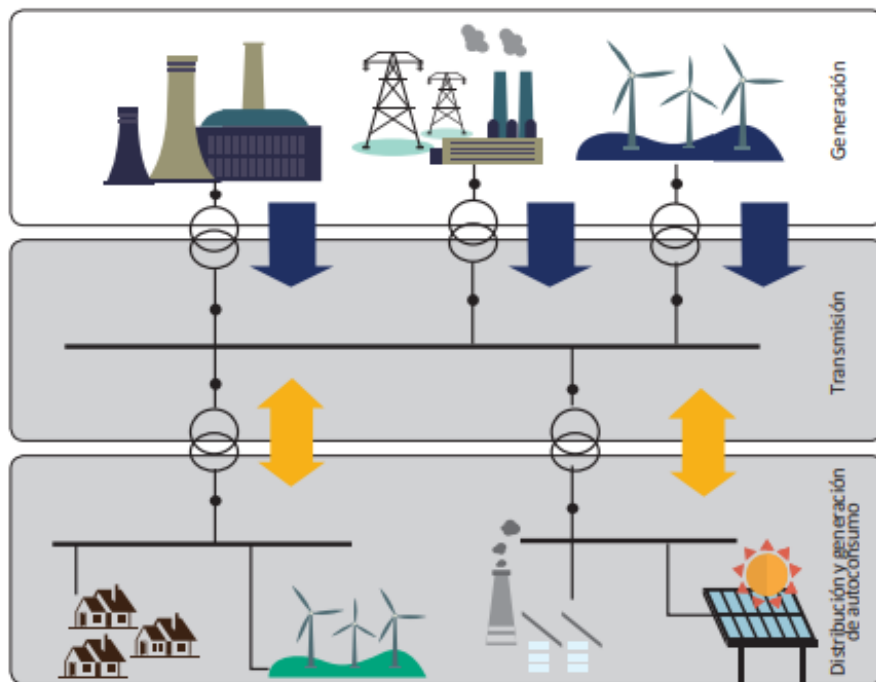
En cuanto a las tecnologías de generación distribuida más utilizadas, destacan:

Generación fotovoltaica (FV): Esta fuente de energía renovable no emite dióxido de carbono (CO₂), es modular y permite agregar módulos de pequeña capacidad para aumentar la capacidad instalada. No muestra economías de escala, lo que facilita su implementación en aplicaciones de menor escala. Los costos unitarios varían según la ubicación geográfica debido a las diferencias en los recursos solares disponibles, pero los costos de instalación son más altos en comparación con otras tecnologías (entre 2500 y 3500 US\$/KW instalado).

Microturbinas eólicas: Estas microturbinas desempeñan un papel importante como fuente de generación renovable. La energía generada depende del viento, que es difícil de controlar a largo plazo debido a su intermitencia. Esto puede dificultar la gestión de la calidad de la energía y el equilibrio entre generación y demanda en escenarios de alta penetración eólica. Aunque los costos variables de generación eólica son bajos, los costos de instalación son relativamente elevados, oscilando entre 1600 y 2100 US\$/KW instalado.

Figura 2.4

Sistema eléctrico con generación distribuida



Nota: Díaz et al. (2011). Elaboración: GPAE-Osinergmin

2.3.2.2. Ventajas y desafíos

Además de promover el uso de energías renovables, la implementación de generación distribuida también conlleva beneficios significativos para la eficiencia operativa del sistema eléctrico, ya que posibilitan la disminución del uso de las redes de transmisión. Según (Rodríguez & Solís, 2018) las principales ventajas son:

- Reducción en la congestión
- Reducción de las pérdidas generales del sistema

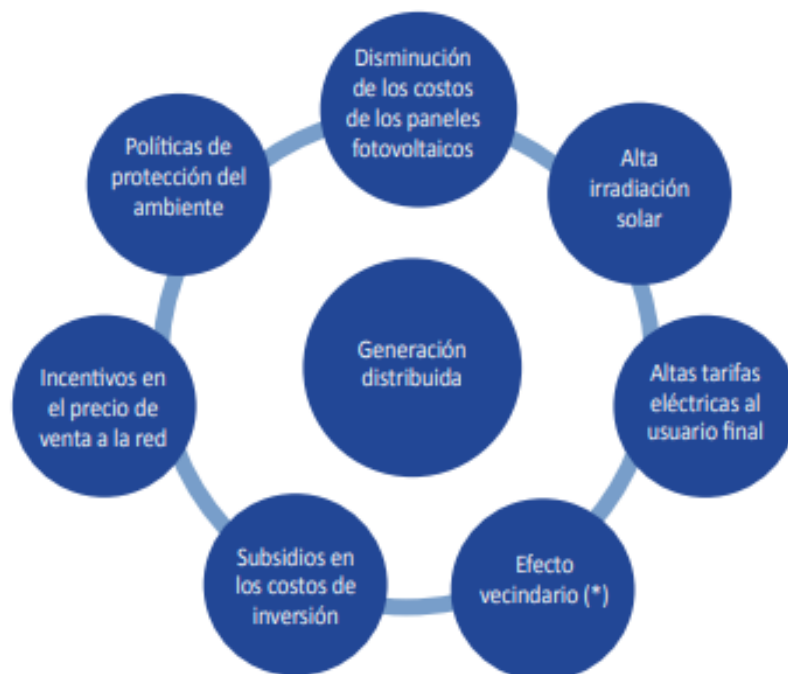
- Minimización de las pérdidas en las redes de distribución
- Mejora en la confiabilidad del suministro eléctrico
- Producción de energía limpia mediante el uso de fuentes de energía renovable

2.3.2.3. Factores que favorecen a la Generación Distribuida

Además, hay un cuerpo de investigaciones académicas que se centra en analizar los factores que contribuyen en la aceptación de la generación distribuida.

Figura 2.5

Factores que contribuyen a la adopción de generación distribuida

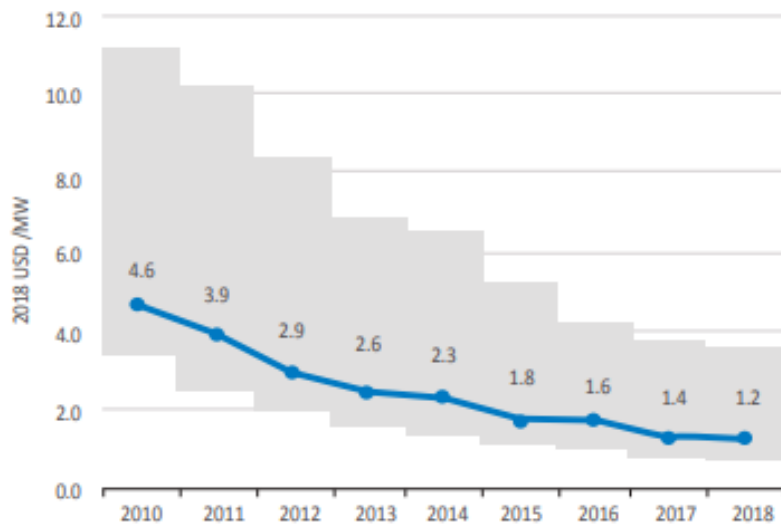


Nota: Elaboración: GPAE-Osinermin

En relación a esto, como se evidencia en el gráfico, los precios de los sistemas fotovoltaicos han ido disminuyendo en los últimos años. Se anticipa que esta tendencia persistirá en el futuro debido a factores como economías de escala y avances tecnológicos en esta área.

Figura 2.6

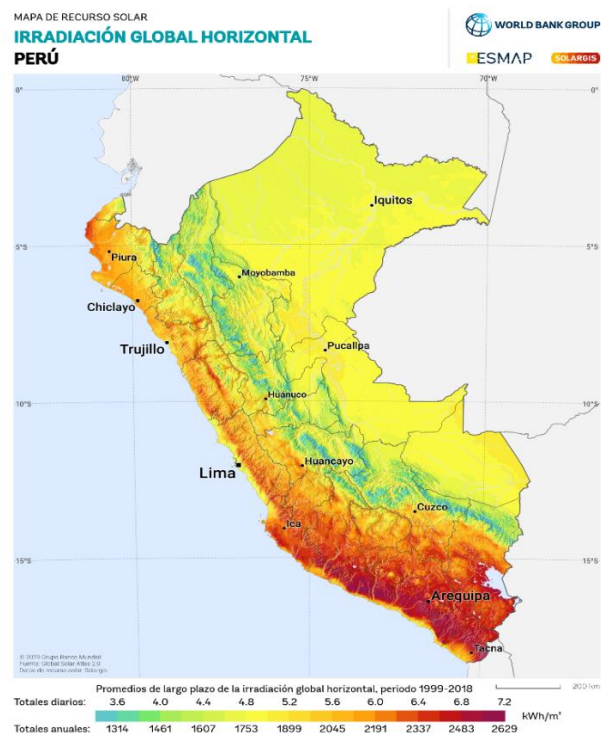
Costos instalados de energía solar fotovoltaica y rango percentiles (2010-2018)



Nota: Elaboración: GPAE-Osinermin

Figura 2.7

Mapa de la radiación solar horizontal en el Perú



Nota: Solargis, 2020

2.3.2.4. Procedimiento de la implementación de Generación Distribuida

La propuesta de implementación de la generación distribuida fotovoltaica integrada en la red en el NMT11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, se detalla el procedimiento que se consideró:

- **Realizar el Análisis de situación actual de la red eléctrica**
 - ✓ Identificar los problemas que se tienen en la red en vista a que se percibe cortes intempestivos por diferentes factores, lo cual conlleva a que se tenga una mala calidad de servicio eléctrico de la parte de la empresa concesionaria.
 - ✓ Evaluar la capacidad y la estabilidad de la red eléctrica existente para integrar la GD sin causar problemas de sobrecarga, así mejorar la calidad de servicio eléctrico en la zona.
 - ✓ Identificar los puntos de conexión apropiados a la red eléctrica para la instalación de la generación distribuida de sistema fotovoltaico.
- **Determinar la viabilidad de la propuesta de implementación de GD.**
 - ✓ Se realizó un estudio inicial para evaluar la viabilidad técnica, económica y regulatoria de la implementación de GD en la comunidad.
 - ✓ Se evaluó la disponibilidad del recurso solar en la zona y determinar la capacidad de generación fotovoltaica adecuada para las necesidades de la comunidad de Challhuahuacho.
- **Diseño y Simulación del sistema de Generación Distribuida Fotovoltaico:**
 - ✓ Diseñar el sistema de GD teniendo en cuenta los requisitos de la comunidad, la capacidad de la red y la disponibilidad de espacio para la instalación de paneles solares.
 - ✓ Seleccionar los componentes adecuados, como paneles solares, inversores, sistemas de montaje, etc., para optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema.
 - ✓ Durante la fase de diseño del sistema de GD, se podrá tomar medidas para optimizar la generación de potencia activa y reactiva de manera que se minimice la necesidad de corrección del factor de potencia.
 - ✓ Simulación de la implementación de la generación distribuida fotovoltaica, realizando pruebas con fallas y los comportamientos del sistema.

- **Financiamiento:**
 - ✓ Explorar opciones de financiamiento para el proyecto, como subvenciones gubernamentales de la municipalidad por concepto del canon minero que perciben en la zona, financiamiento privado de parte de la minería que se encuentra en la zona.
 - ✓ Evaluar el retorno de la inversión y los beneficios financieros, sociales a largo plazo para los miembros de la comunidad.
- **Educación y Participación Comunitaria en la zona:**
 - ✓ Brindar educación y capacitación a los miembros de la comunidad sobre el funcionamiento y los beneficios de la GD.
 - ✓ Fomentar la participación activa de la comunidad en la gestión y el mantenimiento de los sistemas de GD- para promover la sostenibilidad y la autonomía energética.
 - ✓ Este proceso requiere una planificación cuidadosa, coordinación entre múltiples partes interesadas y un compromiso continuo para garantizar el éxito a largo plazo de la implementación de la GD en la comunidad.

2.3.3. Sistemas Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es autárquico y, por tanto, está configurado de tal manera que puede proporcionar la totalidad de su requerimiento energético, además de contar con la capacidad de almacenar energía durante periodos de escasa disponibilidad solar. Por lo general, un sistema de esta naturaleza se compone de un panel o generador fotovoltaico, un controlador de carga, una batería y la carga misma. (Hernández, Gaona, & García, 2020).

La energía fotovoltaica se considera una de las fuentes de energía renovable más prometedoras en la actualidad, debido a su calidad, la compatibilidad con el medio ambiente, el corto tiempo de instalación y los bajos costos de mantenimiento, por lo tanto, la generación de energía fotovoltaica se ha vuelto muy importante en todo el mundo. La energía desempeña un papel fundamental en la economía mundial, y su demanda sigue en constante aumento debido al crecimiento poblacional y la expansión industrial. Esta demanda se sustenta en la amplia disponibilidad, la versatilidad y la rentabilidad de la energía, además de su carácter ecoamigable. Los sistemas fotovoltaicos pueden contribuir a mejorar los niveles de tensión, asegurar la calidad de la oferta eléctrica y, al mismo tiempo, la incorporación de estos

sistemas en la infraestructura de distribución de energía destinada a consumidores industriales puede llevar a reducciones significativas en los costos operativos y elevar la competitividad en sectores de producción. (Hajji, Yahyaoui, Mansouri, Nounou, & Nounou, 2023).

2.3.4. Radiación Solar

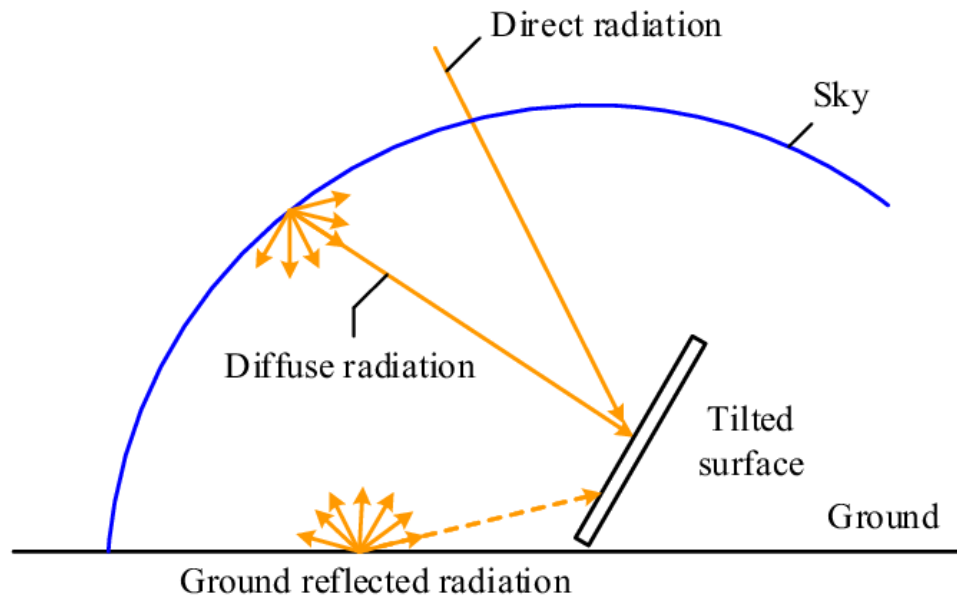
La radiación solar constituye la energía que emana del sol y se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Originada en la superficie solar, esta energía desempeña un papel crucial en la configuración de los procesos atmosféricos y climáticos. De manera directa o indirecta, influye en aspectos cotidianos, como el proceso de fotosíntesis de las plantas, el mantenimiento de temperaturas adecuadas para la vida y la generación de corrientes de viento (Iberdrola, 2023).

La radiación difusa corresponde a la energía solar que llega desde múltiples direcciones después de que los rayos solares se han reflejado, desviado o dispersado debido a factores como nubes, la calidad del aire, el terreno circundante, o incluso al pasar a través de materiales que son transparentes o translúcidos. La suma de radiación directa y radiación difusa se compone en la radiación solar total o global. (Hernandez, Escobar, & Castilla, 2001).

La radiación solar directa, en su mayor parte, sigue un recorrido recto, manteniendo una dirección constante (proveniente del Sol) con mínimas desviaciones al atravesar la atmósfera terrestre (Hernandez, Escobar, & Castilla, 2001).

Figura 2. 9

Componentes de la radiación global (directa, difusa y refleja)



Nota: https://www.researchgate.net/figure/Three-solar-radiation-components-25_fig11_317338363

La norma IEC-617241, sugiere monitorear los factores que más afectan la producción de electricidad en sistemas fotovoltaicos como la irradiancia, la temperatura ambiente, la velocidad del viento, la temperatura del módulo, así como la tensión, la intensidad y la potencia eléctrica, lo cual, determina la variación de producción eléctrica del sistema.

Así mismo se especifica que dichos valores deben ser pasados por una validación de datos que certifiquen la confiabilidad de los mismos. Con las mediciones establecidas, la IEC propone el cálculo de irradiación global. La irradiación media diaria (en kWh/m²/día) se obtiene de la sumatoria integral de la irradiancia registrada por el periodo de tiempo medido.

Las bases de datos existentes (Meteonorm, PV GIS, Solargis, Solcast, NSRDB) cuentan con el acceso a las mediciones de estaciones meteorológicas que son gestionadas y operadas por la reconocida Organización Meteorológica Mundial (WMO). Sobre esta base, se emplean modelos avanzados de interpolación que han sido desarrollados a lo largo de más de dos décadas de experiencias, proporcionan resultados con alta precisión en todo el mundo.

Asimismo, hay otros dos conceptos importantes para entender el comportamiento y aprovechamiento del recurso solar:

Angulo de inclinación: Para aumentar la eficiencia de una instalación fotovoltaica, es esencial tener en cuenta el ángulo de inclinación de los paneles solares. El ángulo de inclinación ideal está directamente relacionado con la latitud del lugar donde se realiza la instalación, y generalmente se iguala al ángulo de la latitud para fijar la orientación de los paneles en una estructura estática.

Orientación de módulos fotovoltaicos: Para optimizar el rendimiento de una instalación de energía solar fotovoltaica, resulta fundamental considerar la inclinación de los paneles solares. El ángulo de inclinación óptimo guarda una estrecha relación con la latitud del lugar donde se realiza la instalación, y en la mayoría de los casos, se ajusta al ángulo correspondiente a esa latitud para fijar la orientación de los paneles en una estructura inmóvil.

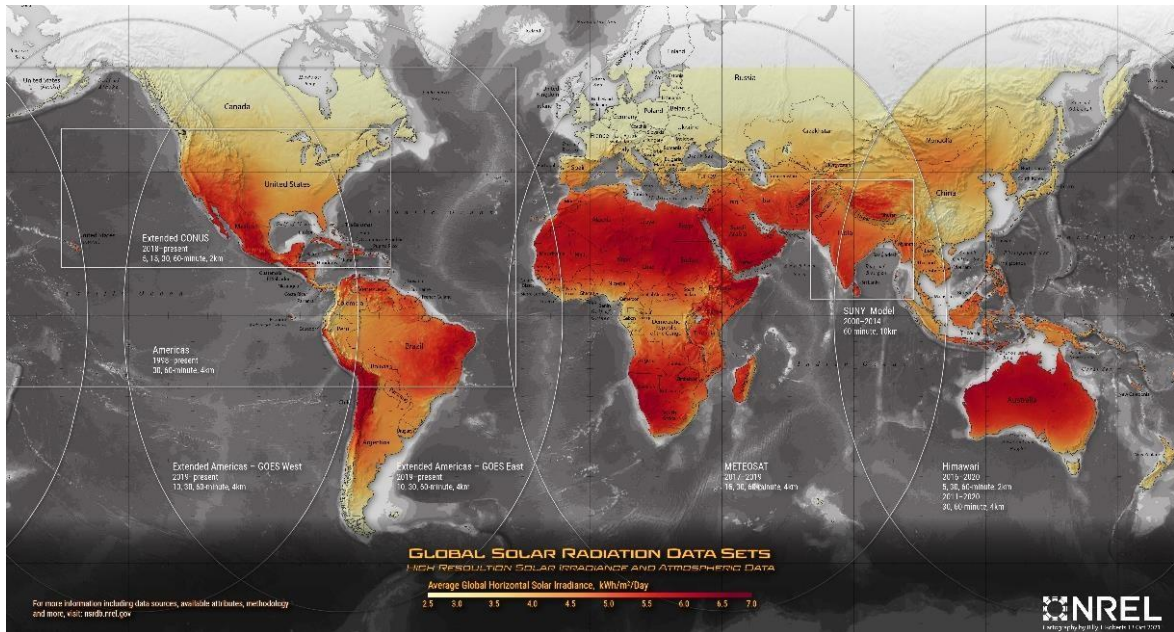
2.3.5. Base de Datos NSRDB

La Base de Datos Nacional de Radiación Solar (NSRDB) del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) constituye una compilación exhaustiva de datos meteorológicos, incluyendo valores horarios y semestrales, así como las tres mediciones más comunes de radiación solar, que abarcan irradiancia horizontal global, irradiancia directa normal y radiación difusa horizontal.

Esta base de datos cubre extensamente los Estados Unidos y se ha expandido para incluir un conjunto cada vez mayor de ubicaciones en todo el mundo. Los datos recopilados provienen de diversas ubicaciones y abarcan una amplia variedad de escalas temporales y geográficas, lo que permite una representación precisa de los climas regionales en términos de radiación solar. Para una ubicación específica incluida en este conjunto de datos, es posible acceder a información detallada sobre la cantidad de energía solar disponible en momentos determinados y prever la disponibilidad futura de energía solar potencial en función de condiciones pasadas.

Figura 2. 10

Mapa solar de la radiación mundial



Nota: NREL 2023

La base de datos de NSRDB cuenta con el acceso a las mediciones de más de 8 000 estaciones meteorológicas que son gestionadas y operadas por la reconocida Organización Meteorológica Mundial (WMO), la cual contemplan el estándar IEC 61724 como parte de sus procesos de medición y la norma ISO 9060 Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation, para certificar la calidad y alto nivel de precisión de sus sensores. Sobre esta base, sofisticados modelos de interpolación, basados en más de 30 años de experiencia, para ofrecer resultados altamente precisos a escala global.

NSRDB cuenta con los datos registrados por una estación meteorológica en la localidad de Challhuahuacho.

2.3.6. Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos forman parte del bloque de generación, pueden ser distribuidos e instalados en cualquier superficie expuesta al sol, lo que les hace excelentes para la incorporación en el medio ambiente, asimismo la fuente de energía de la radiación solar será

aprovechada mediante los paneles fotovoltaicos y banco de baterías que les permitirá que el dispositivo funcione de manera continua ante un corte de servicio eléctrico. El dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos implica el cálculo de la energía total requerida a generar considerando la estimación de pérdidas y con base de la radiación solar del lugar, de esta forma determinar la cantidad de paneles necesarias y el tipo de conexión ya sea en serie o en paralelo. (Salamanca, 2017)

Las células solares forman la sección del sistema donde la radiación solar se transforma en electricidad. Este proceso se produce al generar una diferencia de potencial, y al colocar componentes metálicos en ambos lados, es posible extraer la energía generada. Esta electricidad se emplea posteriormente para alimentar dispositivos o cargas.

El efecto fotovoltaico se manifiesta al conectar la célula a una carga, lo que origina una variación en el potencial eléctrico y provoca el flujo de una corriente a través de la célula. Cuando se agrupan varias de estas células solares, se forma el módulo fotovoltaico, que es el componente central del sistema de energía solar conectado a la red eléctrica.

La evolución de los módulos fotovoltaicos en los últimos años ha sido exponencial en costos y creciente en eficiencia de tecnología. Una década atrás las únicas opciones en el desarrollo de proyectos eran de 2 tipos: Monocristalinos y policristalinos, actualmente la alternativa se ha diversificado:

- a) Mono PERC: Con una capa reflectante adicional que permite el mayor aprovechamiento de fotones de luz, por ende, mayor eficiencia y reducción de los los costes por watt del módulo.
- b) Half Cell: Mitigan considerablemente las pérdidas ocasionadas por los sombreados parciales en los módulos y también por la de efecto joule en los conductores internos de las celdas.
- c) HJT: Eficiencias altas debido a que mezclan dos capas de silicio en la superficie del módulo captando más espectro de luz visible (monocristalino y amorfo)
- d) Bifaciales: Generan energía por las dos caras del módulo. Permitiendo mayor aprovechamiento en la misma superficie empleada de un solo módulo. Sus costos son relativamente elevados.

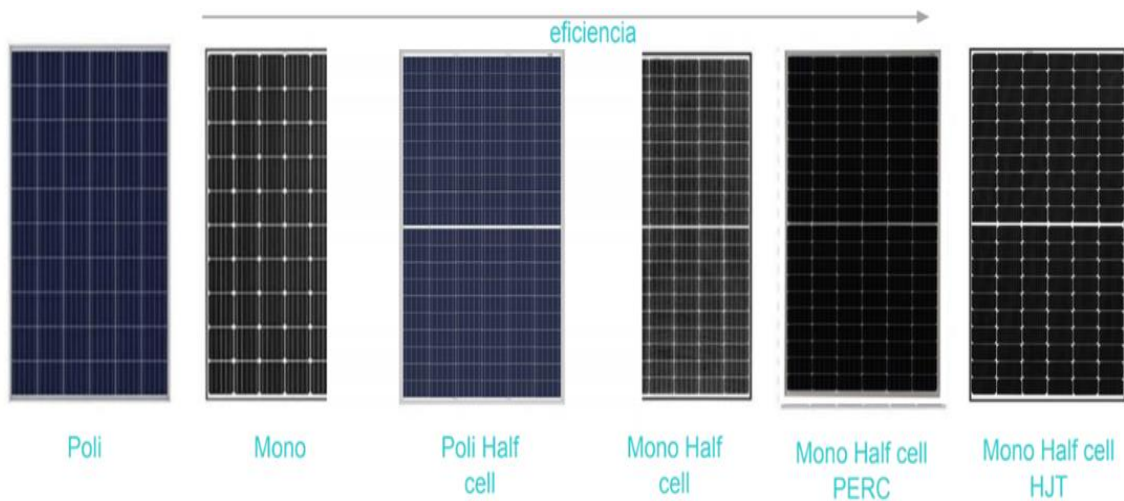
Dichas tecnologías cuentan con eficiencias que van entre el 20-23% de aprovechamiento de irradiación, llegando a emplearse comercialmente en tamaños desde 480 a 520W. Incluso en

el 2020, fabricantes principales de módulos fotovoltaicos anunciaron los primeros modelos de 700W, sin embargo, la industria tardará algún tiempo antes de que se adapte totalmente a esta nueva capacidad.

Las demás tecnologías mencionadas anteriormente presentan ventajas dependiendo de las condiciones particulares del proyecto. Cada uno tendrá que ser analizado con las características de emplazamiento para obtener el más conveniente en el estudio.

Figura 2. 11

Clasificación actual de los módulos fotovoltaicos



Nota: Elaboración Propia

Los módulos fotovoltaicos poseen algunos parámetros principales de operación, como la potencia (expresada en Wp) medidos a condiciones estándar (STC), estas condiciones exigen una radiación de 1000 W/m² y una temperatura de celda de 25°C, masa de aire: 1.5 atmósferas, valores que son bastante difíciles de conseguir en condiciones reales de operación. Los principales parámetros eléctricos de los módulos son los siguientes:

Corriente de cortocircuito (Isc): La corriente obtenida de cortocircuitar las fases positiva y negativa del módulo expuesto a radiación.

Voltaje de circuito abierto (Voc): El voltaje obtenido de medir la tensión sin carga en las fases del módulo.

Corriente y voltaje de máxima potencia (Imp, Vmp): Valores de corriente y voltaje del módulo en su mayor producción de potencia posible para una irradiancia dada. El algoritmo

propio de los inversores fotovoltaicos hace que los módulos siempre trabajen en estas condiciones de máxima potencia.

Eficiencia (%): Es la ratio de conversión de energía solar a energía eléctrica. Actualmente los módulos comerciales de mayor eficiencia llegan al 22%.

Cuando existen variaciones de irradiancia, el principal parámetro afectado en el módulo es la corriente de forma proporcional, del mismo modo al haber variaciones de temperatura en la superficie del módulo, el voltaje también es afectado. La exactitud de la variación de los parámetros viene dada por los coeficientes de variación indicados en las especificaciones de fábrica de los módulos y que son propias de cada tecnología.

2.3.6.1. Conexión serie – paralelo de paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos pueden conectarse de dos maneras fundamentales: a través de configuraciones en serie o en paralelo. Estos términos se refieren a la manera en que se establece la conexión eléctrica entre los paneles para construir un sistema solar más extenso. A continuación, se proporciona una explicación detallada de ambos conceptos:

a) Conexión en Serie:

- La conexión en serie implica unir los paneles fotovoltaicos en secuencia, de manera que la corriente fluye a través de cada panel antes de pasar al siguiente.
- La tensión total del sistema es la suma de las tensiones individuales de cada panel.
- La corriente a través de cada panel es la misma en una conexión en serie.
- Este tipo de conexión se emplea para aumentar la tensión total del sistema, beneficiosa en situaciones que requieren un alto voltaje, como en sistemas de alta tensión.

b) Conexión en Paralelo:

- En una conexión en paralelo, los paneles se conectan de manera que la corriente fluye simultáneamente a través de cada panel.
- La tensión total del sistema es la misma que la tensión de cada panel individual.
- La corriente total es la suma de las corrientes individuales de cada panel.

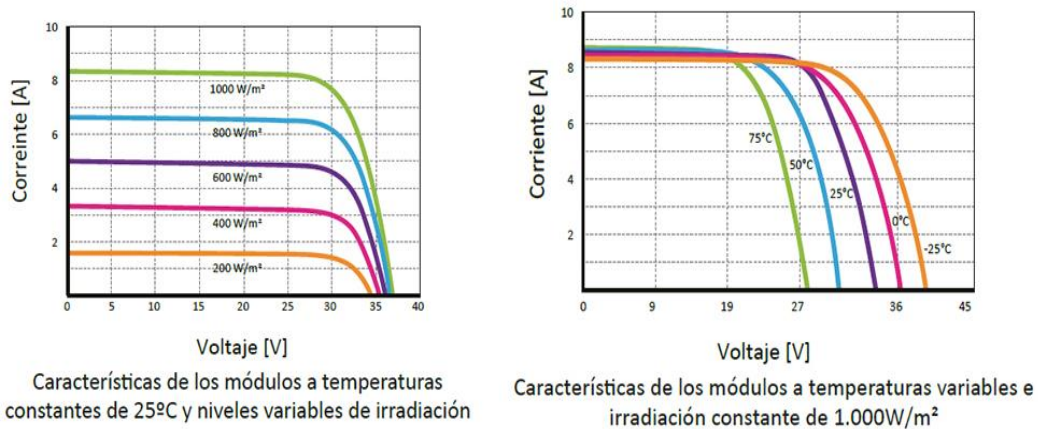
- La conexión en paralelo se utiliza para aumentar la corriente total del sistema, útil en situaciones que requieren una corriente elevada, como en sistemas de baja tensión o para cargar baterías.

c) Combinación Serie-Paralelo:

- En algunos sistemas, se pueden utilizar combinaciones de conexión en serie y en paralelo para lograr los niveles específicos de tensión y corriente.

Figura 2. 12

Variación de los parámetros de operación de los módulos debido a la variación de irradiancia y temperatura en las celdas



Nota: Auto solar España

El dimensionamiento implica calcular la energía total necesaria a generar.

$$POT_{FV} = \frac{E_{alm-real}}{HSP \times PR}$$

Donde:

POT_{FV} : Potencia fotovoltaica del generador (kWp)

$E_{alm-real}$: Energía a suplir para cubrir el almacenamiento (kWh)

PR : Eficiencia global del sistema fotovoltaico (%)

HSP : Horas sol pico críticas para la ubicación geográfica a trabajar (h)

Cantidad total de módulos

$$N_{TP} = \frac{POT_{FV}}{POT_{PANEL}}$$

Donde:

N_{TP} : Número total de módulos del bloque generador

POT_{FV} : Potencia fotovoltaica del generador (kWp)

POT_{panel} : Potencia del módulo (kWp)

Cantidad total de módulos en serie

$$N_{TPS} = \frac{V_{INV}}{V_{PANEL}}$$

Donde:

N_{TPS} : Número de módulos en serie por string

V_{PANEL} : Tensión nominal del módulo a condiciones ambientales determinadas (V)

V_{INV} : Tensión máxima de ingreso admitida por el inversor (V)

Cantidad total de módulos en paralelo

$$N_{pp-max} = \frac{P_{Inv}}{(N_{PS} * P_P)}$$

Donde:

N_{pp-max} : Número máximo de paneles en paralelo

P_{Inv} : Potencia de inversor (kW)

N_{PS} : Numero de paneles en serie por cadena

P_P : Potencia pico de un panel fotovoltaico (kW)

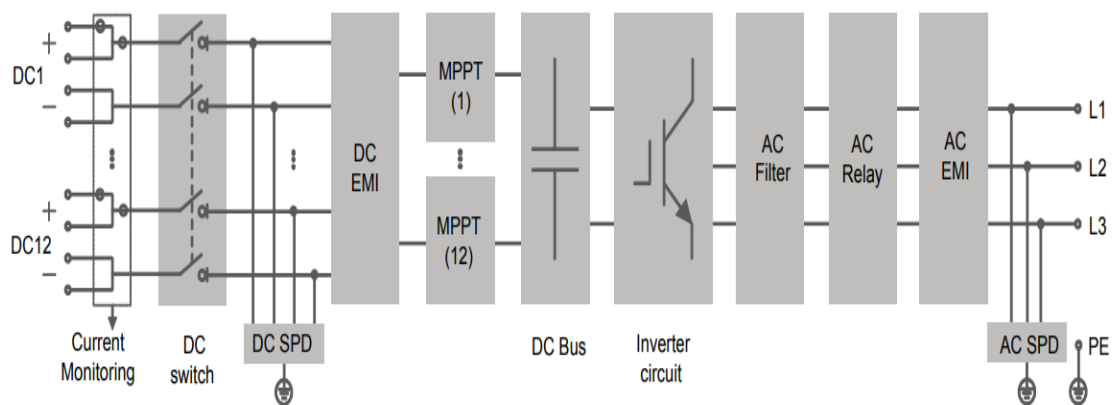
2.3.7. Inversor de red

Son dispositivos electrónicos de potencia que permiten convertir la energía en corriente continua de los módulos fotovoltaicos a corriente alterna, por lo general, en baja tensión (menor a 1000V) para interactuar con la red eléctrica donde se acoplen. Pueden trabajar a distintas frecuencias y voltajes en baja tensión, de acuerdo al modelo seleccionado.

2.3.7.1. Estructura de los equipos inversores

Figura 2. 13

Etapas de conversión de un inversor fotovoltaico



Nota: Fabricante Sungrow

A través de distintas etapas de control, rectificación y transformación, logran ubicar la señal de generación DC de los módulos en una señal de salida AC que sincroniza con la red eléctrica conectada.

Algunos de los principales parámetros en la selección de un inversor son los siguientes:

Tensión máxima fotovoltaica (V_{inv}): es la tensión máxima que puede alcanzar un string que esté conectado al inversor. Su cálculo se determina con el valor del voltaje de circuito abierto (V_{oc}) del string para la condición de temperatura más baja de operación del módulo, con la siguiente expresión:

$$V_{inv} \geq V_{oc}_{Temp. \text{ de operación más baja}}$$

Número de entradas MPPT (Seguidor de punto de máxima potencia): es la cantidad de entradas de regulación MPP con las que cuenta el inversor. Cada entrada MPP controla de forma independiente la producción del arreglo fotovoltaico al cual están conectadas. De esta manera, si dentro del campo de generación algún arreglo presenta deficiencias en su producción no afectará a los demás arreglos. La eficiencia de conversión típica de una regulación MPP en inversores de red supera el 97%.

Número de conexiones por entrada MPPT: es la cantidad de strings que ingresan a cada entrada MPP.

Máxima corriente por MPPT (A): es la corriente máxima del arreglo fotovoltaico (I_{mpp}) que ingresa por entrada MPP.

Potencia nominal (W): es la potencia activa máxima capaz de entregar el inversor. Se da cuando el factor de potencia es igual a 1 y a una determinada temperatura de operación, especificada por cada fabricante.

Tensión nominal (VAC): es la tensión a la cual es inversor se sincronizará directamente con la red eléctrica AC o indirectamente a través de un transformador de potencia.

Máxima corriente de salida (A): corriente AC de salida del inversor a potencia nominal de operación.

Se ha diversificado la fabricación de inversores de red a nivel mundial distinguiéndose típicamente una clasificación de los mismos, de acuerdo a la magnitud del proyecto fotovoltaico: los inversores centrales y los inversores de string. Empleándose los centrales para proyectos utility (de gran escala) y los de string para proyectos de menor tamaño, no obstante, en algunos proyectos utility ya se empiezan a implementar inversores de string, por sus diversas ventajas. El detalle de cada uno se conoce a continuación:

Inversor central: Son inversores de gran capacidad (por lo general mayor a 1 MW) clasificados hasta hace poco tiempo atrás como los más optimizados en cuanto a factor económico. Sin embargo, su gran tamaño dificulta la gestión de mantenimiento, operación y/o reposición en caso de falla en la planta, la misma que resulta en gran medida perjudicada por el porcentaje de abastecimiento que cubren estos.

Inversor multistring: Estos inversores son los más empleados en la actualidad dado que la gestión de su manejo e instalación es muy superior a la de su competidor. En caso de falla,

su reposición es inmediata, debido a su menor tamaño y la disponibilidad de repuestos que presentan. Existen en capacidades menores a 350 kW.

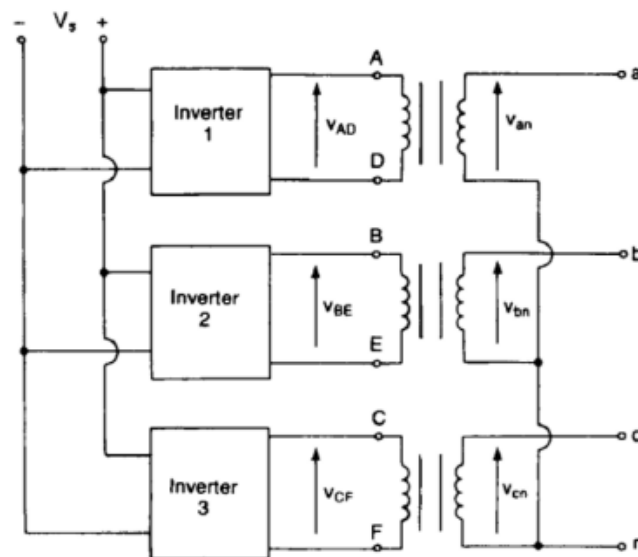
2.3.7.2. Principio de funcionamiento

El funcionamiento de los inversores se caracteriza por ser el dispositivo mismo el encargado de establecer la frecuencia y la forma de onda de la tensión alterna suministrada a la carga.

Los inversores trifásicos se emplean en situaciones que requieren una mayor capacidad de potencia y pueden estar compuestos por tres inversores monofásicos independientes que se conectan a la misma fuente, como se ilustra en la Figura 14. La única condición necesaria es que las señales de activación de cada inverter estén desfasadas 120° con respecto a las otras, con el objetivo de lograr una salida de tensión equilibrada (Sanz, 2015).

Figura 2. 14

Esquema del inverter trifásico mediante la combinación de tres inversores monofásicos independientes



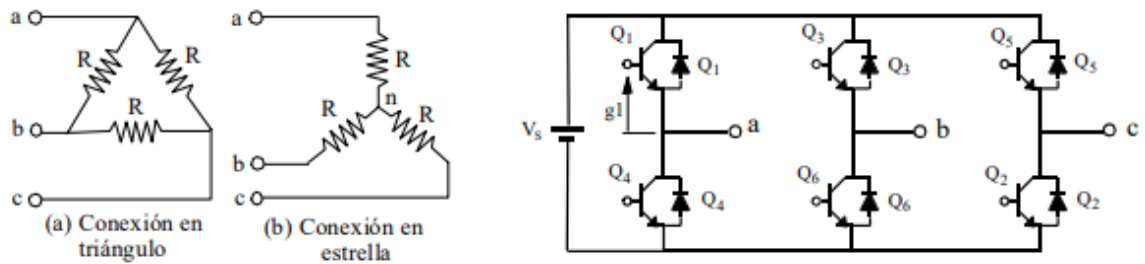
Nota: I.T.T.(S.E.) - Universitat de València

Las tres señales alternas generadas de manera independiente en cada inverter pueden ser conectadas al primario de un transformador trifásico, eligiendo la configuración delta o estrella para sus secundarios según las necesidades de la carga. Este montaje implica el uso

de tres transformadores monofásicos, junto con doce transistores y doce diodos. En caso de que las 35 tensiones de salida de los inversores monofásicos no presenten un equilibrio preciso en términos de magnitud y fase, la salida del sistema resultará descompensada (Sanz, 2015).

Figura 2. 15

Circuito del inversor trifásico



Nota: I.T.T.(S.E.) - Universitat de Valencia

El funcionamiento de un inversor trifásico se distingue por dos tipos de funcionamiento diferentes según el periodo de conducción de cada interruptor:

- **180 grados de conducción:** Cada interruptor realiza una conducción durante 180°, asegurando que en todo momento tres transistores estén conduciendo simultáneamente. Las terminales a, b, c, se conectarán ya sea al polo positivo de la batería de entrada o al polo negativo de la misma. A partir de la secuencia de disparo (123, 234, 345, 456, 561, ...), se generan seis intervalos de funcionamiento distintos, organizados en tres modos como se ilustra en la Figura 2. 16.

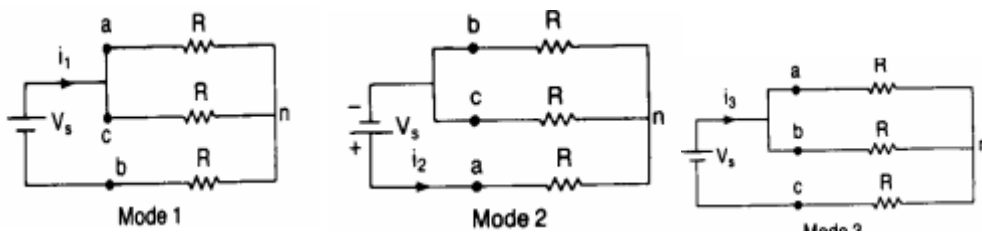
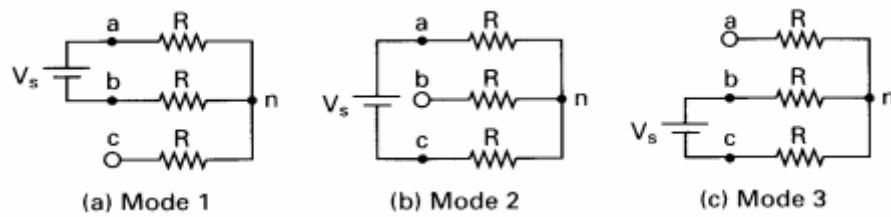


Figura 2. 16

Tres modos de funcionamiento para 180° de conducción

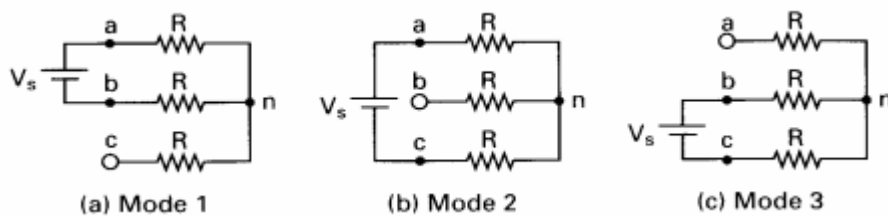


Nota: I.T.T.(S.E.) - Universitat de Valencia

- **120 grados de conducción:** Cada interruptor realiza una conducción durante 120°, asegurando que en todo momento haya dos transistores conduciendo simultáneamente. A partir de la secuencia de disparo (12, 23, 34, 45, 56, 61, ...), se generan tres intervalos de funcionamiento distintos durante un semiciclo de la tensión de salida, tal como se representa en la Figura 2. 17.

Figura 2. 17

Tres modos de funcionamiento para 120° de conducción



Nota: I.T.T.(S.E.) - Universitat de Valencia

En el ámbito de los inversores conectados a la red, se incluyen aquellos con transformador, los cuales ofrecen aislamiento galvánico a la instalación, incrementando de este modo la seguridad eléctrica. Estos inversores son compatibles con diversos tipos de módulos. Además, existen los inversores sin transformador, también conocidos como "TL" (Transformerless), que emplean un método alternativo para proporcionar aislamiento galvánico y no son aptos para su uso con módulos de capa fina. Una ventaja clave de estos inversores es su mayor eficiencia en comparación con los inversores que incorporan transformador, además de tener un peso más ligero (Sanz, 2015).

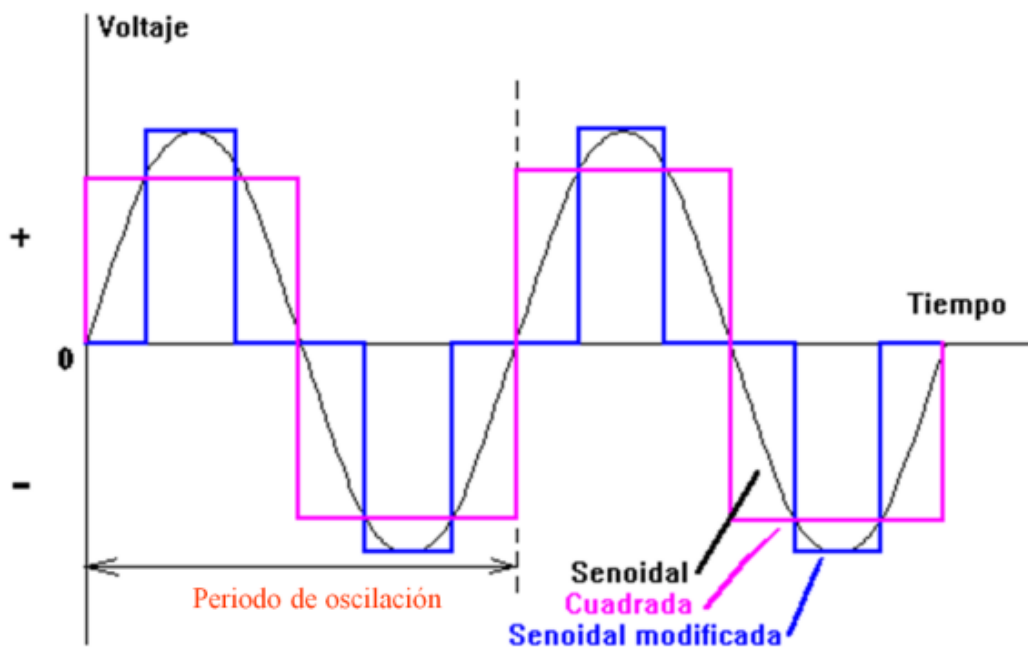
Se pueden clasificar a los inversores según el tipo, según la forma de onda que generan en su salida.

Onda senoidal pura

Con una electrónica más sofisticada, es posible lograr una onda senoidal pura, representada en negro en la Figura 2.18, junto con otros tipos de onda. La integración de microprocesadores proporciona acceso a funciones como el telecontrol, la medición de la energía consumida y la selección de la batería. Las eficiencias típicas superan el 90%. Aunque el costo es más elevado en comparación con los inversores de onda cuadrada o cuasi-senoidal (senoidal modificada), solo algunos motores de inducción y dispositivos de control o equipos médicos requieren una forma de onda senoidal pura debido a su fiabilidad, aunque resultan más costosos. Por esta razón, para otro tipo de cargas, suele ser preferible utilizar inversores de menores costos pero eficientes (Sanz, 2015).

Figura 2. 18

Formas de onda en corriente alterna



Nota: Introducción a la energía fotovoltaica

2.3.7.3. Funcionalidades relacionadas con Potencia activa

Integración de recursos renovables:

- Límites de rampa.
- Atenuación de variaciones de potencia (Power smoothing / firming).
- Uso inteligente de la energía renovable (cuando se necesite el lugar de cuándo se produce).
- Micro redes.

Soporte de red / servicios complementarios:

- Regulación de frecuencia.
- Recomposición (Black start).
- Control / regulación de frecuencia.
- Máquina síncrona virtual / Inercia sintética.

Retraso en la inversión:

- Reducción de potencia pico (Peak shaving).
- Adecuación temporal de la energía disponible a las necesidades de carga.
- Mejora de respuesta de potencia activa de plantas de potencia convencionales.

Eficiencia de potencia:

- Adecuación temporal de la energía disponible a las necesidades de carga.
- Arbitraje de precios.
- Mejora de respuesta de potencia activa de plantas de potencia convencionales.
- Reducción de potencia pico (Peak shaving).

Seguridad y calidad:

- Potencia ininterrumpida.
- Cumplimiento con el código de red.
- Alivio en la congestión de la transmisión / calidad de potencia – fiabilidad.

2.3.7.4. Funcionalidades de Potencia reactiva

- Control de tensión (Q/V).
- Control / regulación de tensión. - Entrega de factor de potencia deseado (Q&F).
- Entrega de potencia reactiva necesaria (Qref).
- Límite de respuesta de la potencia reactiva.

Figura 2. 19

Inversor centralizado de 1 MW



Nota: Fabricante SMA

Los parámetros utilizados para dimensionar el inversor son la tensión nominal de entrada y la potencia nominal. Del mismo modo, se tiene en cuenta el consumo de CA de la carga para seleccionar un inversor cuya potencia nominal sea superior al consumo máximo de la carga y, además, evitar sobredimensionarlo para que pueda funcionar en zonas en las que tenga un mayor rendimiento. El inversor está diseñado para operar de diversos módulos que se conecten serie, además se pueden conectar uno o varios en serie, en función del modelo del inversor. (Laveriano, 2021)

En nuestro caso la potencia de suministro del inversor tendrá que ser la necesaria para suplir la demanda de 500 kW.

2.3.8. Sistema de Almacenamiento

El sistema de almacenamiento de energía (ESS) se refiere a transformación de la energía eléctrica procedente de una red eléctrica o de fuentes de energías renovables en una forma que puede ser almacenada y utilizada durante las horas punta o cuando la fuente generadora no esté disponible (H. Nengroo, 2018). En la actualidad, el sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS) siendo el principal objetivo, debido a la facilidad de instalación en comparación con otras tecnologías de almacenamiento (Leadbetter & Sawan, 2012).

Los BESS son sistemas pasivos de almacenamiento con tecnología de litio que se acoplan en varios gabinetes, los mismos que irán dispuestos sobre una superficie contenerizada con ductería y sistemas auxiliares de forma interna. El sistema BESS aparte de las baterías contará con un sistema de conversión de potencia que trasladará la energía de corriente continua a alterna para finalmente entregar el suministro hacia las cargas finales.

Figura 2. 20

Etapas de conversión BESS: almacenamiento y potencia



Nota: Fabricante SYL

Capacidad de almacenamiento

$$E_{alm} = P_{sum} \times H$$

Donde:

Ealm: Energía a suplir para cubrir el almacenamiento (kWh)

Psum: Potencia de suministro a cubrir (kW)

H: Rango horario a suplir en línea con las interrupciones (h)

2.3.9. Performance Ratio

En los sistemas de generación fotovoltaica como en todo sistema de transformación de energía, se tienen pérdidas por diferentes factores, algunas de estas pérdidas están asociadas a:

- Pérdidas debido a la orientación se refieren a la cantidad de radiación solar desaprovechada por el sistema de captación debido a que no está correctamente alineado con la posición óptima para recibir la luz solar.
- Pérdidas por inclinación se refieren a la cantidad de radiación solar desaprovechada por el sistema captador debido a que no se encuentra inclinado de manera adecuada para aprovechar al máximo la luz solar.
- Las pérdidas debidas a sombras se producen cuando obstáculos bloquean la radiación solar que debería llegar al sistema de captación, y esto varía según la época del año y la posición del sol en el cielo

Por temperatura: son aquellas donde los módulos pierden energía debido a las elevadas temperaturas que alcanzan debido a la exposición directa al sol. Las condiciones nominales de potencia son para 25 grados Celsius de temperatura de modulo, sin embargo, es muy habitual que en operación esta pase los 45 grados.

Por suciedad: debido a que los módulos se encuentran expuestos todo el tiempo a la intemperie. Se acumulan desechos como el polvo que disminuyen ligeramente su producción de energía eléctrica.

En el cableado: debido al efecto joule y transporte de energía, tanto en los conductores DC como en los de AC

Por mismatch: pérdidas provocadas en la interconexión de los módulos, debido a las pequeñas variaciones de voltaje y corriente que existen entre ellos.

Por clipping: fenómeno que muestra cuantas son las pérdidas que sufre la generación eléctrica fotovoltaica por tener un inversor de menor capacidad nominal que la potencia pico de los módulos.

El coeficiente de rendimiento es un valor que no depende de la ubicación geográfica y sirve como medida de la eficiencia de una instalación fotovoltaica, lo que lo convierte en un indicador importante de su calidad. Este coeficiente se presenta en forma de porcentaje y representa la relación entre el rendimiento efectivo y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. En otras palabras, muestra la proporción de energía que realmente se obtiene para su uso después de considerar las pérdidas de energía y el consumo propio necesario para el funcionamiento de la instalación.

Un valor de coeficiente de rendimiento cercano al 100 % indica que una instalación fotovoltaica opera de manera altamente eficiente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que alcanzar un valor del 100 % es imposible debido a las pérdidas inevitables que ocurren durante la operación, como las pérdidas de calor debidas al calentamiento de los módulos fotovoltaicos. A pesar de estas pérdidas inevitables, las instalaciones fotovoltaicas eficientes suelen lograr un coeficiente de rendimiento que oscila entre el 80 y el 85 %.

Cuando se realiza el cálculo regular el coeficiente de rendimiento en intervalos predefinidos, el objetivo no es una comparación absoluta, sino más bien la capacidad de monitorear la evolución y el desempeño de la instalación fotovoltaica. Inicialmente, se parte de un valor del coeficiente de rendimiento del 100 % al poner en funcionamiento la instalación, asumiendo que esta funciona de manera óptima en ese momento. Al calcular los valores sucesivos del coeficiente de rendimiento a lo largo del tiempo, es posible identificar desviaciones y tomar medidas correctivas oportunamente. Por lo tanto, las desviaciones del valor del coeficiente de rendimiento, en forma de valores por debajo del rango establecido, actúan como indicadores anticipados de posibles problemas en su instalación fotovoltaica.

2.3.10. Interrupciones en el sistema de distribución

Se considera una interrupción cuando hay una pérdida total de tensión o corriente. En función de su duración, una interrupción se clasifica como de corta duración, momentánea, temporal o continua. Los tipos de interrupción abarcan desde: momentánea de 0,5 a 30

ciclos, momentánea de 30 ciclos a 2 segundos, temporal de 2 segundos a 2 minutos y continua, que supera los 2 minutos. (Mercado, Bernardo, & Pacheco, 2017)

Las causas de las interrupciones en el suministro eléctrico son resultados de los siguientes factores que dañan la red de suministro eléctrico, condiciones climáticas (descargas atmosféricas, vientos fuertes, hielo sobre las líneas), falla de los equipos, falla en las líneas, errores humanos en la operación del sistema eléctrico, etc.

a. Consecuencias 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 ferorrresonancia.
- 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 roedores, aves, serpientes, etc.
- Incendios.
- Fallas en equipos y errores en la instalación de cables.

2.3.10.1. 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, 2014).

2.3.10.2. Interrupciones de energía eléctrica

Conforme a la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos del año 1997, la calidad del suministro eléctrico se evalúa principalmente en función de la continuidad del servicio a los clientes, lo que significa analizar las interrupciones en el suministro eléctrico. Esta norma establece un período de seguimiento de seis meses consecutivos para controlar dichas interrupciones. De este modo, se evalúa la calidad del servicio eléctrico considerando la duración de las interrupciones y la cantidad de energía que no se proporciona debido a estas interrupciones. No se tienen en cuenta para los fines de la norma las interrupciones totales de suministro que duren menos de tres minutos ni aquellas relacionadas con situaciones de fuerza mayor que estén debidamente comprobadas y calificadas como tales por la autoridad competente. (Araca, 2021)

2.3.10.3. Clasificación de interrupciones

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos establece parámetros de calidad del suministro eléctrico, particularmente en términos de interrupciones, mediante indicadores individuales (N y D). Sin embargo, se observó que esta norma no condujo a una mejora significativa en la calidad del servicio eléctrico. Ante esta problemática, en 2004, OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) introdujo el Anexo 03 de la Resolución de Consejo Directivo N° 177-2012-OS/CD, que implementa un procedimiento de supervisión de la operación de sistemas eléctricos. Este procedimiento evalúa el estado de las redes de media tensión por sistema eléctrico utilizando indicadores internacionalmente reconocidos, como SAIDI y SAIFI. Además, en 2007 se establecieron tolerancias y sanciones para las situaciones en las que se excedieran estos indicadores. La Tabla 2.2 muestra la clasificación de las interrupciones, tal como se detalla a continuación.

Tabla 2. 2

Naturaleza de interrupciones

Código	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: (OSINERGMIN, 2012)**2.3.10.4. 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.

2.3.11. Calidad de servicio eléctrico

Según lo establecido en el Decreto Supremo No 020-1997-EM, que aprueba la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), la calidad del servicio eléctrico está compuesto por técnica, calidad comercial y calidad en el alumbrado público y calidad del suministro. Estos indicadores tienen como objetivo principal asegurar la seguridad pública en beneficio de los usuarios (Tamayo, Vasquez, & Garcia, 2013).

Tabla 2. 6

Indicadores de calidad de servicio eléctrico

Organismo de Regulación, Fiscalización	OSINERGMIN
Reglamento y Norma	NTCSE
	a) Calidad de Producto <ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Perturbaciones • Frecuencia
	b) Calidad de Suministro

Aspectos del Control de la Calidad	• Interrupciones
	c) Calidad de Servicio Comercial d) Calidad de alumbrado publico e) Indicadores de Calidad de suministro
Indicadores	• SAIDI (h/año) • SAIFI (Int./año)

Nota: (Ministerio de Energía y Minas, 1997)

2.3.11.1. Indicadores de calidad de suministro por sistema eléctrico

a) SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Es el indicador que mide la duración de la interrupción por usuario, depende de varios factores, incluyendo la ubicación de la falla, la gravedad de la misma, y los recursos disponibles para restablecer el servicio, como personal, vehículos, materiales y medios de comunicación. También se ven afectados por la accesibilidad de la zona, la extensión de la red y otros aspectos relacionados.

$$SAIDI = \frac{\text{Suma de las duraciones de las interrupciones}}{\text{Numero total de usuarios}} \left[\frac{h}{\text{año}} \right]$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i + u_i)}{N}$$

Donde:

t_i : Duración de cada interrupción.

u_i : Numero de usuarios afectados en cada interrupción.

n : Número de interrupciones en el periodo.

N : Número de usuarios del sistema eléctrico al final de periodo.

b) SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Es el indicador que mide la frecuencia de interrupción por usuario en las instalaciones eléctricas de los sistemas eléctricos, se realiza teniendo en cuenta la cantidad de veces que se producen cortes o fallos en el suministro de energía debido a diversos factores, como problemas en los componentes, maniobras operativas y situaciones que afectan

la disponibilidad de los sistemas eléctricos. Estos problemas pueden ser tanto internos, relacionados con aspectos como el diseño de las redes, el estado de las instalaciones y el funcionamiento de los sistemas de protección, como externos, vinculados al entorno y a terceros involucrados en la operación del sistema.

$$SAIFI = \frac{\text{Numero de interrupciones a los usuarios} \left[\frac{\text{int.}}{\text{año}} \right]}{\text{Numero total de usuarios}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{N}$$

Donde:

u_i : Numero de usuarios afectados en cada interrupción.

n : Numero de interrupciones en el periodo.

N : Número de usuarios del sistema eléctrico al final del periodo.

2.3.12. Calidad de energía

La calidad de energía se refiere a suministrar energía eléctrica a los equipos y dispositivos con las especificaciones y condiciones apropiados para mantener su continuidad sin afectar el rendimiento del equipo o dispositivo ni causar fallas a sus componentes (Mercado, Bernardo, & Pacheco, 2017).

La mala calidad de energía se debe a la presencia de las perturbaciones, variación de tensión, armónicos, interrupciones eléctricas, eventos transitorios. Los problemas referidos a la calidad de la electricidad guardan una relación directa con las instalaciones eléctricas (Mercado, Bernardo, & Pacheco, 2017).

CAPITULO III

FORMULACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

3.1. Introducción

En este capítulo desarrollamos el análisis integral de las alternativas posibles que puedan constituir una solución viable al problema encontrado.

3.2. Diagnóstico del Sistema eléctrico Llusco (LL-02)

3.2.1. Sistema eléctrico de Llusco (LL-02)

El alimentador Llusco (LL-02) tiene una salida en 22.9 kV, de la Subestación de transformación de Llusco 60/22.9 kV, que está ubicado en el mismo sector de Llusco, dicho alimentador suministra a la red NMT: 11290 a la comunidad de Challhuahuacho.

3.2.2. Componentes del alimentador Llusco (LL-02)

En la salida se tiene un recloser IN-262 de la marca NOJA de características 38kV; BIL-170kV, relé: NOJA, tipo de control modelo-RC10.

Se cuenta con los nodos:

- NMT:201979, el cual se encuentra a una distancia de la SET de 1 km, en dicho nodo es para la interconexión con LL-03, el cual tiene un cut out el cual es solo de maniobra.
- NMT:19393, la ubicación es en la Derivación de Colquemarca, encontrándose a una distancia de la SET de 86.26 Km, en dicha línea se tiene un RC-2024:reconectador de modelo VIPER S, equipo: G&W ELECTRIC, relé:SEL, modelo SEL 351R-4, en dicho tramo a Colquemarca se tiene un cut out (repetición), en la ubicación de Toromanya en el NMT:10415.
- NMT:18035 aquí se tiene un Cut Out, el cual es solo de maniobra.
- NMT:5717, siendo la derivación a Quiñota-Derv. Patan en dicho tramo se encuentran un NMT:18060 en la ubicación de Quiñota-Derv. Patan, se encuentra a una distancia de la SET de 90.60 Km, en dicho nodo se tiene un Cut Out que es solo de maniobra,

teniendo tambien RC-2023, reconectador de modelo VIPER S, equipo: G&W ELECTRIC, rele:SEL, modelo SEL 351R-4.

- NMT:5718 en la derivacion a la mina Anabi en dicha linea se cuenta con otro nodo NMT:15199, en la ubicación de Quiñota -Derv. Acoito teniendo tambien RC-2084, reconectador de modelo VIPER S, equipo: G&W ELECTRIC, rele:SEL, modelo SEL 351R-4.
- NMT:18158, en dicho nodo se tiene un Cut Out el cual es solo de maniobra.
- NMT:19425, Se encuentra en la ubicación Haquira, distancia a la SET de 103.8 Km, teniedo tambien un seccionado bajo carga aguas abajo, SBC-2002 (equipo de maniobra) equipo Entec, modelo Entec, Rele Entec, Modelo ETMFC 101-N1.
- NMT:19455,alimentador a Mara-Capacmarca, teniendo un nodo NMT:19896 en la zona de Patabamba el cual se encuentra a una distancia de la set 112.6 Km, tambien en la lineas un RC-2028, reconectador de modelo NULEC, equipo: SCHNEIDER, rele: SEL SCHNEIDER, modelo ADVC, NMT:11290, salida a Challhuahuacho.

3.2.3. Indicadores SAIDI y SAIFI de LL-02 del NMT: 11290

A continuación, se muestra el análisis de los cortes que fueron registrados en el alimentador en estudio por el centro de control de ELSE. Por último, se procederá a evaluar los índices de SAIDI y SAIFI.

Tabla 3. 1

Reportes de SAIFI y SAIDI del año 20218.

AMT	Usuarios	Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	SAIFI%	SAIDI%	Acumulado SAIFI	Acumulado SAIDI
LL02	234412	763241.50	0.50	1.62	5.70%	7.26%	12.96%	14.17%

Nota: Centro de Control - ELSE

Tabla 3. 2

Reportes de SAIFI y SAIDI del año 20219.

Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	SAIFI%	SAIDI%	SAIFI	SAIDI	Cientes AMT
314848.146	0.41195186	0.63280209	5.4418906	3.73359856	20.9833129	32.2326112	9768

Nota: Centro de Control - ELSE**Tabla 3. 3**

Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2020.

SAIDI Y SAIFI (2020)						
Periodo	Alimentador	Usuarios Afectados	Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	Cientes
Enero	LL02	1038	2586.35	0.104	0.258	10013
Febrero	LL02	16252	4004.77	1.623	0.400	10013
Marzo	LL02	3055	47281.95298	0.305	4.722	10013
Abril	LL02	726	1482.25	0.073	0.148	10013
Mayo	LL02	9923	2150.01641	0.991	0.215	10013
Junio	LL02	480.624	210.27	0.048	0.021	10013
Julio	LL02	1498	670.26	0.147	0.066	10208
Agosto	LL02	2275	7699.54	0.223	0.754	10208
Setiembre	LL02	1245	1016.75	0.122	0.100	10208
Octubre	LL02	31	728.5	0.003	0.071	10208
Noviembre	LL02	905	2172	0.089	0.213	10208
Diciembre	LL02	0	0.00	0.000	0.000	10208

Nota: Centro de Control - ELSE

En la tabla 3.3 se aprecia los resultados de los valores SAIDI y SAIFI a través de los meses del año 2020, el indicador SAIDI alcanzó su valor más alto en el mes de marzo, con un registro de 4.722. SAIDI mide la duración promedio de las interrupciones de suministro eléctrico por cliente. Por lo tanto, un valor más alto de SAIDI indica que, en promedio, los clientes experimentaron interrupciones más largas durante ese mes en comparación con otros meses del año. Así mismo, cada cliente experimentó interrupciones eléctricas con una frecuencia de 1.623 veces durante el año, siendo este el valor más alto registrado de SAIFI.

Tabla 3. 4

Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2021.

SAIDI Y SAIFI (2021)						
Periodo	Alimentador	Usuarios Afectados	Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	Clientes
Enero	LL02	5059	9664.98	0.488	0.932	10365
Febrero	LL02	918	2723.40	0.089	0.263	10365
Marzo	LL02	1810	2715	0.175	0.262	10365
Abril	LL02	259	440.30	0.025	0.042	10365
Mayo	LL02	0	0.00	0.000	0.000	10365
Junio	LL02	12916	27950.80	1.246	2.697	10365
Julio	LL02	23	623.68	0.003	0.070	8946
Agosto	LL02	1446	4430.29	0.162	0.495	8946
Setiembre	LL02	7047	8841.06	0.788	0.988	8946
Octubre	LL02	19562	8437.06207	2.187	0.943	8946
Noviembre	LL02	6832	3657.48072	0.764	0.409	8946
Diciembre	LL02	8066	7126.04078	0.902	0.797	8946

Nota: Centro de Control - ELSE

La tabla 3.4 muestra los resultados de SAIFI y SAIDI en el año 2021, donde se detalla que junio fue el mes con la mayor duración promedio de interrupciones eléctricas (SAIDI), representada por el valor de 2.697. Además, se destaca que el indicador SAIFI alcanzó su valor máximo de 1.246 en el mes de junio, indicando la mayor frecuencia de interrupciones eléctricas durante ese período. Estos datos son cruciales para evaluar y mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico.

Tabla 3. 5

Reportes de SAIFI y SAIDI del año 2022.

SAIDI Y SAIFI (2022)						
Periodo	Alimentador	Usuarios Afectados	Horas Suministro	SAIFI	SAIDI	Clientes
Enero	LL02	4896	3848.74	0.549	0.431	8925
Febrero	LL02	3794	36278.50	0.425	4.065	8925
Marzo	LL02	3069	3981.11022	0.34	0.45	8925

Abril	LL02	1167	5265.70	0.13	0.59	8925
Mayo	LL02	15467	5938.62958	1.733	0.665	8925
Junio	LL02	6637	5184.81	0.744	0.581	8925
Julio	LL02	12126	12350.51	1.345	1.370	9018
Agosto	LL02	6158	17826.00	0.683	1.977	9018
Setiembre	LL02	19562	102929.08	2.169	11.414	9018
Octubre	LL02	1174	1780.99979	0.130	0.197	9018
Noviembre	LL02	14320	20055.5062	1.588	2.224	9018
Diciembre	LL02	9065	15611.2432	1.005	1.731	9018

Nota: Centro de Control-ELSE

La tabla 3.5 presenta los resultados de SAIFI y SAIDI para el año 2022. Se detalla que setiembre se destacó como el mes con la mayor duración promedio de interrupciones eléctricas, evidenciado por el valor de 11.414 en SAIDI. Asimismo, se resalta que el indicador SAIFI alcanzó su punto máximo, registrando un valor de 2.169 en el mismo mes, indicando la frecuencia más alta de interrupciones eléctricas durante ese periodo.

Tabla 3. 6

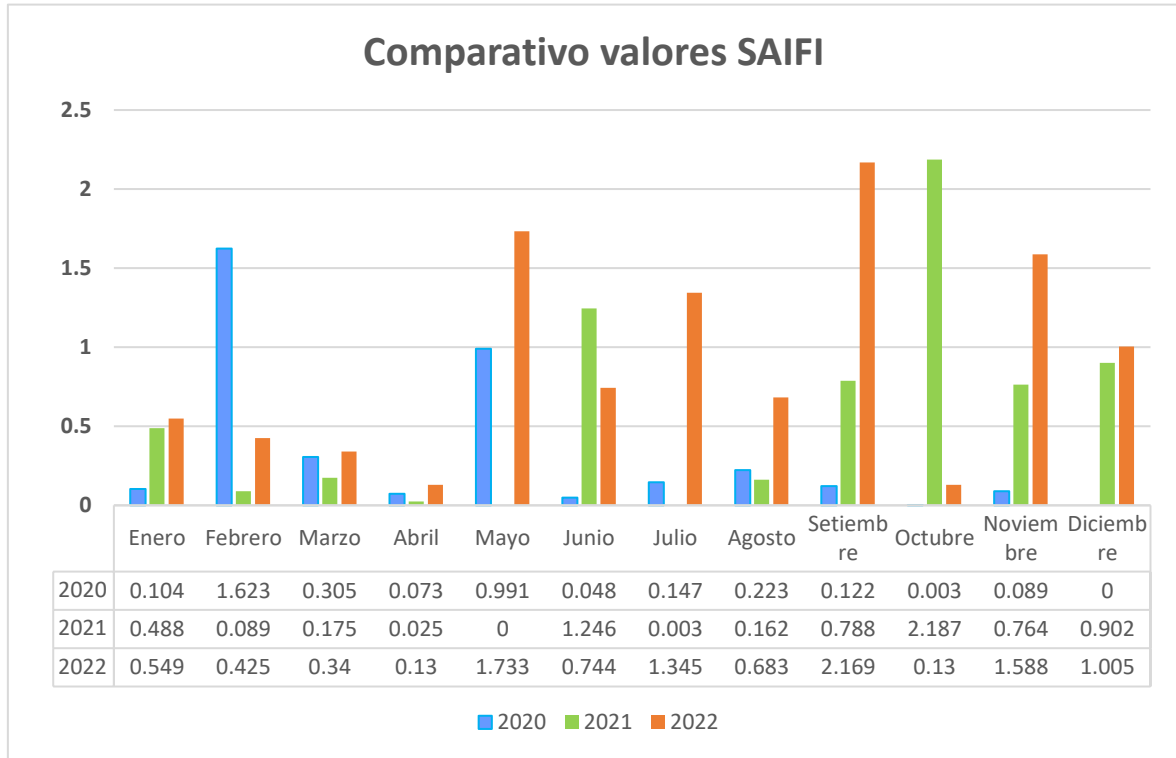
Comparación de resultados de SAIFI del 2020 al 2022.

Periodo	SAIFI		
	SAIFI 2020	SAIFI 2021	SAIFI 2022
Enero	0.104	0.488	0.549
Febrero	1.623	0.089	0.425
Marzo	0.305	0.175	0.34
Abril	0.073	0.025	0.13
Mayo	0.991	0	1.733
Junio	0.048	1.246	0.744
Julio	0.147	0.003	1.345
Agosto	0.223	0.162	0.683
Setiembre	0.122	0.788	2.169
Octubre	0.003	2.187	0.13
Noviembre	0.089	0.764	1.588
Diciembre	0	0.902	1.005
TOTAL	3.728	6.829	10.841

Nota: Centro de Control-Elaboración propia.

Figura 3.1

Comparativo SAIFI



Nota: Elaboración propia.

En la tabla 3.6 y la figura 3.1 se observa que, en los años 2020, 2021 y 2022, los Sistemas Eléctricos obtuvieron valores de SAIFI de 3.728; 6.829 y 10.841 fallas por usuario por año, respectivamente.

Tabla 3.7

Comparación de resultados de SAIDI del 2020 al 2022

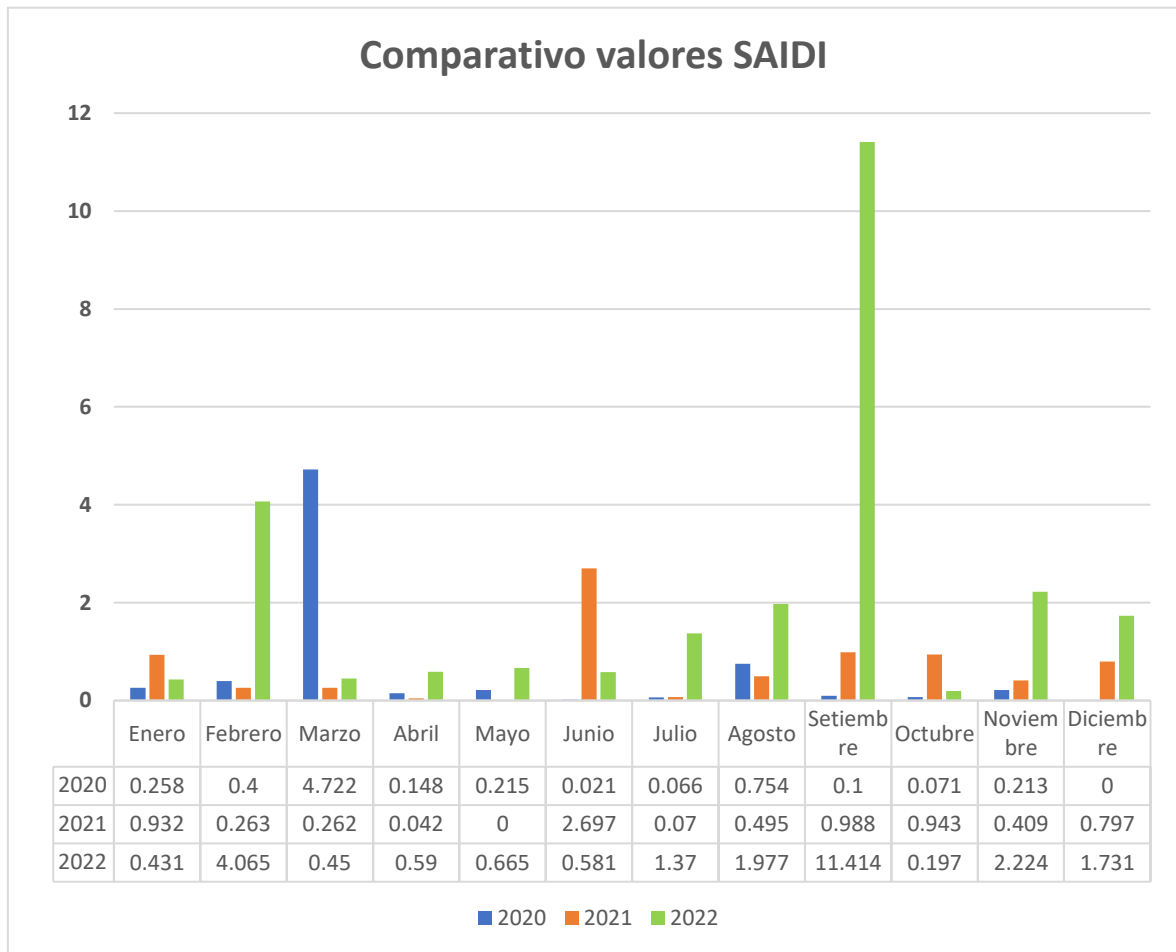
Periodo	SAIDI		
	SAIDI 2020	SAIDI 2021	SAIDI 2022
Enero	0.258	0.932	0.431
Febrero	0.4	0.263	4.065
Marzo	4.722	0.262	0.45
Abril	0.148	0.042	0.59
Mayo	0.215	0	0.665
Junio	0.021	2.697	0.581
Julio	0.066	0.07	1.37
Agosto	0.754	0.495	1.977

Setiembre	0.1	0.988	11.414
Octubre	0.071	0.943	0.197
Noviembre	0.213	0.409	2.224
Diciembre	0	0.797	1.731
TOTAL	6.968	7.898	25.695

Nota: Centro de Control-Elaboración propia.

Figura 3.2

Comparativo SAIDI



Nota: Elaboración propia.

En la tabla 3.7 y la figura 3.2 se observa que, en los años 2020, 2021 y 2022, los Sistemas Eléctricos obtuvieron valores de SAIDI de 6.968; 7.898 y 25.695 horas/usuario por año, respectivamente.

Tabla 3. 8

Comparativo de SAIFI y SAIDI con incorporación de generación distribuida fotovoltaica del 2022.

SAIDI Y SAIFI (2022)					
Periodo	Usuarios Afectados	SAIFI	SAIDI	con SFV	
				SAIFI	SAIDI
Enero	4896	0.549	0.431	0.505	0.3448
Febrero	3794	0.425	4.065	0.391	3.252
Marzo	3069	0.34	0.45	0.313	0.36
Abril	1167	0.13	0.59	0.120	0.472
Mayo	15467	1.733	0.665	1.508	0.53865
Junio	6637	0.744	0.581	0.647	0.47061
Julio	12126	1.345	1.37	1.170	1.1097
Agosto	6158	0.683	1.977	0.594	1.60137
Setiembre	19562	2.169	11.414	1.844	9.35948
Octubre	1174	0.13	0.197	0.111	0.16154
Noviembre	14320	1.588	2.224	1.390	1.82368
Diciembre	9065	1.005	1.731	0.879	1.41942
TOTAL	97435	10.841	25.695	9.471	20.913

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 3.8 se muestra un cuadro comparativo del año 2022 entre el sistema eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho y con la incorporación de la propuesta de generación distribuida fotovoltaica, de acuerdo al resumen y análisis realizado se obtuvieron valores de SAIFI de 10.841 fallas/usuario-año y 9.471 fallas/usuario-año respectivamente con la incorporación del SFV, equivalente a una reducción del orden de 12.64%. Así mismo se obtuvieron valores de SAIDI de 25.695 horas/usuario-año y 20.913 horas/usuario-año respectivamente con incorporación del SFV, que es equivalente a una reducción del orden de 18.61%.

3.3. Descripción del área del proyecto

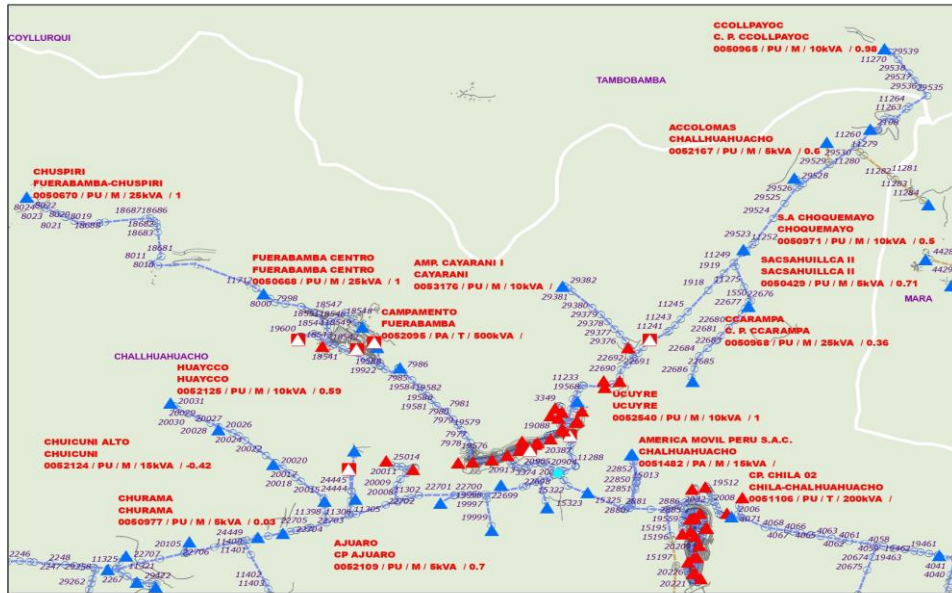
3.3.1. Ubicación geográfica

Esta investigación se desarrollará en el espacio geográfico de la comunidad Challhuahuacho, distrito de Challhuahuacho, provincia Cotabambas y departamento de Apurímac. Por lo tanto, se desarrollará la recolección de datos de la concesionara en vista a que ellos tienen los reportes de los datos actualizados de las interrupciones imprevistas de factores

atmosféricos, entre otros sucesos, en periodo y tiempo que se tienen de la comunidad de Challhuahuacho.

Figura 3.3

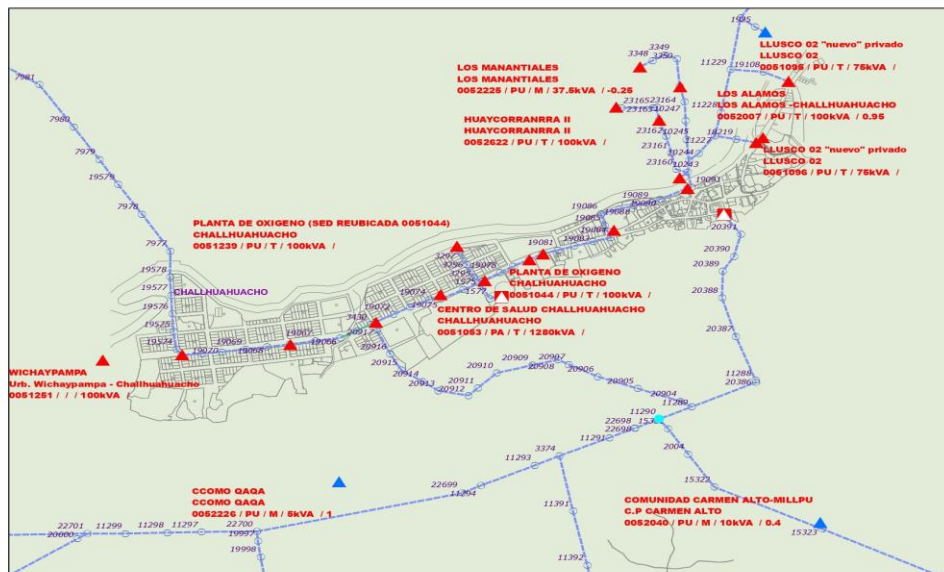
Ubicación del proyecto de tesis a nivel del alimentador LL-02



Nota: Electro Sur Este en ArcGis

Figura 3.4

Ubicación del proyecto de tesis a nivel del alimentador LL-02 del NMT 11290



Nota: Electro Sur Este en ArcGis

Figura 3.5

Ubicación de la Generación Distribuida Fotovoltaica.



Nota: Google maps

La superficie total para considerar un sistema de generación distribuida, abarca alrededor de 6000 metros cuadrados. A continuación, se presenta una tabla que contiene las coordenadas UTM de los vértices del polígono exhibido en la figura previa.

Tabla 3.9

Coordenadas UTM de ubicación propuesta

UTM WGS84	GRADOS, MINUTOS Y SEGUNDOS	
ZONA	LATITUD	LONGITUD
18 M	-14.112432	-72.240383
18 M	-14.112468	-72.240125
18 M	-14.112599	-72.240169
18 M	-14.112612	-72.240443

Nota: Elaboración propia.

3.4. Distribución del Sistema

Para la incorporación de la propuesta de generación distribuida empleando un sistema fotovoltaico con almacenamiento, se tiene la disponibilidad de un área de 6000 m² para la instalación de paneles solares. El Sistema Solar Fotovoltaico, estará compuesto por módulos fotovoltaicos instalados sobre suelo en las estructuras conectados a los equipos de potencia o inversores ubicados en el sistema BESS, para posteriormente elevar la energía en un centro de transformación a media tensión y entregar el suministro eléctrico al alimentador NMT:11290 de la comunidad de Challhuahuacho.

Figura 3. 6

Área disponible para instalación



Nota: Google Earth. Elaboración propia

3.5. Capacidad energética a suministrar

La capacidad de potencia a suministrar por el sistema de generación distribuida será de 500 kW para mejorar la calidad de energía de NMT: 11290 que alimenta a la comunidad de

Challhuahuacho. Dicha demanda, considera la capacidad necesaria para alimentar la comunidad incluyendo en ella las pérdidas de distribución de baja tensión. Sin embargo, dicha demanda al provenir de tecnología fotovoltaica, es limitada, por lo que habrá que proponer y conocer la capacidad del sistema de almacenamiento a proponer.

Para conocer dicha capacidad utilizaremos la data de interrupciones históricas provenientes de los años 2018 al 2022. Dicha data nos informa cuánto tiempo duraban las interrupciones.

Tabla 3. 10

Interrupciones energía eléctrica en la comunidad de Chalhuahuacho del año 2018.

Cantidad de interrupciones (2018)				
MES	Duración de interrupciones			
	(0-20) min.	(20-40) min.	(40-60) min.	(60 a más) min.
Enero	2	0	0	12
Febrero	2	0	0	7
Marzo	0	1	1	9
Abril	0	0	2	3
Mayo	1	0	0	2
Junio	1	0	0	2
Julio	0	0	0	2
Agosto	1	0	0	3
Septiembre	0	1	0	3
Octubre	1	0	1	2
Noviembre	1	0	0	3
Diciembre	1	0	0	4

Nota: Centro de Control - ELSE (Elaboración propia)

Para calcular el tiempo total de interrupción multiplicaremos la cantidad de interrupciones por el tiempo máximo de duración y se dividirá entre 30 para obtener el tiempo medio de interrupción diaria. Planteamos el ejemplo para el mes de enero del 2018:

$$T_{int} = 20 \times 2 + 40 \times 0 + 60 \times 0 + 80 \times 12 \text{ (minutos/mes)}$$

$$T_{int} = 1000 \text{ min/mes}$$

$$T_{int} = 33.33 \text{ min/día}$$

$$T_{int} = 0.56 \text{ h/día}$$

Bajo esa metodología obtendremos los tiempos medios de interrupción por mes del año, identificando que el mayor tiempo de interrupción se dio en octubre del 2019.

Tabla 3. 11

Tiempo medio de interrupciones

MES	Cantidad de interrupciones (<i>h/día</i>)				
	2018 <i>h/día</i>	2019 <i>h/día</i>	2020 <i>h/día</i>	2021 <i>h/día</i>	2022 <i>h/día</i>
Enero	0.56	0.54	0.53	0.57	0.53
Febrero	0.56	0.56	0.57	0.53	0.70
Marzo	0.59	0.57	0.53	0.53	0.69
Abril	0.60	0.57	0.53	0.53	0.60
Mayo	0.54	0.56	0.54	0.53	0.54
Junio	0.54	0.58	0.53	0.62	0.53
Julio	0.53	0.60	0.57	0.53	0.62
Agosto	0.54	0.68	0.53	0.53	0.57
Septiembre	0.56	0.63	0.53	0.62	0.57
Octubre	0.58	0.92	0.53	0.60	0.54
Noviembre	0.54	0.54	0.53	0.60	0.86
Diciembre	0.64	0.71	0.53	0.59	0.70

Nota: Centro de Control - ELSE (Elaboración propia)

Con la ecuación calcularemos la capacidad de almacenamiento efectiva del sistema BESS:

$$E_{alm - efect} = P_{sum} * H$$

Donde:

$E_{alm - efect}$: Energía almacenada efectiva

P_{sum} : Potencia requerida

H : Periodo de mayor interrupción

$$E_{alm - efect} = 500 \text{ kW} \times 0.92h$$

$$E_{alm - efect} = 460 \text{ kWh}$$

Considerando los sistemas BESS tienen 0.9 de eficiencia de carga y descarga (almacenamiento de Litio), deberíamos estar hablando de una capacidad real a cubrir de 511.11 kWh.

$$Capacidad\ real = \frac{E_{alm-efect}}{0.9}$$


$$Capacidad\ real = \frac{460\ kWh}{0.9}$$

$$Capacidad\ real = 511.11\ kWh$$

Para evaluar la cantidad de potencia fotovoltaica a instalar, debemos cuantificar el recurso en el mes crítico solar. Para ello utilizaremos la base de datos solar estudiada (PVGIS) para obtener la cantidad de horas solares pico diarias presente en la ubicación del proyecto:

Tabla 3. 12

Radiación solar de Challhuahuacho.

Sitio		Challhuahuacho (Peru)			
Fuente de datos		PVGIS TMY: SARAH, COSMO or NSRDB			
	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	
Enero	5.46	3.33	9.9	1.34	
Febrero	5.34	3.34	9.9	1.70	
Marzo	5.61	2.88	8.8	1.57	
Abril	5.41	2.34	8.7	1.24	
Mayo	5.62	1.33	7.6	1.42	
Junio	5.71	0.89	7.4	1.32	
Julio	5.95	0.85	6.8	1.37	
Agosto	6.37	1.28	8.2	1.55	
Septiembre	7.09	1.87	9.6	1.62	
Octubre	7.06	2.54	9.6	1.31	
Noviembre	6.87	2.64	10.3	1.23	
Diciembre	5.78	3.45	9.4	1.16	
Año 	6.03	2.22	8.9	1.4	
	Pegar	Pegar	Pegar	Pegar	

Nota: Base PVGIS del Software PVSYST (Elaboración propia)

El recurso solar (HSP) en Challhuahuacho para el mes de febrero (mes crítico de recurso solar) es:

$$HSP = 5.34 \text{ h (radiación solar crítica PVGIS)}$$

La energía de almacenamiento real a suministrar carga y un performance ratio conservador (0.8):

$$Pfv = \frac{\text{Energía efectiva}}{HS * 0.8}$$

$$Pfv = \frac{511 \text{ kWh}}{1.30h \times 0.8}$$

$$Pfv = 491.35 \text{ kWp} \approx 500 \text{ kWp}$$

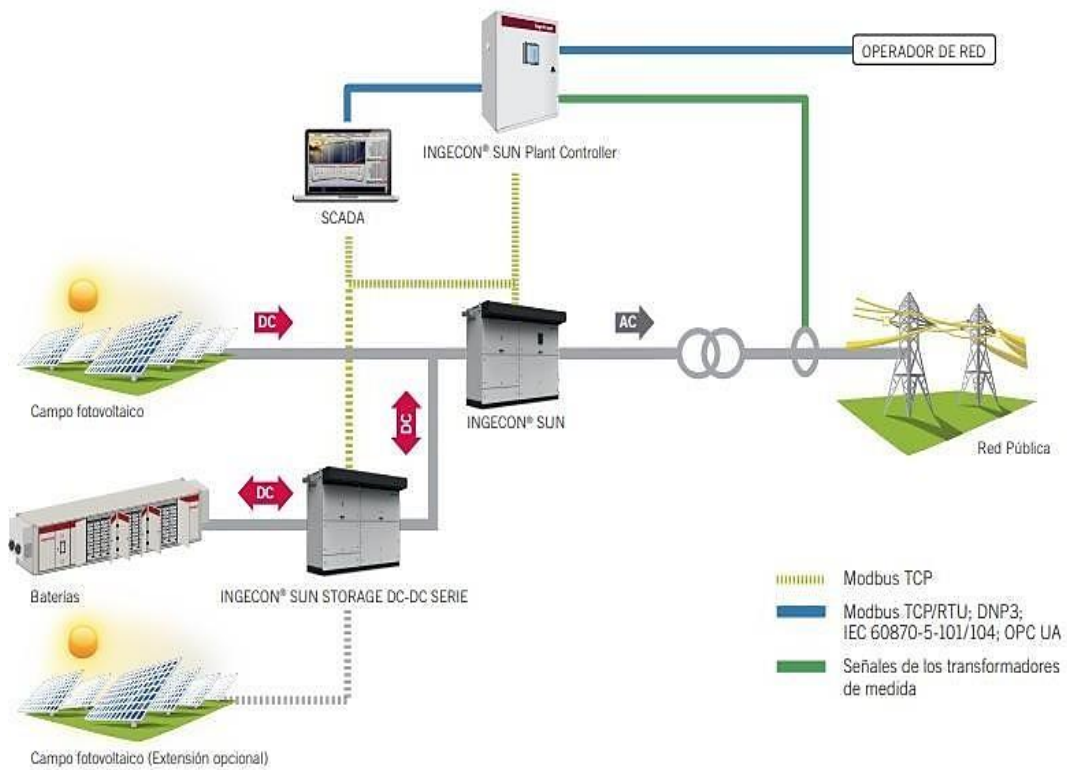
El sistema de almacenamiento de energía (BESS) requiere aproximadamente 1.30 horas para completar el proceso de carga, aprovechando una generación de 500 kWp proveniente del sistema fotovoltaico

3.6. Solución propuesta

En la figura 3.8, podemos observar la distribución de cada sistema y el flujo que cumple cada equipo debido a su funcionamiento en el presente proyecto. Es una solución de acoplamiento DC, donde tanto la tecnología BESS como la generación fotovoltaica sincronizan en el lado de corriente continua del inversor, el cual entrega el suministro de energía del sistema en una tensión de 22.9 kV.

Figura 3. 7

Esquema de funcionamiento de proyecto



Nota: Fabricante Ingeteam

El diseño estará compuesto por la siguiente cantidad de módulos fotovoltaicos de 690Wp (valor estandarizado de potencia en el mercado):

$$N^{\circ} \text{ total } \text{módulos} = \frac{P_{fv}}{P_{\text{módulo}}}$$

$$N^{\circ} \text{ total } \text{módulos} = \frac{500 \text{ kWp}}{690 \text{ Wp}}$$

$$N^{\circ} \text{ total } \text{módulos} = 724.6 \approx 726$$

En total son 724 módulos, los que debemos disponer en serie y paralelo hacia el ingreso del inversor. Para ello calcularemos primero la cantidad máxima de módulos en serie que puede admitir por cada entrada:

$$N_{TPs} = \frac{V_{INV}}{V_{PANEL}}$$

$$N_{TPs} = \frac{1500}{47.9}$$

$$N_{TPs} = 31.3 \approx 33$$

Para calcular la cantidad de módulos en paralelo que se pueden poner consideraremos la siguiente condición de funcionamiento del inversor:

$$N_{pp-max} = \frac{P_{Inv}}{(N_{PS} * P_P)}$$

$$N_{pp-max} = \frac{500}{(33 * 0.69)}$$

$$N_{pp-max} = 21.9 \approx 22$$

Priorizando que se puedan disponer de la mayor cantidad de módulos en serie, para de esa forma generar reducción de grupos y, por lo tanto, reducción económica, se escogerá la siguiente configuración:

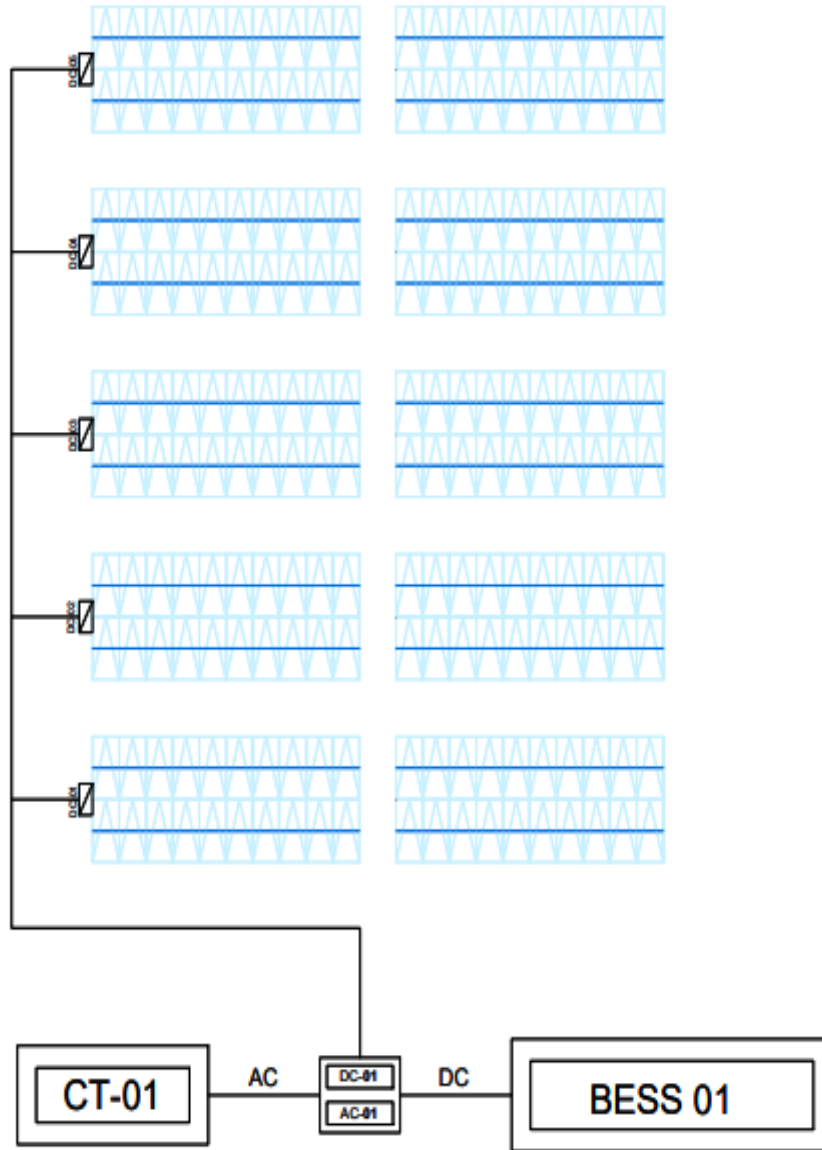
$$\text{Modulo en serie} = 33$$

$$\text{Modulo en paralelo} = 22$$

$$\text{Total de modulos} = 726$$

Figura 3. 8

Distribución de los Módulos fotovoltaicos



Nota: Elaboración propia

Figura 3. 9

Módulo fotovoltaico Monocristalino de 690Wp



Nota: Fabricante Trina Solar

Tabla 3. 13

Características Técnicas del módulo fotovoltaico

Parámetros Eléctricos (STC)		
Potencia Máx.	Pmax (W)	690
Voltaje de Circuito Abierto	Voc (V)	47.9
Corriente de Cortocircuito	Isc (A)	18.25
Voltaje en el Punto Máximo	Vmp (V)	40.1
Corriente en el Punto Máximo	Imp (A)	17.23
Eficiencia del módulo	n%	22.2
STC: Irradiancia 1000 W/m ² , Temperatura de la celda: 25 °C, Masa de aire: 1.5		
Parámetros Eléctricos (NOCT)		
Potencia Máx.	Pmax (W)	526
Voltaje de Circuito Abierto	Voc (V)	45.4
Corriente de Cortocircuito	Isc (A)	14.71

Voltaje en el Punto Máximo	Vmp (V)	37.7
Corriente en el Punto Máximo	Imp (A)	13.96
NOCT: Irradiancia 800 W/m ² , Temperatura de ambiente 20 °C, Mada de aire: 1.5		
Parámetros Mecánicos		
Celda	132 (1/2x210mm)	
Dimensiones	2384*1303*33mm	
Peso	38.3 kg	
Junction Box	IP68, 3 diodos	

Nota: Elaboración propia

3.7. Sistema BESS

El sistema propuesto es un sistema pasivo de almacenamiento con tecnología de litio que se acoplará en varios gabinetes con protección IP54, los mismos que irán dispuestos sobre una losa de concreto con ductería interna para el llevado de los cables. Ellos están compuestos por baterías recargables de iones de litio baterías y electrónica de potencia avanzada que están cuidadosamente diseñados y construidos para adaptarse a nuestra solución propuesta.

Figura 3. 10

Módulo BESS de 573 kWh



Nota: Fabricante Risen SYL

Tabla 3. 14

Características Técnicas del BESS

Sistema de almacenamiento de energía	
Energía Nominal BOL	573 kWh
Potencia Nominal	500 kW
Tensión Nominal (DC)	1024 V
Tecnología de baterías	Ion Litio
Temp. de Operación	-20 °C a 55°C
Protección	IP54
Máxima Altitud de Trabajo	4000 msnm
Dimensiones	12mx2.5mx2.5m

Nota: Elaboración propia

El modelo comercial del sistema BESS seleccionado es de 500 kW / 573 kWh cuyas dimensiones de la solución contenerizada son de 12 m (largo) x 2,5 m (ancho) x 2,5 m (alto) del fabricante Rysen SYL.

3.8. Convertidor BESS DC-DC

Es un convertidor bidireccional DC-DC diseñado para operar en combinación con los inversores solares. Está diseñado para crear sistemas de hibridación (solar + baterías) acoplados en DC.

Presenta una tecnología avanzada de control de baterías, que garantiza la duración óptima del sistema de almacenamiento. La temperatura de las baterías puede ser monitoreado en todo momento, para asegurar funcionamiento adecuado.

La principal ventaja de un sistema de acoplamiento en DC es que requiere una menor regulación que para los sistemas de acoplamiento en AC, ya que no hay necesidad de preparar estudios eléctricos.

Los beneficios del sistema pueden maximizarse recapturando el exceso de energía solar debido al sobredimensionamiento de ratio entre la potencia DC instalada y la potencia de salida AC de cada planta solar.

Gracias al rango de tensión de baterías de un sistema de hibridación (solar + baterías) permite que el inversor comience a funcionar antes, ya que el umbral de la tensión mínima es más bajo. Como resultado, la generación solar puede maximizarse capturando esta energía a tensiones bajas.

Figura 3. 11

Convertidor DC-DC



Nota: Fabricante Ingeteam

Tabla 3. 15

Características Técnicas Convertidor DC-DC

Convertidor DC-DC	
Número de Entradas	12 entradas
Potencia máxima DC	600 kWp
Tensión máxima	600-1500 V

Corriente máxima DC	400 A
Tipo de Conexión	Conexión MC4
Eficiencia máxima	99.00%
Euroeficiencia	98.50%
Protecciones	
Descargadores de sobretensiones tipo 2.	
Fallos de aislamiento	
Ventilación forzada para el interior	

Nota: Elaboración propia

3.9. Inversores

Los inversores fotovoltaicos centrales ofrecen una mayor potencia en términos de densidad volumétrica y, gracias al empleo de componentes de alta calidad, logran un rendimiento óptimo. Incorporan una avanzada tarjeta de control que opera de manera más rápida, permitiendo un control más eficaz y sofisticado del inversor mediante un procesador de señales digitales de última generación. Estos inversores son capaces de gestionar huecos de tensión y presentan un menor consumo de energía gracias a una tarjeta de suministro de potencia más eficiente.

Figura 3. 12

Inversor Central



Nota: Fabricante Ingeteam

Tabla 3. 16

Características Técnicas del Inversor Central

Inversor	
Pot. campo FV recomendado	100 - 520 kWp
Potencia IP54 @30 °C	500 kVA
Tensión máxima DC	1.500 V
Tensión AC	480 V
Frecuencia	60 Hz
Temperatura de Funcionamiento	-20 °C a +57 °C
Grado de Protección	IP54 (IP56 con el kit atrapa-arenas)
Altitud máxima	4.500 m
Sistema de refrigeración	Ventilación forzada con control térmico

Nota: Elaboración propia

3.10. Centro de transformación

Un sistema eléctrico que transforma la energía proveniente de fuentes de alta y media tensión a una forma utilizable en sistemas de distribución, ya sea a baja o media tensión, en nuestro caso elevará la tensión de los inversores (480V) hacia 22.9 kV para conectarse al sistema eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho.

Tabla 3. 17

Características Técnicas Inversor Central

Centro de Transformación	
Potencia Nominal	500 KVA
Ventilación	Aire Natural
Tensión Nominal en BT	480 V
Número de fases	3
Grupo de conexión	Dyn5
Tensión Nominal en MT	22.9 kV
Clase aislamiento	24 kV
Clase de aislamiento	SF6

Nota: Elaboración propia

3.11. Distribución de la solución

El área seleccionada para la instalación del Sistema Solar Fotovoltaico, no tiene edificaciones colindantes que afecten la recepción de la irradiación de los paneles solares, por lo cual se procedería a la simulación energética sin inconveniente alguno, tampoco existe árboles que puedan producir sombras por lo cual no será necesario proponer ninguna medida para la eliminación de los mismos.

Lo que si se debe cuidar son los espacios de separación para el tránsito de personas y vehículos en el caso de operación, mantenimiento e inspección entre filas de paneles. Además, se tomará en cuenta que el arreglo de paneles debería quedar lo más cerca posible al punto de interconexión, para de esa forma evitar caídas de tensión mayores en los conductores por la elevada distancia.

Figura 3. 13

Ubicación propuesta para los inversores



Nota: Fabricante Ingeteam

Se requerirá de una base cimentada para la instalación de los componentes de fuerza del sistema: inversores y convertidores DC-DC.

La distancia del arreglo de paneles solares hacia los inversores será máxima de 100m considerando una caída de tensión del 2%. Se transportará con conductores solares de 4mm² a través del mismo marco de la estructura de paneles, fijándolos adecuadamente con cintas de sujeción. Para transportar la energía en alterna desde los inversores al centro de transformación se llevará en tubería enterrada.

3.12. Inclinación y separación óptimas

Para las estructuras metálicas de los paneles se tendrá que calcular el ángulo de inclinación y la separación óptima entre filas.

En un primer paso, se llevará a cabo el cálculo de la inclinación requerida para los paneles fotovoltaicos. Esta inclinación se determina mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * [\textit{latitud}]$$

Conforme a la información proporcionada en la Tabla 3.8, que presenta las coordenadas UTM de la ubicación propuesta del proyecto, se observa una latitud de 14.11 grados.

$$\beta = 3.7 + 0.69 * [14.11^\circ]$$

$$\beta = 13.43^\circ$$

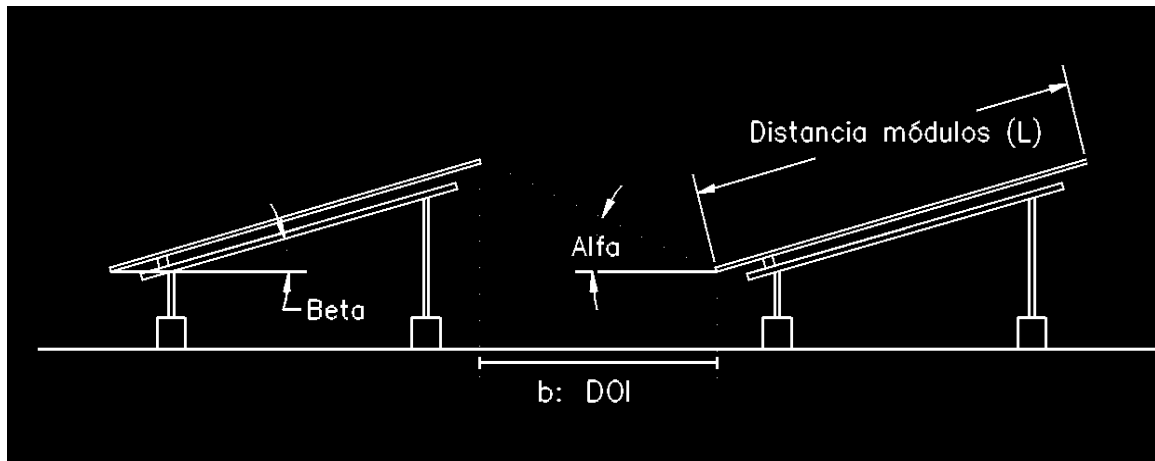
No obstante, según las directrices establecidas en la "Guía de Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD)", se especifica que se debe considerar un ángulo mínimo de 15 grados en orientación norte con el fin de garantizar la seguridad durante la instalación (Electricidad, 2007).

$$\beta = 15^\circ$$

Para el caso de la separación mínima necesaria se partirá por aquel día que proporciona la mayor sombra entre módulos, el solsticio de invierno, cuando el sol proyecta sombras más lejanas en los objetos.

Figura 3. 14

Distancia óptima inicial (DOI) para la separación entre filas



Nota: Elaboración propia

Por geometría se tiene que la distancia optima inicial (b) vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$DOI = L \times \frac{\text{sen } \beta}{\text{tg } \alpha}$$

Donde:

DOI: distancia inicial óptima de separación

β : Ángulo de inclinación de los módulos

α : Angulo de elevación solar en el sitio al mediodía del solsticio de invierno

L: Distancia que representa el ancho del arreglo de módulos (4.5m)

El valor de L se obtiene al considerar las estructuras del tipo 2V (dos módulos en vertical) para aplicaciones fotovoltaicas, que tienen un largo de 4.4m. El valor de α , es un valor obtenido de bases de datos solares, para nuestro caso, consultando dicho ángulo solar para Challhuahuacho para el 21 de junio se tiene como resultado, 52.4°. Por último, el valor β es de 15°.

$$DOI = 4.4 \times \frac{\text{sen } 15^\circ}{\text{tg } 52.4^\circ}$$

$$DOI = 0.877m$$

La separación obtenida es de 0.877 m sin embargo deberemos establecer una distancia mayor para que exista un paso adecuado en el mantenimiento de los paneles. Propondremos una separación de 2m.

CAPITULO IV

VALIDACIÓN DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

4.1. Introducción

En este capítulo, se detallarán los cálculos complementarios necesarios para la elección y diseño de todos los elementos que intervienen en la implementación del proyecto, de forma que se justifiquen los elementos seleccionados.

El proyecto consiste en una generación distribuida fotovoltaica conectado a red de 500 kWp de potencia pico, compuesto por 726 módulos fotovoltaicos de 690 Wp. Esta instalación será capaz de producir electricidad en corriente directa (DC) por medio de la captación de la energía proveniente de la luz del solar, para luego convertir esta electricidad en corriente alterna (AC) a través de un inversor central en 500 kW (480V) para posteriormente enviarlo a MT con un centro de transformación (22.9 KV), con el objetivo de alimentar las cargas de la red.

4.2. Evaluación económica

4.2.1. Gastos de capital (CAPEX)

Se calcula el costo de las partidas según el equipamiento obtenido en el diseño propuesto y utilizando cotizaciones actuales del mercado para establecer los precios.

Los gastos generales comprenden costos indirectos asociados a la ejecución de la obra. Estos precios no intervienen directamente en el proceso constructivo, pero brindan apoyo o complemento desde el lugar de la obra o instalaciones externas. Estos gastos, derivados de la actividad empresarial o de administración, para este caso consideraremos un 8% de los gastos ya calculados anteriormente.

4.2.2. Gastos de operación (OPEX)

El mantenimiento de una instalación fotovoltaica no resulta complicado debido a la inmovilidad de la instalación, lo que se traduce en costos operativos prácticamente inexistentes para el sistema de generación fotovoltaico. La inspección se basa en gran

medida en observaciones visuales, centrándose principalmente en la verificación de los siguientes aspectos:

- Inspeccionar el cableado, conexiones, placas y terminales.
- Verificar el buen estado de módulos, evitando roturas o infiltración de humedad en el vidrio.
- Revisar posibles daños en la estructura, especialmente por corrosión.
- Comprobar la caída de tensión entre los terminales de los reguladores.
- Revisar el funcionamiento de indicadores y alarmas del inversor.
- Comprobación del buen estado de los sistemas de seguridad como puesta a tierra, interruptores y fusibles.
- Revisar el EMS del sistema BESS

tabla 4. 1

CAPEX y OPEX del sistema propuesto

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	TC UNI	3.7 SUBTOTAL
COMPONENTES PRINCIPALES				
Módulos fotovoltaicos 690Wp		726	\$ 100.00	\$ 72,600.00
Inversor Central 500 KVA - 30°C		1	\$ 34,008.84	\$ 34,008.84
Centro de Transformación 0.48/22.9 KV 500 KVA		1	\$ 92,956.32	\$ 92,956.32
Convertidor DC-DC 500 KW		1	\$ 33,128.11	\$ 33,128.11
Sistema de control		1	\$ 49,176.60	\$ 49,176.60
Sistema BESS 574 kWh		1	\$ 121,816.41	\$ 121,816.41
				\$ 403,686.27
COMPONENTES SECUNDARIOS				
Gastos administrativos		Gb		\$ 155,687.15
Transporte, montaje e instalación del SFV + BESS, interconexión a red eléctrica		Gb		\$ 291,913.40
Comisionamiento en BT y MT		Gb		\$ 145,956.70
Materiales eléctricos (Cableado, protecciones AC y DC, etc)		Gb		\$ 350,296.08
			VENTA (CAPEX)	\$ 1,347,539.59
O&M SISTEMA FOTOVOLTAICO + BESS				
Mantenimiento anual del proyecto			\$ 26,950.79	
COSTO ANUAL (OPEX)			\$ 26,950.79	

Nota: Valores de Mercado 2023. Elaboración propia

El CAPEX que demanda el proyecto, aparte de impuestos, es de: USD 1 347,539.59 dicho valor corresponde a costos encontrados en el mercado peruano en el 2023.

Consideraremos gastos anuales del OPEX de un 2% del CAPEX (valor típico). Teniendo que: El OPEX que demandará el proyecto anualmente será de: USD 26,950.79/año.

4.3. Evaluación de la viabilidad económica

En esta sección, se evaluará la viabilidad económica de implementar la generación distribuida. Se expondrán detalladamente los ingresos y gastos asociados con la ejecución del proyecto. Después de la determinación de estos valores, se llevará a cabo un análisis de flujo de efectivo que considerará factores como el costo de instalación de la planta de generación fotovoltaica, los gastos de mantenimiento y los diversos ingresos derivados de la venta de la energía generada.

4.3.1. Egresos

El proyecto implica una inversión total de USD 1 347,539.59 (Un millón trescientos cuarenta y siete quinientos treinta y nueve 59/100 dólares). Dado este costo global, se ha decidido establecer un presupuesto anual para Operación y Mantenimiento equivalente al 2% de la inversión inicial.

$$OyM = CAPEX * 2\%$$

$$OyM = \$ 1\,347,539.59 * \frac{0.2}{100}$$

$$OyM = \$ 26\,950.79$$

Estos dos montos, que corresponden a los gastos únicos asociados con la elaboración del flujo de caja, serán representados como los egresos exclusivos en la sección posterior

4.3.2. Ingresos

Dado que la "Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la gerencia eléctrica - Ley 28832" no aborda ninguna normativa específica respecto a la comercialización de energía, se propone que los diversos ingresos se estructuren en concordancia con la generación mediante Recursos Energéticos Renovables (RER), que cuenta con regulaciones establecidas.

4.4. Evaluación energética

Para el sistema se empleó el software especializado para instalaciones fotovoltaicas PVWATTS, introduciendo los datos analizados para el sistema.

Las pérdidas estandarizadas para el análisis (20%, el equivalente a un PR de 0.8) van de acuerdo al siguiente detalle:

Figura 4. 1

Pérdidas y parámetros del sistema

Soiling (%):	<input type="text" value="3.5"/>	
Shading (%):	<input type="text" value="3"/>	
Snow (%):	<input type="text" value="0"/>	
Mismatch (%):	<input type="text" value="2"/>	
Wiring (%):	<input type="text" value="3"/>	
Connections (%):	<input type="text" value="4"/>	
Light-Induced Degradation (%):	<input type="text" value="2"/>	
Nameplate Rating (%):	<input type="text" value="1.5"/>	
Age (%):	<input type="text" value="0"/>	
Availability (%):	<input type="text" value="3"/>	

Estimated System Losses:

20.02%

DC System Size (kW):	<input type="text" value="500"/>
Module Type:	<input type="text" value="Standard"/>
Array Type:	<input type="text" value="Fixed (open rack)"/>
System Losses (%):	<input type="text" value="20.02"/>
Tilt (deg):	<input type="text" value="15"/>
Azimuth (deg):	<input type="text" value="0"/>

Nota: PVWatts. Elaboración propia

Figura 4. 2

Generación mensual de energía solar (AC Energy)

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)
January	5.21	43,671
February	5.04	38,322
March	5.08	42,571
April	5.89	48,092
May	6.17	52,438
June	6.15	50,920
July	6.32	54,330
August	6.64	55,950
September	6.82	55,241
October	6.52	54,298
November	6.08	48,951
December	5.42	45,213
Annual	5.95	589,997

Nota: PVWatts. Elaboración propia

La generación diaria en febrero será de:

$$Pfv (kWh) = \frac{38,322 \text{ kWh}}{28 \text{ días}}$$

$$Pfv (kWh) = 1,368.64 \text{ kWh}$$

4.5. Evaluación ambiental

La generación fotovoltaica está sustituyendo la producción de unidades de energía eléctrica no generadas por la red interconectada nacional. Por lo tanto, al utilizar tecnologías limpias, contribuimos a evitar las emisiones de CO2 contaminante a la atmosfera. Para cuantificar los beneficios ambientales, comenzamos de la siguiente información:

Según la figura 4.2, en un año mi sistema FV generará:

589 997 kWh/año

En 25 años dicho valor, considerando la degradación de 0.55% anual según ficha técnica de fabricante, acumula un total de generación energética:

Generacion total

$$= \frac{(kWh \text{ año } 1)(N^{\circ} \text{ de años}) - (Degradacion)(kWh \text{ año } 1)(N^{\circ} \text{ de años})(N^{\circ} \text{ años} - 1)}{2}$$

$$Generacion \text{ Total} = 589 \, 997(25) - 0.55\%(589 \, 997) \left(\frac{25(25 - 1)}{2} \right)$$

$$Generacion \text{ total} = 13 \, 776.43 \text{ MWh}$$

Tabla 4. 2

Precio de venta de tecnología solar IV, subasta RER

Tecnología	Postor	Central Fotovoltaica	Potencia	Precio Ofertado
			MW	US\$/MWh
Solar	ENEL GREEN POWER PERU S.A.	Central Solar Rubi 4	112.77	48.01
Solar	ENEL GREEN POWER PERU S.A.	Central Solar Rubi 5	102.20	48.02
Solar	ENEL GREEN POWER PERU S.A.	Central Solar Rubi 6	91.62	48.49
Solar	ENESEUR S.A.	Intipampa	40.00	48.50
Solar	ENESEUR S.A.	ENE San Jose 5	120.00	48.50
Solar	ENEL GREEN POWER PERU S.A.	Central Solar Rubi 7	81.05	49.49

Nota: Osinergmin-GRT, Elaboración propia

Para realizar el cálculo de ingreso por venta de energía, se optó por el uso del menor precio de venta de la última subasta realiza, ya que es el precio de venta que actualmente se paga. Por lo tanto:

$$IG_{FV} = P_{VFV} * E$$

Donde:

IGFV : Ingreso monetario por venta de energía del sistema fotovoltaico (US\$)

PVFV : Precio de venta de energía producida (US\$/MWh)

E : Energía General anual (MWh/Año)

$$IG_{FV} = \frac{48.01US\$}{MWh} * 589.997 \text{ MWh/año}$$

$$IG_{FV} = 28\,325.76\text{US\$}$$

- Ingresos por Bonos de Carbono

Para determinar las emisiones de CO₂ que se han evitado, se empleara el factor de conversión: 0.452 kg CO₂/kWh. Este factor se obtiene de la base de datos que tiene el FONAM (Fondo Nacional del Ambiente). Bajo este valor, se calculará el total acumulado de emisiones de CO₂ evitada:

$$CO_2\text{mitigado} = \text{Generacion total (MWh)} * \text{Factor de conversion} \left(\frac{kgCO_2}{MWh}\right)$$

$$CO_2\text{mitigado} = 13\,776.43\text{ MWh} * \frac{452\text{ kg CO}_2}{1\text{ MWh}} * \frac{1\text{Ton. CO}_2}{1000\text{kg CO}_2}$$

$$CO_2\text{mitigado} = 6\,226.95\text{ tCO}_2e$$

Como resultado del proyecto instalado se ahorra un consumo energético de 589.997 MWh al año. En términos de las emisiones de CO₂, este proyecto contribuirá a evitar la emisión de 6 226.95 toneladas de CO₂ equivalente en 25 años de vida útil. Durante este periodo, el proyecto beneficiará a nuestro planeta Tierra, es decir el proyecto demuestra ser ambientalmente sostenible.

El ingreso por bonos de carbono es de 53.55 € por cada tonelada de CO₂e (SENDECO, 2022).

$$IB = Tn_{CO_2} * C_{CO_2}$$

Donde:

IB : Ingreso monetario por bonos de carbono (US\$)

Tn_{CO_2} : Cantidad de CO₂ (Tn)

C_{CO_2} : Precios de venta por tonelada de CO₂ (€)

$$IB = 6\,226.95 * 53.55\text{€}$$

$$IB = 333\,452.98\text{ €}$$

$$IB = 360\,129.21\text{ US\$}$$

4.6. Indicadores Económicos

Considerando los resultados de los valores obtenidos de egresos e ingresos, se elabora el flujo de caja en la tabla 4.3. Es importante destacar que se establecido una vida útil del sistema de 20 años, en este análisis se realizó el flujo de caja sin la consideración de los bonos de carbono.

Tabla 4. 3

Evaluación Económica sin bonos de carbono

FLUJO DE CAJA													
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	17	18	19	20
EGRESOS													
Planta Fotovoltaica	-\$1,347,539.59												
OYM		-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79
sub total	-\$1,347,539.59	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79
INGRESOS													
Produccion		\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76
Bonos de Carbono		\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Sub total		\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76
BENEFICIOS NETOS	-\$1,347,539.59	-\$1,346,164.62	-\$1,344,789.65	-\$1,343,414.68	-\$1,342,039.71	-\$1,340,664.74	-\$1,339,289.77	-\$1,337,914.80	-\$1,336,539.83	-\$1,324,165.10	-\$1,322,790.13	-\$1,321,415.16	-\$1,320,040.19
VAN	-\$11,340,811.27												

Nota: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en los parámetros de análisis de flujo de caja, sin la consideración de los ingresos por bonos de carbono, los resultados del VAN nos indica que el proyecto no alcanza nivel de recuperación rentable. Sin embargo, existe rentabilidad social significativa, al implementar la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290, se considerarán diversos aspectos económicos, ambientales y sociales, los cuales son:

- Contribuirá en gran manera en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo de esta manera a la mitigación del cambio climático.
- La implementación de la generación distribuida fotovoltaica en Challhuahuacho mejorará la calidad del servicio eléctrico de la comunidad, reduciendo las interrupciones ocasionadas por diversos, así mismo, contribuyendo a la estabilidad y seguridad en el servicio eléctrico.
- La instalación y el mantenimiento de la generación distribuida fotovoltaica, generará empleo a nivel local, ofreciendo oportunidades de trabajo, beneficiando directamente a la comunidad de Challhuahuacho.
- De igual forma, la generación distribuida fotovoltaica puede brindar acceso a las comunidades sin servicios eléctricos, mejorando así la calidad de vida y permitiendo el desarrollo de actividades económicas.
- La generación distribuida fotovoltaica permitirá a los consumidores reducir las tarifas eléctricas.
- La implantación de GD fotovoltaicos puede contribuir en la educación y sensibilización sobre de la importancia de las energías renovables y de esta forma promover la educación en temas de sostenibilidad.

Para lograr una rentabilidad social en el proyecto de generación distribuida fotovoltaica en la comunidad de Challhuahuacho, se plantea trabajar con el gobierno local y con las empresas mineras para optimizar los beneficios sociales.

Considerando los resultados de los valores obtenidos de egresos e ingresos, se elabora el flujo de caja en la tabla 4.4. Es importante destacar que se establecido una vida útil del sistema de 20 años.

Tabla 4. 4

Evaluación Económica con bonos de carbono

FLUJO DE CAJA													
AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	17	18	19	20
EGRESOS													
Planta Fotovoltaica	-\$1,347,539.59												
OYM		-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79
sub total	-\$1,347,539.59	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79	-\$26,950.79
INGRESOS													
Produccion		\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76	\$28,325.76
Bonos de Carbono		\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21	\$360,129.21
Sub total		\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97	\$388,454.97
BENEFICIOS NETOS	-\$1,347,539.59	-\$986,035.41	-\$624,531.23	-\$263,027.05	\$98,477.13	\$459,981.31	\$821,485.49	\$1,182,989.67	\$1,544,493.85	\$4,798,031.47	\$5,159,535.65	\$5,521,039.83	\$5,882,544.01
YAN	\$7,543,288.79												
TIR	25.62%												

Nota: Elaboración propia

Empleando una tasa de interés del 12%, la cual se sitúa entre los niveles más elevados según las pautas de la Superintendencia de Banca y Seguro (SBS), se llevaron a cabo los cálculos de los indicadores financieros como son: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la Relación Beneficio-Costo (B/C). Estos valores fueron obtenidos mediante el uso del software Microsoft Excel.

El cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) implica determinar la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) sea igual a cero. Esta medida refleja la rentabilidad del proyecto, empleando el interés del 12 % tenemos un VAN de US\$ 7 543,288.79, un TIR del 25.62% y una relación de beneficio costo (B/C) de 2.06 con los resultados de estos indicadores, se determina la viabilidad económica del proyecto.

4.7. Beneficios técnicos

Uno de los beneficios clave de un sistema fotovoltaico es su capacidad para generar potencia reactiva. El inversor tiene la capacidad de inyectar tanto potencia reactiva capacitiva como inductiva en la red, según el factor de potencia requerido. En nuestro caso, el sistema tiene un factor de potencia de 0.8, lo que significa que puede inyectar hasta 300 kVAR de potencia capacitiva o inductiva, incluso en períodos sin radiación solar, ya que extrae la potencia del sistema BESS. Esto permite utilizar el sistema fotovoltaico para inyectar potencia reactiva y mejorar el factor de potencia sin necesidad de gastos adicionales, como la instalación de un banco de condensadores.

En lo que respecta al aumento de eficiencia, al contar con un sistema de generación on - situ, se minimizan las pérdidas de transmisión a nivel general en comparación con el consumo de electricidad proveniente de una central hidroeléctrica.

Los inversores generan corriente alterna (AC) de alta calidad, con bajos niveles de armónicos, lo cual es beneficioso desde una perspectiva técnica para el sistema eléctrico.

4.8.2. Diagrama del S.E. Llusco (LL-02) al sistema proyectado

Figura 4.4

Diagrama LL-02 al sistema proyectado



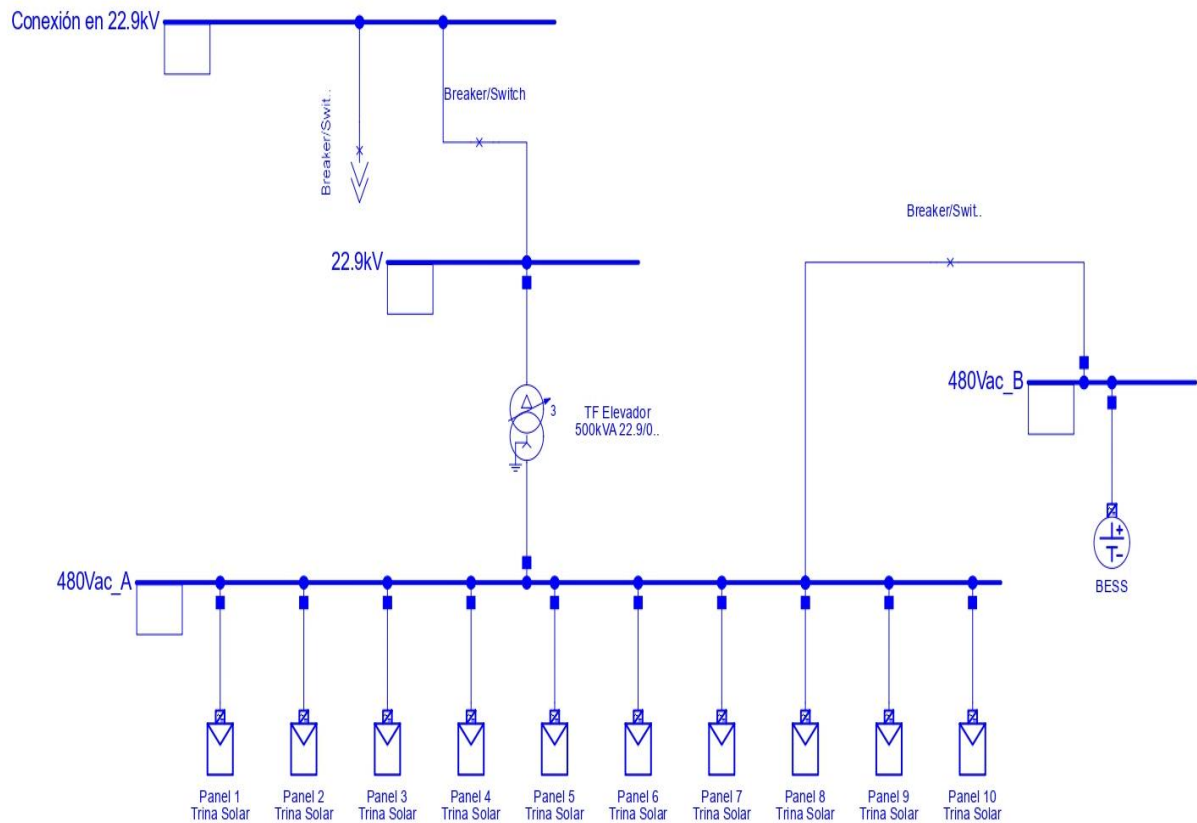
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.4 se observa el recorrido de la línea LL-02 desde la S.E. de Llusco a la red NMT: 11290 en 22.9kV.

4.8.3. Propuesta de Generación fotovoltaica

Figura 4.5

Diagrama unifilar del Sistema fotovoltaico conectado a la red NMT: 11290



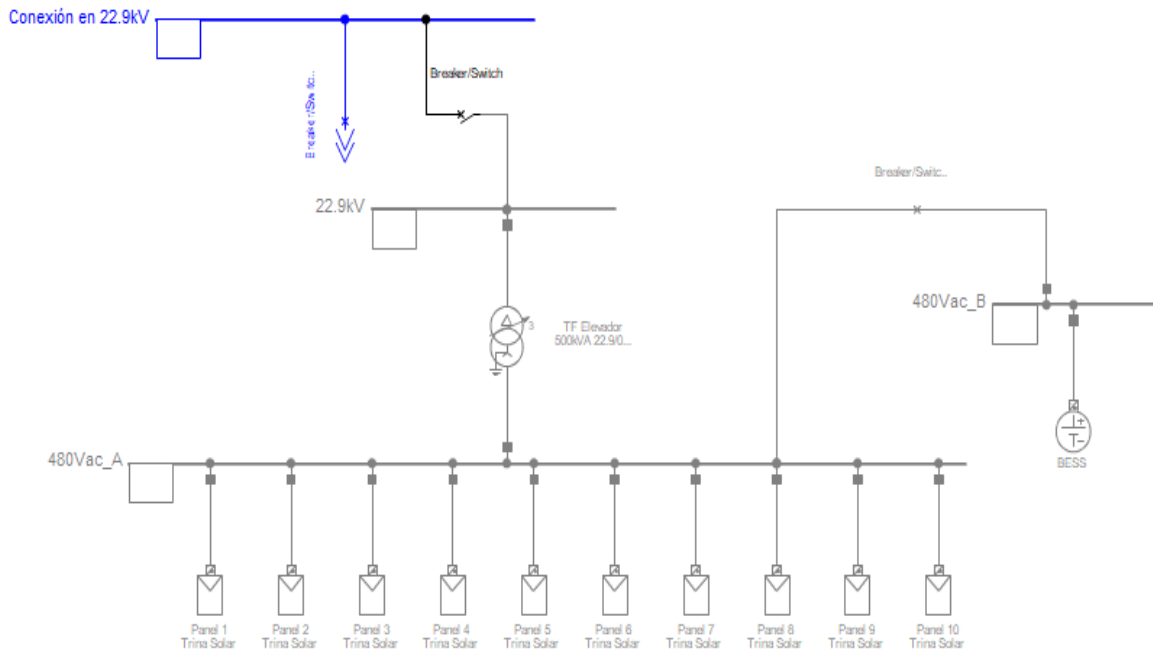
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.5, muestra el diagrama unifilar del Sistema Fotovoltáico conectado a la red NMT: 11290. El sistema incluye un transformador elevador, paneles solares, inversores y la integración del sistema de batería BESS.

4.8.4. Sin conexión de la generación distribuida fotovoltaica a NMT: 11290

Figura 4. 6

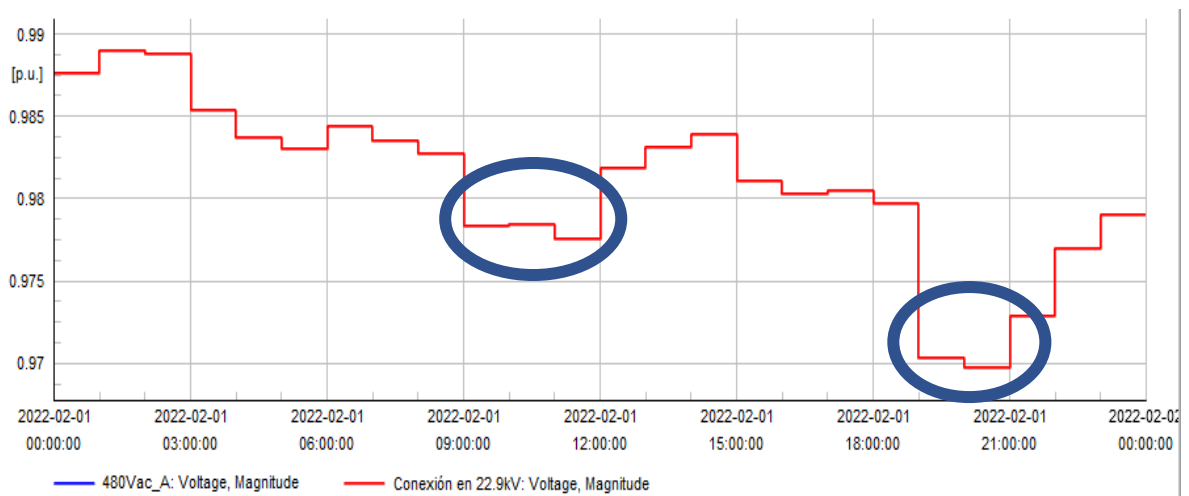
Flujo de potencia sin conexión del sistema fotovoltaico



Nota: DigSILENT elaboración propia

Figura 4. 7

Comportamiento del nivel de tensión del alimentador de red NMT:11290 en un día.

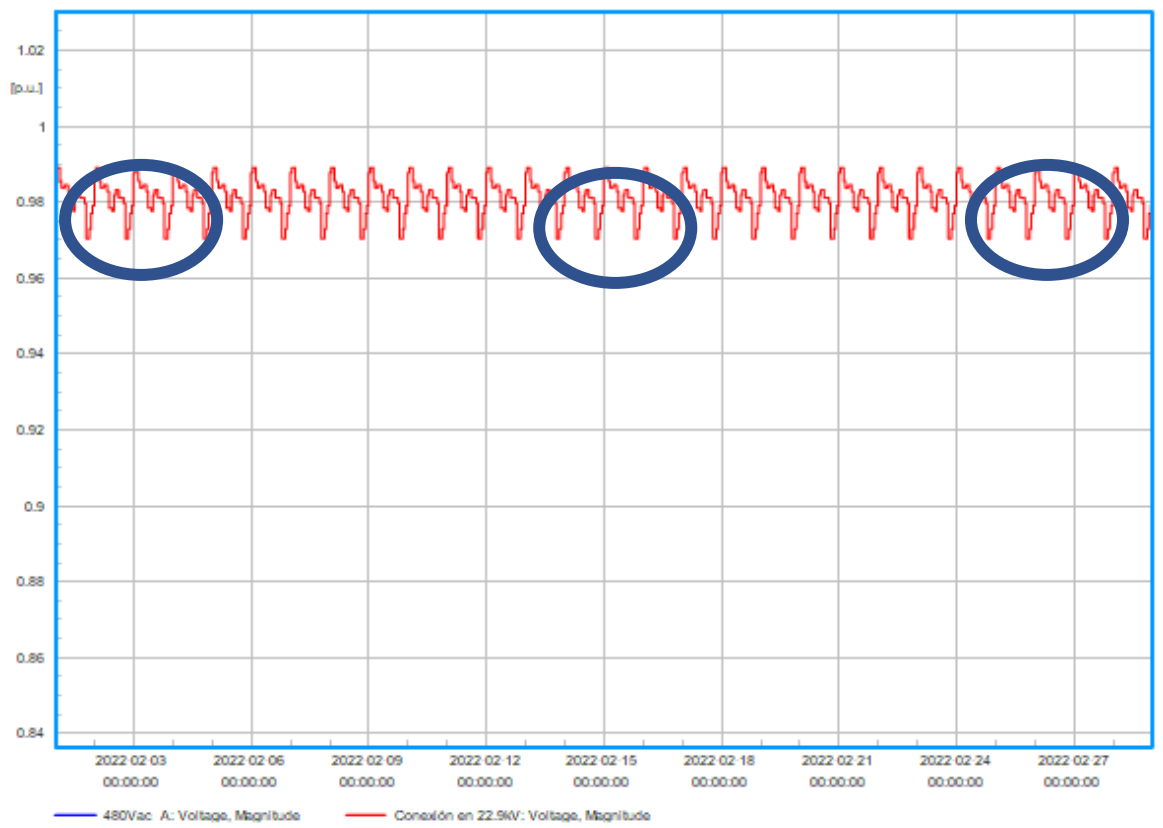


Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.7 muestra el comportamiento de la variación en los niveles de tensión en pu. a lo largo de un período de 24 horas. Se observa en el gráfico hay descensos notables durante las horas comprendidas entre las 9:00 y las 12:00hrs. Además, se destaca otro valor crítico que disminuye durante las horas puntas, teniendo una mayor afectación entre las 19:00 y las 21:00 hrs., tal como se evidencia en la gráfica.

Figura 4. 8

Comportamiento del nivel de tensión del alimentador de red NMT:11290 en un mes.

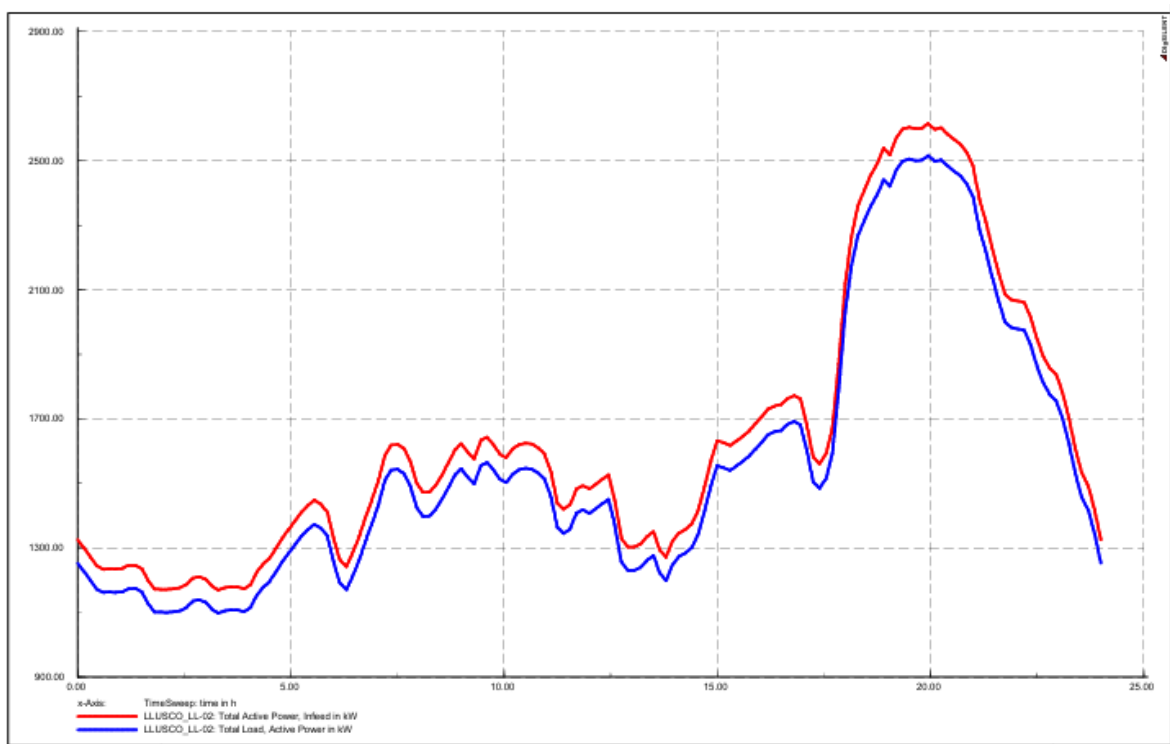


Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.8 muestra el comportamiento de la variación en los niveles de tensión a lo largo de un mes. Similar al gráfico anterior, se destaca que los valores de variación son más críticos durante las horas pico que son entre las 9:00 y las 12:00 hrs., así como entre las 19:00 y las 21:00 horas. Estos periodos representan los valores más críticos en la variación de los niveles de tensión.

Figura 4.9

Curva de generación sin conexión del sistema fotovoltaico



Nota: DigSILENT elaboración propia

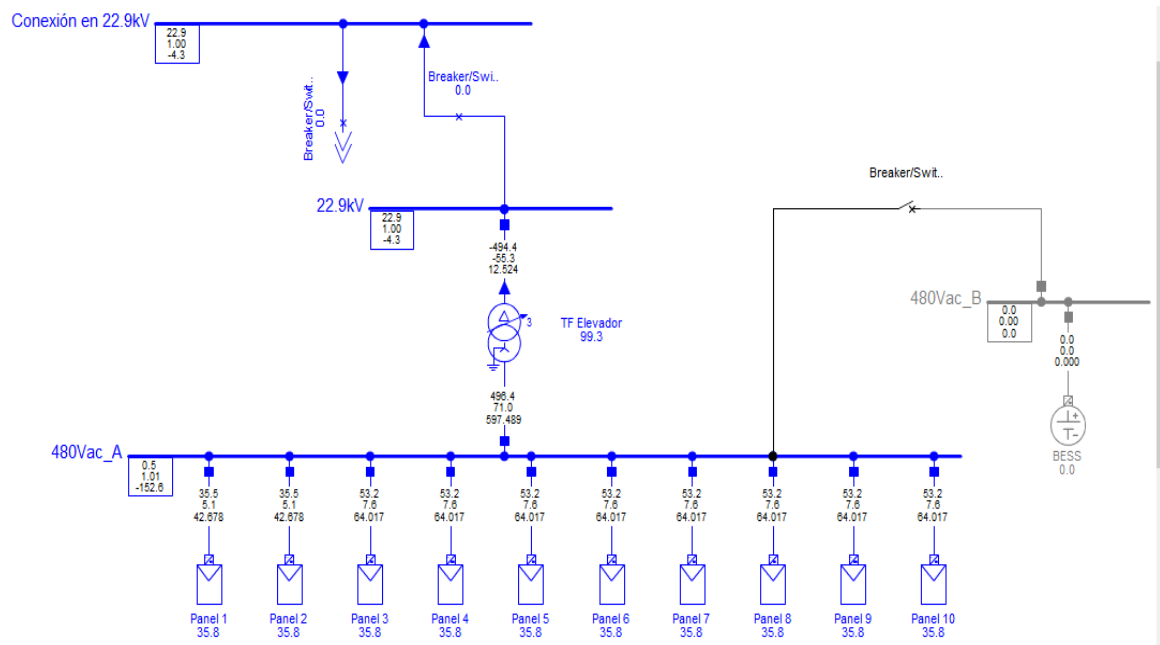
En la Figura 4.9, se presenta la proyección de demanda para un día típico en la curva de generación no conectada de energía fotovoltaica. La curva roja representa la potencia activa total de la línea, que incluye la carga y las pérdidas. Por otro lado, la curva azul muestra la carga total, abarcando todas las cargas conectadas sin considerar las pérdidas. La disparidad entre ambas curvas refleja las pérdidas presentes en la línea.

Para una comprensión más clara, es crucial destacar que la diferencia entre las curvas roja y azul se atribuye a las pérdidas en la línea. Estas pérdidas juegan un papel significativo en la eficiencia del sistema y su capacidad para satisfacer la demanda de manera óptima. Por lo tanto, la gestión efectiva de estas pérdidas se convierte en un aspecto clave para mejorar la eficiencia general del sistema de generación fotovoltaica y garantizar la calidad de servicio eléctrico.

4.8.5. Con conexión de la generación distribuida fotovoltaica a red NMT: 11290

Figura 4.10

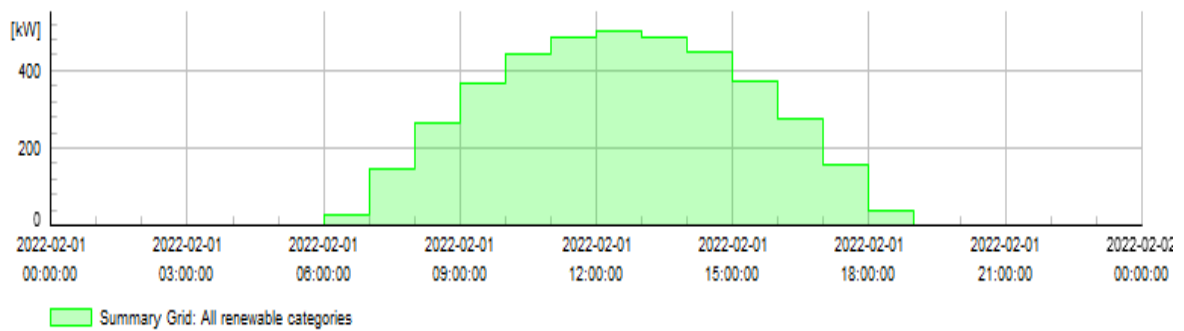
Flujo de potencia con conexión del sistema fotovoltaico



Nota: DigSILENT elaboración propia

Figura 4.11

Curva de generación del sistema fotovoltaico



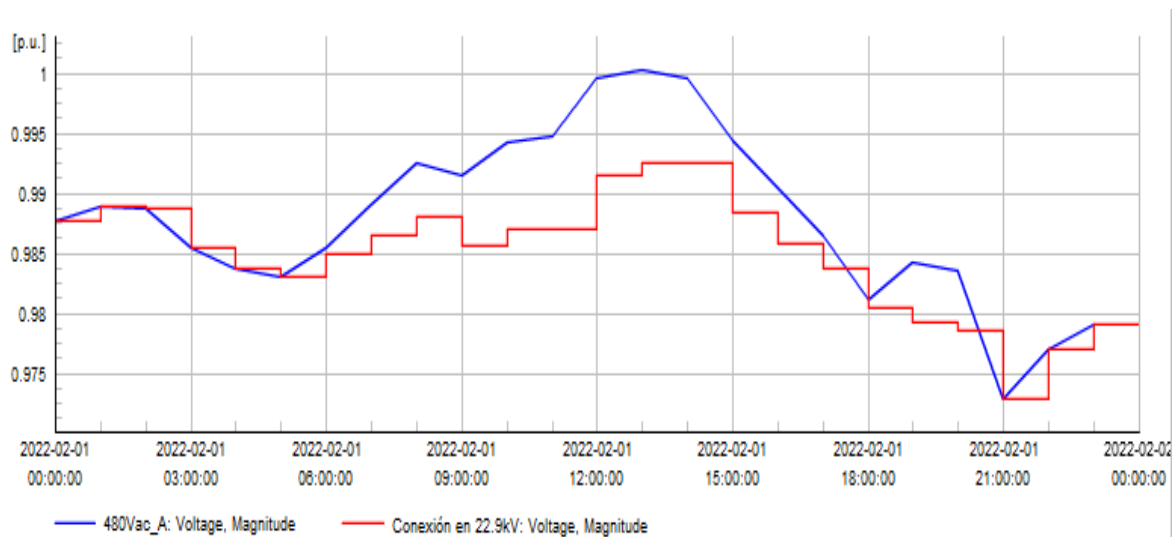
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la Figura 4.11, se presenta la curva de generación de paneles fotovoltaicos a lo largo de un día, desde las 6:00 hasta las 18:00 hrs. Esta curva representa la potencia generada durante ese período diario.

Esta representación gráfica permite visualizar de manera clara y detallada cómo varía la generación de energía a lo largo del día, comenzando desde las primeras horas de la mañana hasta la tarde. La información proporcionada ofrece una comprensión completa de la dinámica de generación durante el intervalo de tiempo mencionado.

Figura 4. 12

Nivel de Tensión con conexión de generación fotovoltaica del sistema



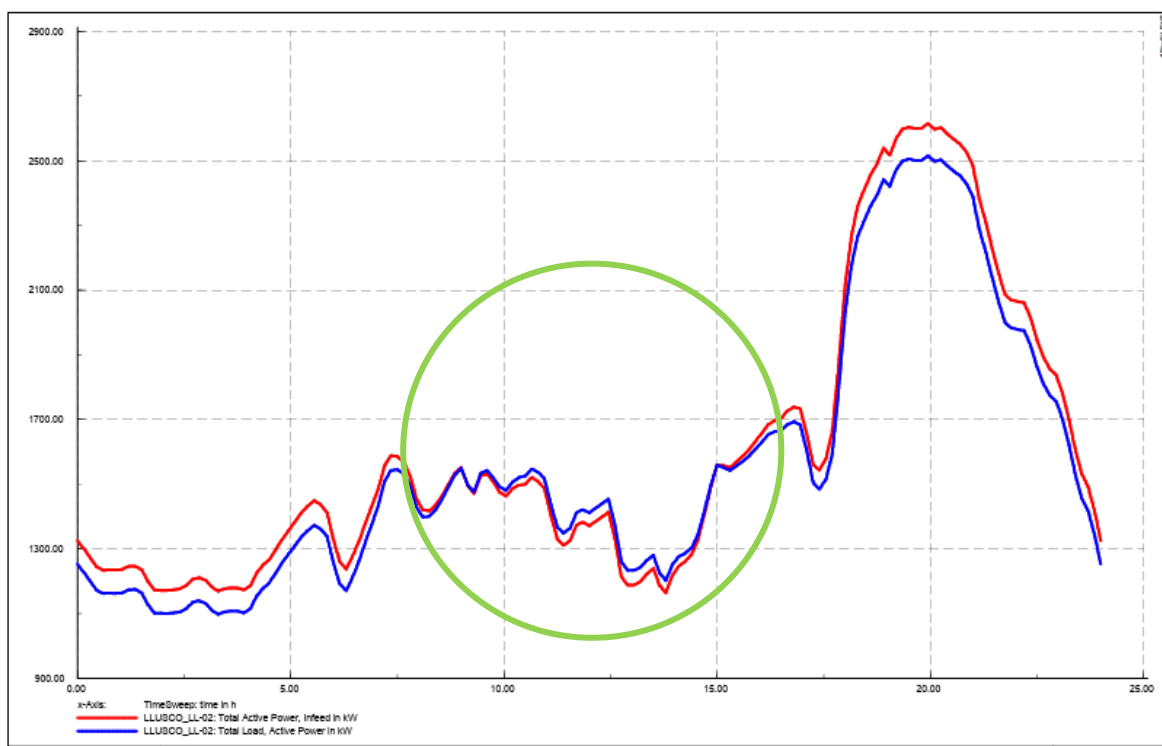
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la Figura 4.12, se aprecia que, al integrar el sistema fotovoltaico, se produce una mejora significativa en el nivel de tensión. Este fenómeno contribuye a equilibrar de manera efectiva el nivel de tensión durante las horas en las que la generación fotovoltaica está activa.

La integración del sistema fotovoltaico influye de manera positiva en la estabilidad del sistema eléctrico al ofrecer un ajuste apropiado en los niveles de tensión. Esta optimización es especialmente evidente durante las horas en las que la generación fotovoltaica está activa. La habilidad del sistema fotovoltaico para preservar niveles de tensión más estables y equilibrados constituye un beneficio considerable para la confiabilidad y eficacia global de la red eléctrica.

Figura 4.13

Curva de generación con conexión de generación fotovoltaica



Nota: DigSILENT elaboración propia

En la Figura 4.13, al incorporar la generación fotovoltaica, se evidencia una notable reducción de pérdidas en la línea. Se observa un incremento en la potencia activa, sin la presencia de pérdidas en la línea, lo cual indica un efecto positivo de la generación fotovoltaica en la eficiencia del sistema.

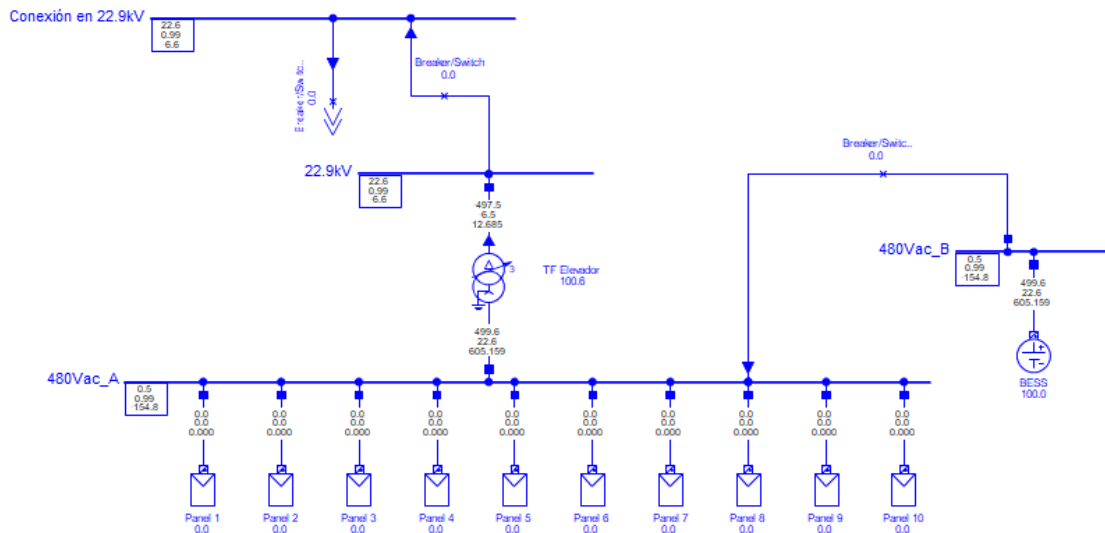
Es relevante destacar que la curva azul, que representa la potencia activa de la carga, supera a la curva roja. Este fenómeno indica que los paneles fotovoltaicos están compensando no solo las pérdidas en la línea, sino también la potencia suministrada por el alimentador. Este equilibrio positivo se mantiene hasta cierto horario, momento en el cual la generación fotovoltaica cesa.

Este comportamiento resalta la capacidad de los paneles fotovoltaicos para mitigar las pérdidas y contribuir de manera efectiva a satisfacer la demanda de potencia, respaldando la estabilidad del sistema y mejorando la calidad del servicio eléctrico.

4.8.6. Con conexión de baterías BESS a red NMT: 11290

Figura 4. 14

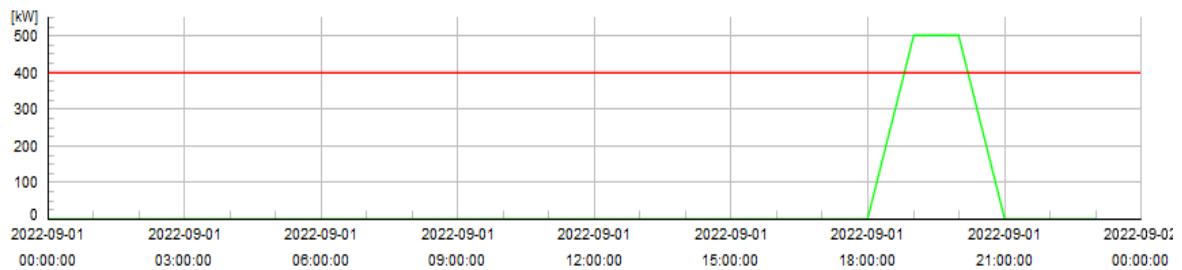
Flujo de potencia con conexión de batería BESS



Nota: DigSILENT elaboración propia

Figura 4. 15

Curva de generación con conexión de batería BESS

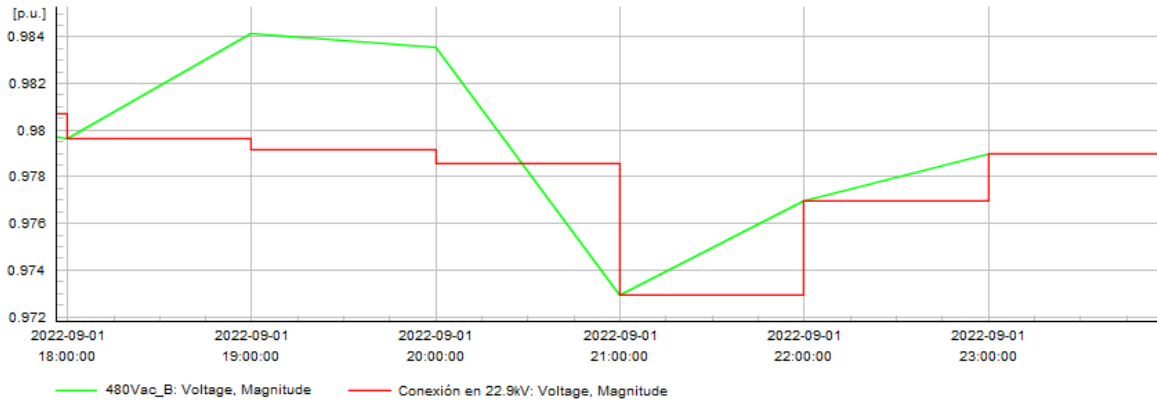


Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.15, se muestra el gráfico que representa la curva de generación mediante la conexión de baterías BESS a la red NMT:11290 durante el periodo de 18:00 a 21:00 horas. En este periodo, se observa una generación de 500 kW que se activara una vez que los paneles solares dejen de generar energía por la puesta del sol.

Figura 4. 16

Nivel de Tensión con conexión de batería BESS del sistema



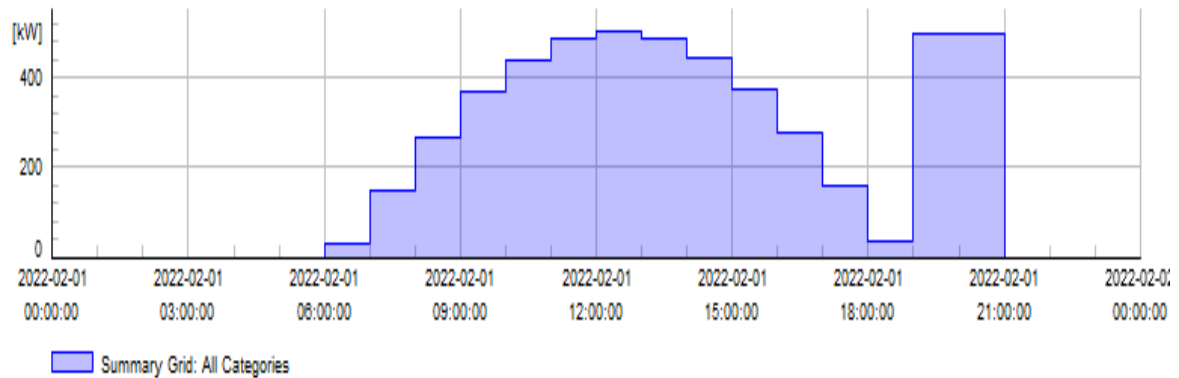
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la Figura 4.16, se muestra el comportamiento del nivel tensión en (p.u) al incorporar baterías BESS en la red NMT:11290. La curva roja representa el comportamiento de la tensión en la red a 22.9 kV, mientras que la curva verde muestra el nivel de tensión con la conexión de las baterías.

Es evidente que la incorporación de las baterías conlleva una mejora notable a lo largo del tiempo de incorporación. Es importante destacar que, a pesar de la incorporación de las baterías, en el punto más bajo no se aprecia una variación de la tensión, indicando así que el sistema mantiene su estabilidad y permanece dentro de los márgenes establecidos. En resumen, con la incorporación de las baterías BEES tiene un impacto positivo en el nivel de tensión de la red NMT:11290, mejorando su comportamiento sin comprometer la estabilidad del sistema en su conjunto.

Figura 4. 17

Curva de generación con conexión de sistema fotovoltaico y batería BESS



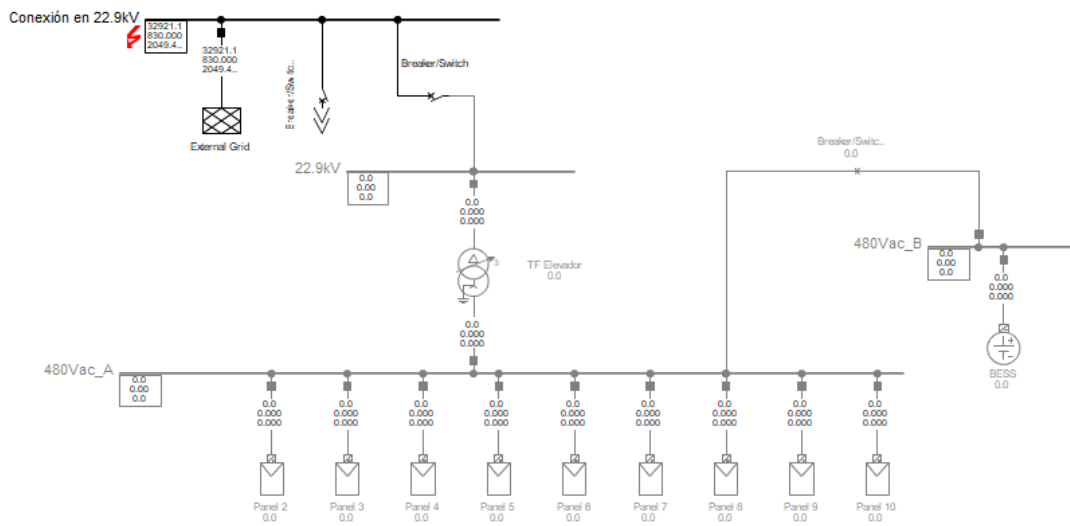
Nota: DigSILENT elaboración propia

4.8.7. Análisis de corriente de cortocircuito

Se realiza el estudio de cortocircuito trifásico en la barra “Conexión en 22.9 kV”, para ver cuánto es la contribución a la corriente de cortocircuito cuando se conectan la generación distribuida fotovoltaica de 500 kW.

Figura 4. 18

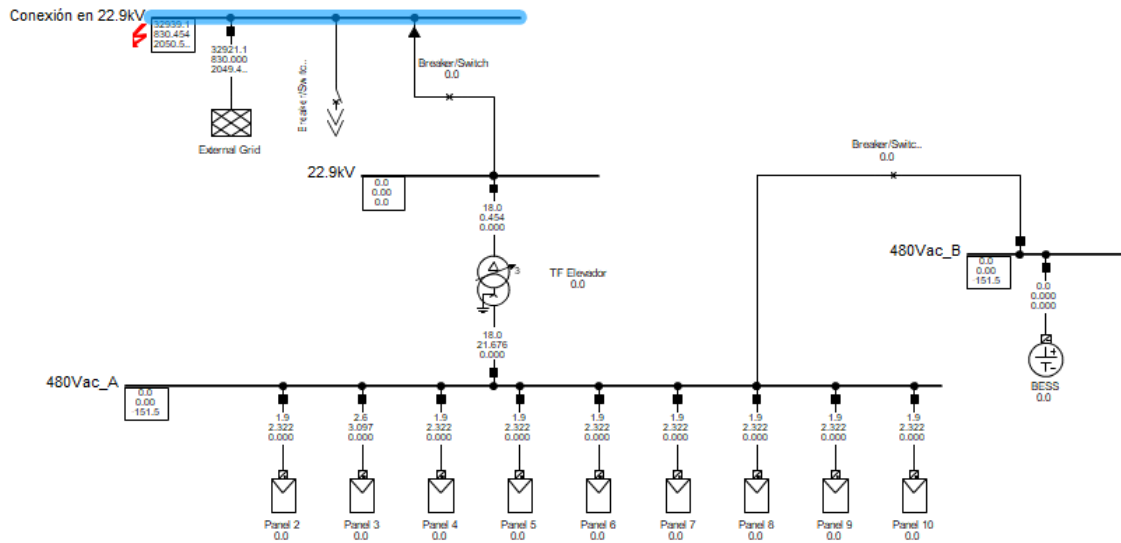
Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” sin conexión del GDF 500kW



Nota: DigSILENT elaboración propia

Figura 4. 19

Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” con conexión del GDF 500kW



Nota: DigSILENT elaboración propia

Tabla 4. 5

Corriente de cortocircuito

Corriente de cortocircuito trifásico (KA)	Barra “Conexión en 22.9 kV”
Sin GD fotovoltaico	0.830 kA
Con GD fotovoltaico	0.830 kA

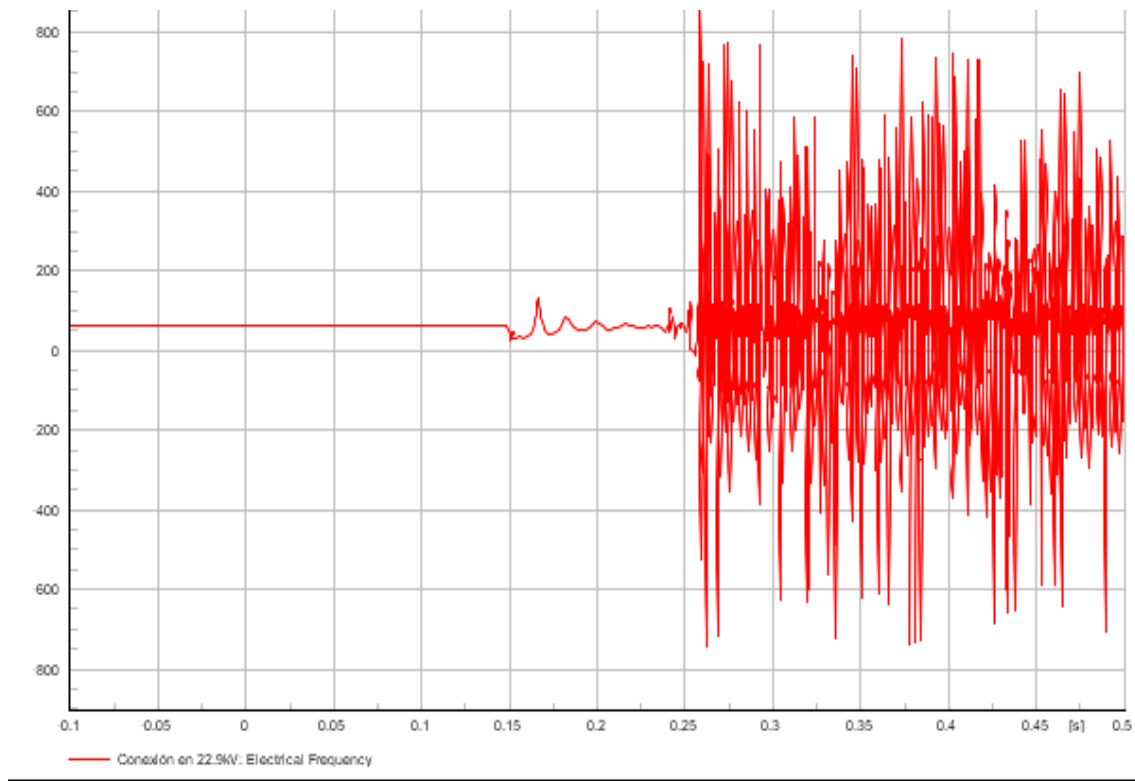
Nota: DigSILENT elaboración propia

En la tabla 4.5, se observa que la incorporación de la generación distribuida fotovoltaica de 500 kW no va a contribuir al incremento de la corriente de cortocircuito en la barra “Conexión en 22.9 kV”. Esto se debe a la presencia de los inversores, los cuales, por si mismos mitigan las corrientes de cortocircuito. En resumen, la presencia de inversores en el sistema mitiga el impacto de la generación distribuida fotovoltaica en el aumento de la corriente de cortocircuito.

Se simula un evento de cortocircuito trifásico en la barra “Conexión en 22.9 kV”, con una duración total de 150 ms y un tiempo de despeje de 250 ms, es decir la falla dura 100 ms.

Figura 4. 20

Falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV” con conexión del GDF 500kW

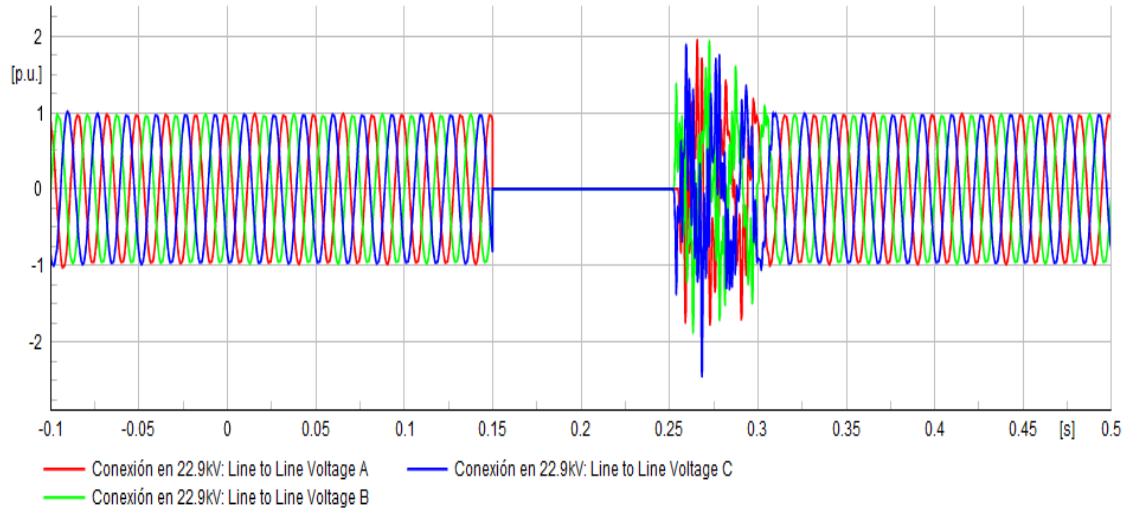


Nota: DigSILENT elaboración propia

En la figura 4.20 se observa, que la frecuencia del sistema se mantiene constante en 60 Hz. No obstante, en respuesta a una falla, se observa una pequeña variación en la frecuencia a los 150 ms, después de despejarse la falla, se registra un incremento en la variación de la frecuencia, creando un periodo de inestabilidad temporal de 1s. Sin embargo, la frecuencia del sistema se logra estabilizarse, volviendo a su valor normal. Este patrón de cambios en la frecuencia ofrece información sobre la respuesta dinámica del sistema ante eventos de falla y su capacidad para restaurar la estabilidad del sistema.

Figura 4. 21

Caída de tensión a cero cuando ocurre una falla trifásica en la barra “Conexión en 22.9 kV”

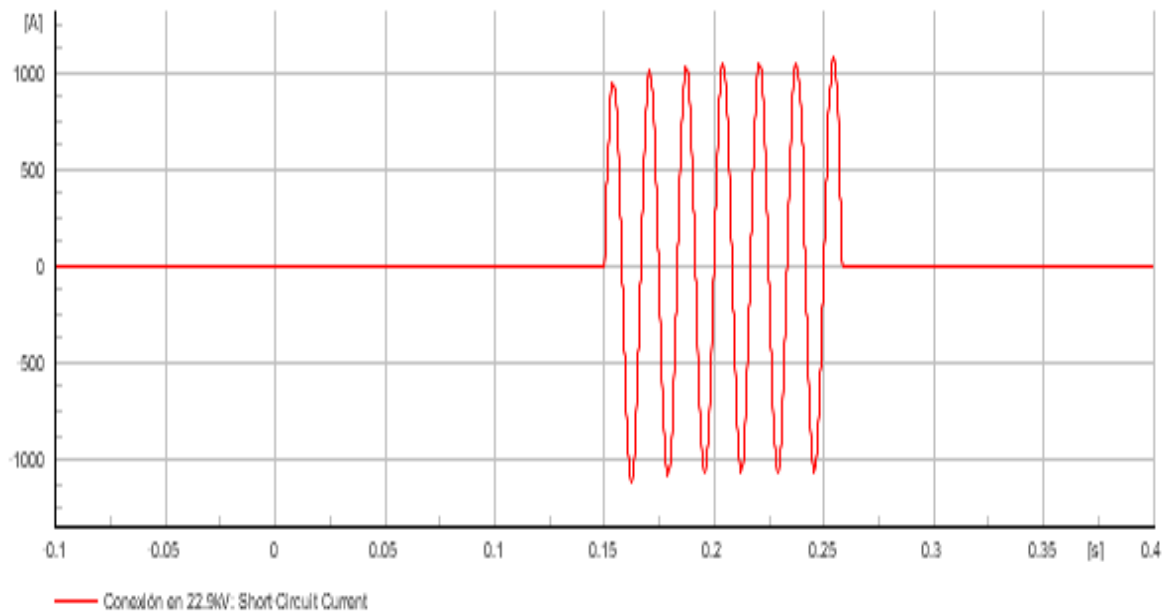


Nota: DigSILENT elaboración propia

En la imagen 4.21, se observa que las tensiones de línea permanecen normales hasta los 150 ms. Sin embargo, una vez en que se produce el cortocircuito trifásico a los 150 ms, las tensiones de línea caen a cero, al pasar los 100 ms se despeja la falla y las tensiones de línea comienzan a recuperarse. Así mismo, se observa que pasando los 250 ms las tensiones de línea muestran transitorios con valores máximos de 1.5 p.u, que con el transcurso del tiempo dichas tensiones alcanzaran valores estables, evidenciando la restauración gradual del sistema eléctrico ante una falla.

Figura 4. 22

Corriente de cortocircuito trifásico en la barra “Conexión en 22.9 kV”



Nota: DigSILENT elaboración propia

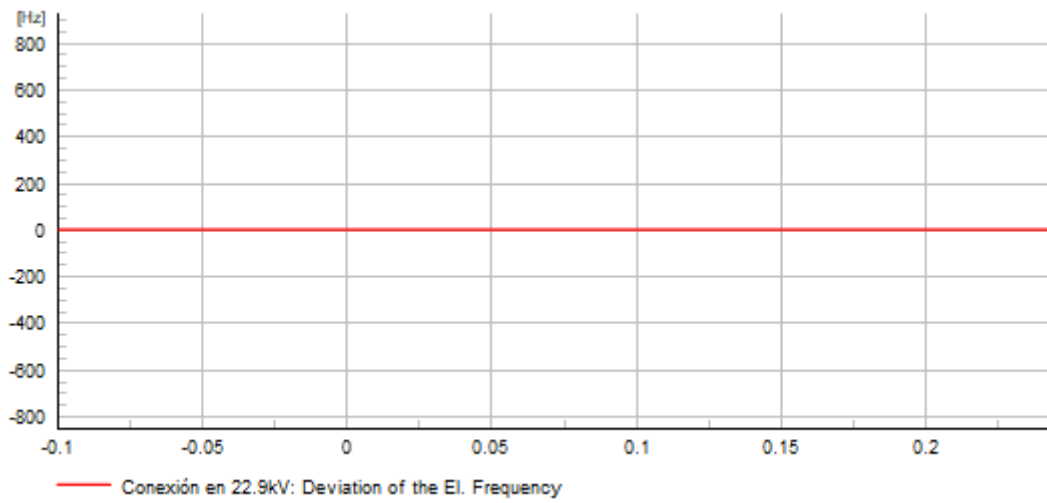
En la figura 4.22 se observa, que la corriente de cortocircuito es cero, una vez que ocurre la falla a los 150 ms con una duración de 100 ms, abarcando desde los 150 ms hasta los 250 ms. Durante este intervalo, la corriente de cortocircuito alcanzando un valor máximo de 1174 A. Luego de este periodo crítico, la corriente nuevamente vuelve a cero.

4.8.8. Niveles de tensión, frecuencia de red, potencia reactiva, factor de potencia, armónicos, estabilidad del sistema.

En la regulación de tensión y frecuencia:

Figura 4. 23

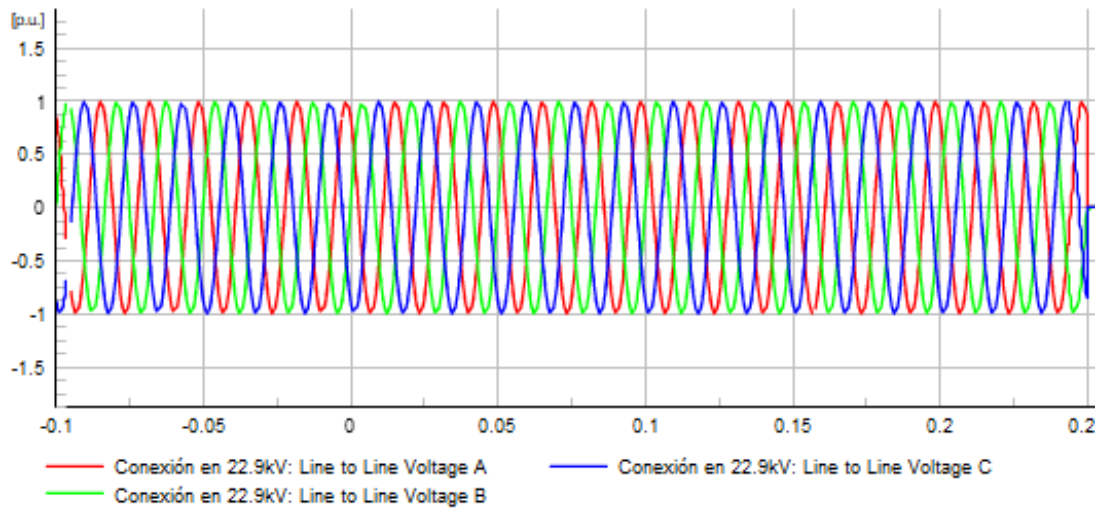
Regulación de tensión



Nota: DigSILENT elaboración propia

Figura 4. 24

Regulación de frecuencia



Nota: DigSILENT elaboración propia

El inversor está equipado con sistemas de control que monitorean, regularan la tensión y la frecuencia de salida para que cumplan con los estándares establecidos por la red eléctrica.

Estos inversores pueden ajustar la frecuencia y la tensión de salida según las condiciones de la red y la demanda de carga, garantizando así dichos parámetros.

Control de Potencia Reactiva:

La compensación del factor de potencia en la generación distribuida fotovoltaica (GD) es un aspecto crucial para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico y cumplir con los requisitos de calidad de la energía.

Inversor con Control del Factor de Potencia (FP):

El inversor que se está considerando la propuesta de generación de la distribución fotovoltaica estará equipado con funciones de control del factor de potencia, esto con la finalidad de que permita ajustar la potencia reactiva generada por la generación distribuida fotovoltaica para corregir el factor de potencia y mantenerlo dentro de los límites aceptables.

Configuración del Inversor:

En el momento de la instalación y la puesta en marcha del sistema de Generación Distribuida Fotovoltaica, se tendrá que configurar el inversor para operar de manera que contribuyan activamente a la corrección del factor de potencia. Esto implica ajustar los parámetros de operación del inversor para que genere la cantidad adecuada de potencia reactiva.

Monitoreo y Control Automático:

Los sistemas de Generación distribuida Fotovoltaica pueden integrarse con sistemas de monitoreo y control automático que supervisen el factor de potencia en tiempo real. Si se detectan desviaciones del factor de potencia objetivo, estos sistemas pueden enviar comandos al inversor para ajustar su operación y corregir el factor de potencia.

Capacitores y Compensadores Externos:

Al Momento de realizar las pruebas y estudios finales si el sistema requiera se podrán instalar, se podrán instalar dispositivos de compensación de factor de potencia externos, como bancos de capacitores o compensadores síncronos, para ayudar a corregir el factor de potencia. Estos dispositivos pueden trabajar en conjunto con los inversores para optimizar la compensación del factor de potencia.

Optimización del Diseño del Sistema:

Al abordar la compensación del factor de potencia en sistemas de generación distribuida fotovoltaica, se puede garantizar una operación eficiente y confiable del sistema eléctrico, minimizando los impactos negativos en la red y cumpliendo con los requisitos de calidad de energía.

Sistemas de Control Avanzados:

Se podrá considerar la implementación de sistemas de control avanzados, como sistemas de supervisión y control de la red (SCADA), para monitorear y controlar de manera proactiva el rendimiento de la generación distribuida fotovoltaica y su impacto en la red eléctrica. Estos sistemas pueden ajustar automáticamente la operación de la GD para cumplir con los requisitos de la red.

Estudios de Impacto en la Red:

Antes de la conexión de la Generación Distribuida Fotovoltaica a la red, se realizan estudios de impacto en la red para evaluar cómo la integración de la planta afectará la estabilidad y el rendimiento de la red eléctrica. Estos estudios pueden identificar posibles problemas y recomendar medidas para mitigarlos.

Coordinación con la Distribuidora:

Es importante mantener una comunicación constante y coordinar con la distribuidora de electricidad para garantizar que la GD fotovoltaica cumpla con todos los requisitos y normativas establecidas por la red eléctrica.

Con todas estas consideraciones que se tiene en la propuesta de Generación Distribuida Fotovoltaica, se puede garantizar que una GD integrada a la red contribuya de manera segura y confiable a la generación de energía eléctrica sin comprometer la estabilidad y la calidad del suministro eléctrico.

CONCLUSIONES

1. A partir de la información recopilada de la concesionaria, se llevó a cabo un diagnóstico de la red eléctrica NMT:11290 en la línea LL-02 durante los años 2018 al 2022. Se calculó un promedio de los indicadores SAIDI y SAIFI, que indican el grado de calidad del servicio eléctrico. Los resultados revelan que el año 2022 presenta los mayores problemas, con los valores de SAIFI de 10.841 fallas/usuario-año, los valores de SAIDI para el mismo año fueron de 25.695 horas/ usuario-año.
2. Para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, se dimensiona la generación distribuida fotovoltaica con una potencia pico total 500 kWp con una capacidad real de almacenamiento de 511.11 kWh y una potencia de suministro de 500 kVA a 22.9 kV. El sistema de generación distribuida y adaptable con tecnologías renovables será capaz de proveer 589.997 MWh de energía eléctrica limpia durante 25 años contiguos evitando la emisión de 6 226.95 toneladas de CO₂ a la atmósfera.
3. Se desarrolló una evaluación económica que contempla una propuesta de inversión inicial de US\$ 1 347,539.59 (un millón trescientos cuarenta y siete mil quinientos treinta y nueve 59/100 dólares) con un interés del 12%. Los resultados demuestran la viabilidad técnica y económica del proyecto, evidenciada por valores de índices económicos tales como un Valor Actual Neto (VAN) de US\$ 7,543,288.79, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 25.62%, y una relación Beneficio-Costo (B/C) de 2.06.
4. En el desarrollo de flujo de caja financiero sin la consideración de bonos de carbono se tiene que no es rentable financieramente, pero resalta su fuerte rentabilidad social al considerar aspectos económicos, ambientales y sociales, con la propuesta de la implementación de la generación distribuida promete diversos beneficios, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora del servicio eléctrico, la generación de empleo local, el acceso a la electricidad en comunidades sin servicio, la disminución de tarifas eléctricas y la promoción de la educación sobre energías renovables.
5. Finalmente, con la implementación de la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 ha logrado mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho reflejándose en los indicadores de SAIFI de 9.471 fallas/usuario-año con la incorporación del SFV teniendo un equivalente a una reducción del orden de

12.64%. Así mismo se obtuvieron valores de SAIDI de 20.913 horas/usuario-año con incorporación del SFV, equivalente a una reducción del orden de 18.61%.

SUGERENCIAS

1. Promocionar la energía renovable de generación distribuida, como una empresa concesionaria de distribución eléctrica con políticas de producción amigables con el medio ambiente y desarrollo sostenible, posicionándose como una empresa verde, incrementando su aceptación en el mercado nacional e internacional.
2. Realizar un análisis de implementación la generación distribuida fotovoltaica en toda la línea Llusco con la finalidad de tener una fuente de aporte energético gratuito para la reducción de facturación eléctrica de los consumidores.
3. Se recomienda la implementación de este sistema en otras zonas con características similares, y se sugiere la realización de estudios más detallados sobre la viabilidad económica y social de este tipo de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abella, M. (2022). *Sistemas Fotovoltaicos*. madrid: (CIEMAT)Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Ahmad, A., Khan, A., Javaid, N., Hussain, H., Abdul, W., Almogren, A., . . . Azim Niaz, I. (2017). An Optimized Home Energy Management System with Integrated Renewable Energy and Storage Resources. *Energies*, 10(4), 549.
- Andina. (4 de noviembre de 2019). *Autosolar.pe*. Obtenido de Peru tiene una de las matrices energeticas mas limpias de america Latina: <https://andina.pe/agencia/noticia-peru-tiene-una-las-matrices-energeticas-mas-limpias-america-latina-771852.aspx>
- Araca, E. (2021). *Uso de Tecnicas de mantenimiento empleados trabajos con tension para la mejora de indicadores SAIDI y SAIFI en la empresa distribuidora Electro Puno S.A.A*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodologia de la investigacion*. Arequipa - Peru: ENFOQUES CONSULTING EIRL.
- Aristizabal C., & Gonzales, J. (2021). Energía solar fotovoltaica en instituciones educativas: caso de estudio ITM campus Robledo. *Semestre Economico*, 30-57.
- Barreto, M., & Guananga, M. (2022). *Analisis de calidad de energia electrica en sistemas fotovoltaicos*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana .
- Behar, D. (2008). *Metodologia de la investigacion*. Shalom 2008.
- Bordons, C., Garcia, F., & Valverde, L. (2015). Gestion´ Optima ´ de la Energ´ia en Microrredes con Generacion Renovable. *ScienceDirect*, 117-132.
- Calcagno, D., Cornejo, M., & Baziuk. (2022). Análisis de vulnerabilidades e interrupciones del sistema argentino de interconexión. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 53-73.
- Calleja Gjumlich, D. H. (s.f.). Estudio Sobre El Uso De La Energía Solar En Aplicaciones Residenciales, Industriales Y Comerciales En Diferentes Estados Del País. *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, (CENIDET)*. Mexico.
- Cegarra, J. (2004). *Metodologia de la Investigacion Cientifica y Tecnologica*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Cervantes, O. (2014). *Metodologia de medicion de calidad de energia electrica en base a normas nacionales e internacionales para Universidad del a Costa - CUC*. Barranquilla: Universidad de la Costa.
- Chiroque, W., Ricaldi, I., & Romero, B. (2022). *Diseño de un sistema de energia limpia mediante paneles fotovoltaicos para la generacion de energia electrica en una vivienda rural de Cusco, Peru, 2022*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Deng, D. (2015). "Li-ion batteries: basics, progress, and Challenges" . *Energy Science and Engineering*, 385-418.
- Electricidad, M. d.-. (2007). *GUIA DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y DOMESTICOS* . Lima: Ministerio de Energia y Minas.

- Fernández, J., & Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica*. Altamira: Centro de investigación en materiales avanzados, S.C PORGRADO.
- Fernández, L., & Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica*. Altamira: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C. POSGRADO.
- Gischler, C., & Janson, N. (2011). *Perspectivas para la generación distribuida con energías renovables en América Latina y el Caribe*. Santo Domingo: Banco Interamericano de Desarrollo.
- H. Nengroo, M. K. (2018). Dual Battery Storage: An Optimized Strategy for the Utilization of Renewable Photovoltaic energy in the United Kingdom. *Electronics*, 7(177), 12-14.
- Hajji, M., Yahyaoui, Z., Mansouri, M., Nounou, H., & Nounou, M. (2023). Fault detection and diagnosis in grid-connected PV systems under. *Energy Reports*, 4005-4017.
- Han, J., Choi, C.-s., Park, W.-k., Lee, I., & Kim, S.-h. (2014). Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 60(2), 198 - 202.
- Hernandez, J., Escobar, I., & Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos. *Tecnología de producción*.
- Hernández, J., Gaona, E., & García, C. L. (2020). BEHAVIORAL ANALYSIS OF SUPERCAPACITORS, LITHIUM ION BATTERY, AND NICKEL METAL HYBRIDE BATTERY IN AN ISOLATED PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 9-11.
- Huaman, G. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico on grid de autoconsumo e inyección o conectado a la red eléctrica del centro de salud Haquira, Apurímac*. Lima: Universidad tecnológica del Perú.
- Iberdrola. (2023). *Radiación solar*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>
- K. Nwaigwe, P. M. (2019). An overview of solar power (PV systems) integration into electricity grids. *Materials Science for Energy Technologies*, 629-633.
- L. Grisales, B. Restrepo, & F. Jaramillo. (2017). Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: una revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 157-176.
- Laveriano, S. (2021). *Diseño de una central fotovoltaica de 1MWP conectado a la red eléctrica interna en media tensión para reducir la facturación eléctrica de la unidad minera Andalucita en Paita – Piura*. Piura.
- Leadbetter, J., & Sawan, L. (2012). Selection of battery technology to support grid-integrated renewable electricity. *Power Sources*, 216, 376-386.
- Lehtonen, M., Gunduz, N., & Kufeoglu, S. (2018). On the Evaluation of Customers Interruption Cost due to Unexpected Power Outages. *International Scientific Conference on Power And Electrical Engineering of Riga Technical University*.

- Lipa, F., & Zevallos, C. (2023). *Propuesta de norma reglamentaria para generacion distribuida para autoconsumo en el Peru*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Lopera, J., Ruiz, C., & Centeno, J. (2019). *Modelo predictivo de interrupciones del servicio de energia electrica domiciliaria de Bogota usando analisis de datos*. Bogota: Universidad EAN.
- Mansouri, M., Trabelsi, M., Nounou, H., & Nounou, M. (2021). Deep Learning-Based Fault Diagnosis of Photovoltaic Systems: A Comprehensive Review and Enhancement Prospects. *IEEE*, 126286-126306.
- Marchena, I. M. (2015). *Marco de trabajo para la generación de software para la gestión de sistemas de energía solar*. Universidad de Málaga: Doctoral dissertation.
- Martinez, G. (2019). *Diseño y Construcción de un Prototipo de detección de fallas serie para disminuir el tiempo de Interrupciones en el sistema eléctrico de distribución*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Marzouki, A., Hamouda, M., & Fnaiech, F. (2015). Una revisión de las aplicaciones industriales basadas en convertidores de fuente de voltaje PWM. *Aquisgrán, Alemania*, 1-6.
- Mercado, V., Bernardo, J., & Pacheco, L. (2017). Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. *Ciencia e Ingeniería*, 167-176.
- Mikati, M., Santos, M., & Armenta, C. (2012). Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar. *SciVerse ScienceDirect y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica*, 267-281.
- minem. (2016). *PLAN NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL (PNER) PERIODO 2016 - 2025*. peru: pner.
- Muñoz, J., Rojas, M., & Barreto, C. (2018). Incentivo a la generacion distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*.
- Ocampo, C. D. (2019). Gestión del Riesgo en la Implementación de Sistemas Fotovoltaicos en Proyectos de Extracción de Oro en Colombia a partir del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). *Información tecnológica*, 3(30), 127-136.
- Osinermin. (2017). *osinermin.gob.pe*. Obtenido de La industria de la Energia Renovable en el Peru: https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Energia-Renovable-Peru-10años.pdf
- Ospino, A., Robles, C., & Duran, A. (2014). Modelado y simulación de un panel fotovoltaico empleando técnicas de inteligencia artificial. *Ingeniería Energética*, 3(35), 225-233.
- Ospino, A., Robles, C., & Duran, A. (2014). Modeling and simulation of a photovoltaic panel using artificial intelligence techniques. *Universidad de Magdalena*, 1(146), 8-10.
- Pesantez, J., Rios, V., & Gonzales, R. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politecnica*, 7-16.

- Rios, J. (2023). *Análisis de la calidad de energía en las redes eléctricas de distribución con la integración de sistemas fotovoltaicos residenciales en Perú*. Huancayo: Universidad Nacional del centro del Peru.
- Risco, R., Pérez, D., Casaverde, L., & Vásquez, E. (2022). Use of a business intelligence framework in the management of the quality of electricity supply in small and medium-sized companies. *DYNA*, 31-40.
- Rodríguez, A., & Solís, B. (2018). *Reporte de Análisis Económico Sectorial - Electricidad*. Lima: Gerencia de Políticas y Análisis Económico, Osinergmin - Perú.
- Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Rev. Cient.*, 263-277.
- Sanchez, L. (2019). *PROPUESTA DE MEJORA DEL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA CON PANELES SOLARES PARA REDUCIR INSATISFACCIÓN DE USUARIOS EN ZARUMILLA - TUMBES*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola.
- Santiesteban, R., LLamo, W., Olivos, D., & Maza, A. (2020). *Diseño de sistema fotovoltaico para alimentar con energía eléctrica renovable al hotel Tartar – Cajamarca*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Sanz, O. (2015). *Análisis de un inversor fotovoltaico según la norma ENTSO-E y características de la misma*. Leganes: Universidad Carlos III de Madrid.
- SENDECO. (2022). Obtenido de <http://www.sendeco2/es/precios-co2>
- Tamayo, J., Vasquez, A., & Garcia, R. (febrero de 2013). *La protección del consumidor en el sector eléctrico Peruano: una perspectiva preventiva*. Lima: OSINERGMIN. Obtenido de OSINERMIN.
- Telles, B., López, A., Francisco, M., Beltrán, E., González, C., Reta, M., & Morera, M. (2020). Análisis de calidad de la energía de inversor de puentes H y control SPWM. *Ingeniería Energetica*, 41(1), -.
- Teran, R., Perez, J., Beristain, J., & Cardenas, V. (200). PI-STA Cascade controller tuning for active power filter applications. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 17, 130-143.

ANEXOS

ANEXO 01: DATOS TÉCNICOS DE PANEL SOLAR

Vertex N

N-type i-TOPCon bifacial dual glass
Monocrystalline module

PRODUCT: TSM-NEG21C.20
PRODUCT RANGE: 675-700W

700W

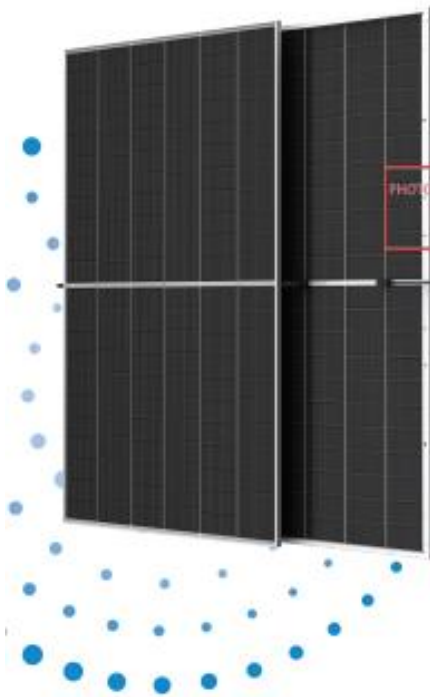
MAXIMUM POWER OUTPUT

0~+5W

POSITIVE POWER TOLERANCE

22.5%

MAXIMUM EFFICIENCY



High customer value

- The star of LCOE (Levelized Cost Of Energy). Higher string power feature effectively reduces BOS (Balance of System) and LCOE
- More energy harvest with cutting-edge N-type i-TOPCon technology
- Designed for compatibility with existing mainstream system components



High power up to 700W

- Up to 22.5% module efficiency with high density interconnect technology
- SMBB (Super multi-busbar) technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection



High reliability

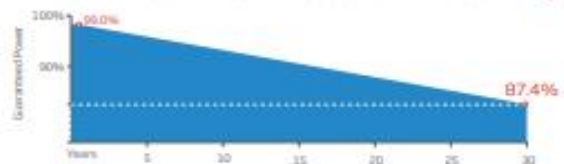
- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load



High energy yield

- Excellent product bifaciality and low irradiation performance, validated by 3rd party
- Lower degradation: 1% first year, 0.4% annually thereafter
- Lower temperature coefficient (-0.30%)
- Up to 30% additional power gain from back side depending on albedo

Trina Solar's Vertex Bifacial Dual Glass Performance Warranty

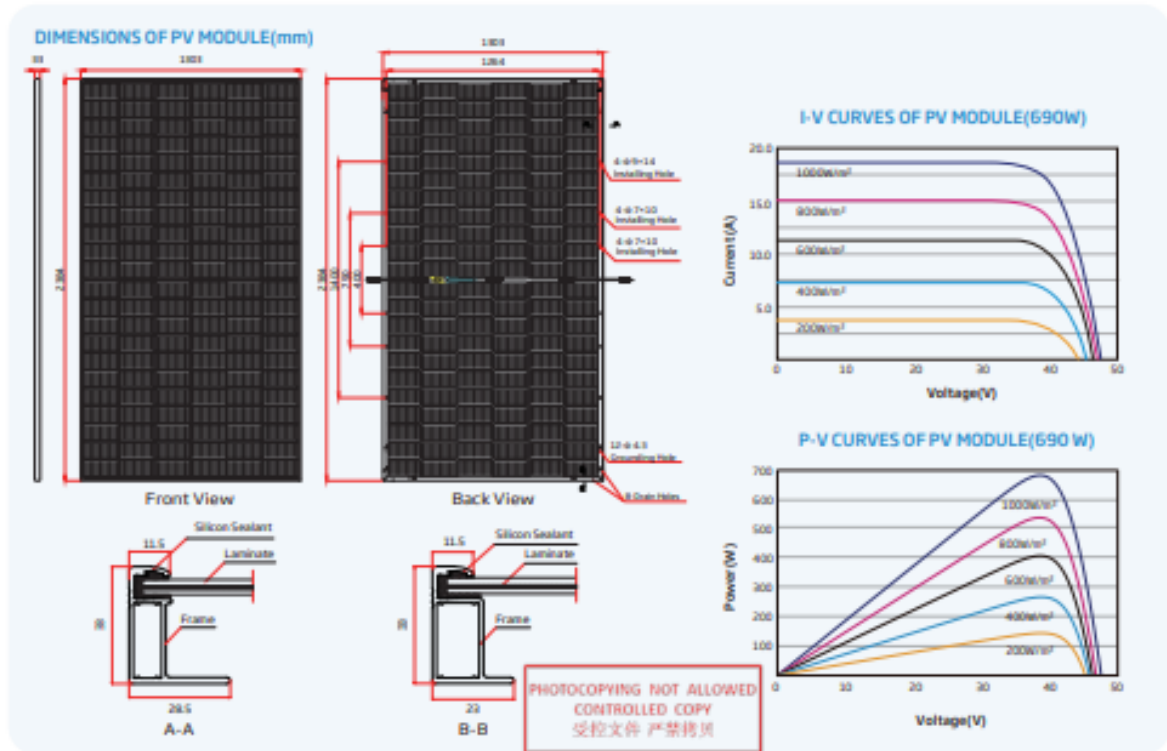


Comprehensive Products and System Certificates



IEC61215/IEC61750/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 4064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO 45001: Occupational Health and Safety Management System

TrinaSolar



MECHANICAL DATA

Solar Cells	N-type Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384*1303*33 mm (93.86*51.30*1.30 inches)
Weight	30.3kg (64.4 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, Alcoated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)

Frame	33mm(1.30 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²) Portrait: 350/280mm(1.378/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4 PLUS / TS4*

*Please refer to regional database for specified connector.

ELECTRICAL DATA (STC & NOCT)

Testing Condition	STC		NOCT		STC		NOCT		STC		NOCT		STC		NOCT	
Peak Power Watts-Pmax (Wp)*	675	514	680	517	685	521	690	526	695	530	700	534				
Power Tolerance-Pmax (W)	0 ~ +5															
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	39.4	37.0	39.5	37.2	39.8	37.3	40.1	37.7	40.3	37.8	40.5	38.0				
Maximum Power Current-Imp (A)	17.12	13.89	17.15	13.91	17.19	13.94	17.23	13.96	17.25	14.02	17.29	14.05				
Open Circuit Voltage-Voc (V)	47.2	44.7	47.4	44.9	47.7	45.2	47.9	45.4	48.3	45.8	48.5	46.0				
Short Circuit Current-Isc (A)	18.14	14.62	18.18	14.65	18.21	14.67	18.25	14.71	18.28	14.73	18.32	14.76				
Module Efficiency η_m (%)	21.7		21.9		22.1		22.2		22.4		22.5					

STC Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM 1.5. NOCT Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 25°C, Wind Speed 1m/s. *Powering tolerance $\pm 5\%$.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)

	5%		10%		5%		10%		5%		10%		5%		10%	
Backside Power Gain	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Total Equivalent power -Pmax (Wp)	709	743	714	748	719	754	725	759	730	765	735	770				
Maximum Power Voltage-Vmp (V)	39.4	39.4	39.5	39.5	39.8	39.8	40.1	40.1	40.3	40.3	40.5	40.5				
Maximum Power Current-Imp (A)	17.98	18.83	18.02	18.88	18.05	18.93	18.09	18.95	18.11	18.98	18.15	19.02				
Open Circuit Voltage-Voc (V)	47.2	47.2	47.4	47.4	47.7	47.7	47.9	47.9	48.3	48.3	48.5	48.5				
Short Circuit Current-Isc (A)	19.05	19.95	19.09	20.00	19.12	20.03	19.16	20.08	19.19	20.11	19.24	20.15				

Power Efficiency $\pm 0.5\%$.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (122°C)
Temperature Coefficient of Pmax	-0.30%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.24%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85° C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC) 1500V DC (UL)
Max Series Fuse Rating	25A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
1% first year degradation
0.40% Annual Power Attenuation

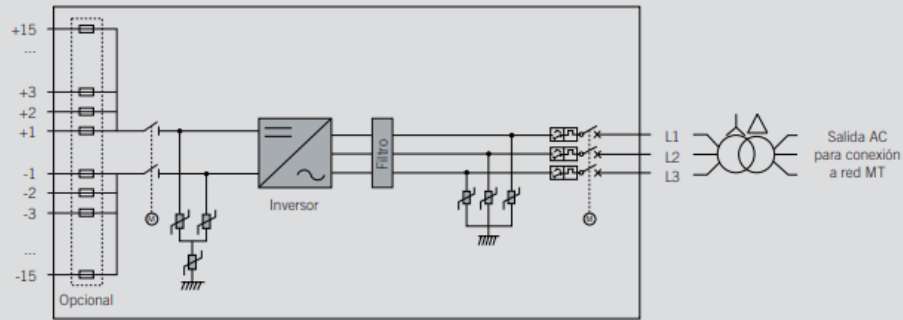
(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

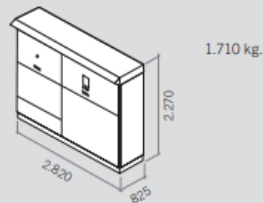
Modules per box	33 pieces
Modules per 40' container	594 pieces

ANEXO 02: DATOS TÉCNICOS DE INVERSOR CENTRAL

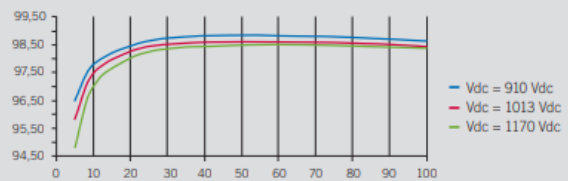
Power B Series



Dimensiones y peso (mm)



Rendimiento INGECON® SUN 1640TL B630

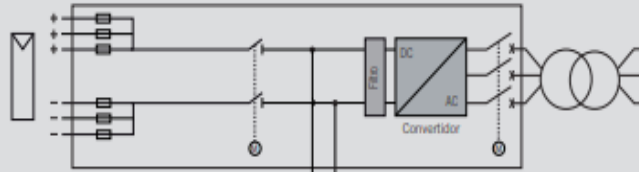


	1170TL B450	1400TL B540	1500TL B578	1560TL B600	1600TL B615
Valores de Entrada (DC)					
Rango pot. campo FV recomendado ⁽¹⁾	1.157 - 1.520 kWp	1.389 - 1.824 kWp	1.487 - 1.952 kWp	1.543 - 2.026 kWp	1.582 - 2.077 kWp
Rango de tensión MPP ⁽²⁾	645 - 1.300 V	769 - 1.300 V	822 - 1.300 V	853 - 1.300 V	873 - 1.300 V
Tensión máxima ⁽³⁾	1.500 V				
Corriente máxima	1.870 A				
Nº entradas con porta-fusibles	Desde 6 hasta 15 (hasta 12 con la Combiner Box integrada)				
Dimensiones fusibles	Fusibles de 63 A / 1.500 V a 500 A / 1.500 V (opcional)				
Tipo de conexión	Conexión a las barras de cobre				
Bloques de potencia	1				
MPPT	1				
Corriente máxima para cada entrada	De 40 A a 350 A, en los polos positivo y negativo				
Protecciones de Entrada					
Protecciones de sobretensión	Descargadores de sobretensiones atmosféricas DC tipo II (opcional tipo I+II)				
Interruptor DC	Seccionador en carga DC motorizado				
Otras protecciones	Hasta 15 pares de fusibles DC (opcional) / Monitorización de aislamiento / Protección anti-aislamiento / Seta de emergencia				
Valores de Salida (AC)					
Potencia IP54 @30 °C / @50 °C	1.169 kVA / 1.052 kVA	1.403 kVA / 1.263 kVA	1.502 kVA / 1.352 kVA	1.559 kVA / 1.403 kVA	1.598 kVA / 1.438 kVA
Corriente IP54 @30 °C / @50 °C	1.500 A / 1.350 A				
Potencia IP56 @27 °C / @50 °C ⁽⁴⁾	1.169 kVA / 1.035 kVA	1.403 kVA / 1.242 kVA	1.502 kVA / 1.330 kVA	1.559 kVA / 1.380 kVA	1.598 kVA / 1.415 kVA
Corriente IP56 @27 °C / @50 °C ⁽⁴⁾	1.500 A / 1.328 A				
Tensión nominal ⁽⁵⁾	450 V Sistema IT	540 V Sistema IT	578 V Sistema IT	600 V Sistema IT	615 V Sistema IT
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz				
Factor de Potencia ajustable	Sí, 0-1 (leading / lagging)				
THD (Distorsión Armónica Total) ⁽⁶⁾	<3%				
Protecciones de Salida					
Protecciones de sobretensión	Descargadores de sobretensiones atmosféricas tipo II				
Interruptor AC	Seccionador magneto-térmico AC con mando a puerta y disparo remoto o motorizado				
Protección anti-isla	Sí, con desconexión automática				
Otras protecciones	Cortocircuitos y sobrecargas AC				

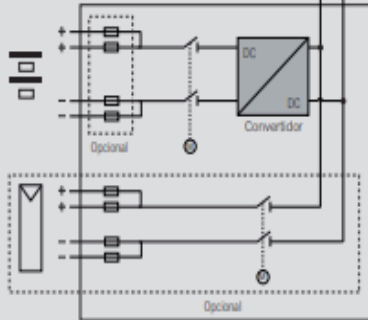
ANEXO 03: DATOS TÉCNICOS DE CONVERTIDOR DC-DC

ESQUEMA UNIFILAR

INGECON® SUN



INGECON® SUN STORAGE DC-DC SERIE



1700TL DC-DC	
Entrada de Baterías	
Rango de tensión	600 - 1.300 V
Tensión máxima	1.500 V
Corriente máxima DC	1.700 A
Número de entradas	6 entradas
Tipo de conexión	Barra de cobre simple (hasta 30 cables) o múltiples barras de cobre con porta fusibles
Interruptor DC	Seccionador en carga DC motorizado
Protecciones de sobretensión	Descargadores de sobretensiones atmosféricas tipo II
Valores de salida DC	
Potencia máxima ⁽¹⁾	1.700 kW
Rango de tensión MPPT	600 - 1.300 V
Tensión máxima	1.500 V
Corriente máxima DC	1.700 A
Tipo de conexión	Conexión a las barras de cobre
Entrada Fotovoltaica (opcional)	
Rango de tensión MPPT	600 - 1.300 V
Tensión máxima	1.500 V
Corriente máxima DC	1.800 A
Número de entradas con porta fusibles	8 inputs
Dimensiones fusibles	63 A / 1.500 V a 500 A / 1.500 V fusibles (opcional)
Tipo de conexión	Conexión a barra de cobre
Interruptor DC	Seccionador en carga DC motorizado
Protecciones de sobretensión	Descargadores de sobretensiones atmosféricas tipo II

ANEXO 04: DATOS TÉCNICOS DE BESS



Item	Specification		
System Model	SU573U500HV	SU860U500HV	SU1147U500HV
System Information			
Nominal AC Power	500kW		
Nameplate Capacity	573.44kWh	860.16kWh	1146.88kWh
Battery Information			
Battery Chemistry	LFP		
Capacity	280Ah		
Configuration	320S2P	320S3P	320S4P
Nominal Voltage	1024V		
Voltage Range	896~1,152V		
Inverter Information			
Max. AC Power	500kW		
Nominal Grid/Islanding Voltage	480V		
Grid Voltage Range	422.4~528V		
Power Factor	-1to1, continuously adjustable		
Nominal Grid Frequency	60Hz		
Isolation	Transformerless		
Working Conditions			
Degree of Protection	NEMA 3R / IP54		
Noise Emission	<72dB @1m		
Operating Temperature Range	-22°F ~ 115°F / -30°C ~ 45°C		
Relative Humidity	0-95% (No condensing)		
Max. Working Altitude	6,500' / 2,000m		
System Information			
Dimensions (W×H×D)	5,490×2,500×1,613	7,105×2,500×1,613	8,720×2,500×1,613
Weight	9,460kg	13,460kg	17,460kg
Cooling Method of Battery Cabinet	HVAC		
Cooling Method of PCS Cabinet	Forced air cooling with replaceable fan module		
Fire Suppression System	Aerosol		

ANEXO 05: SIMULACIÓN ENERGÉTICA CHALLHUAHUACHO

PVWatts Calculator

RESULTS

589,997 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)
January	5.21	43,671
February	5.04	38,322
March	5.08	42,571
April	5.89	48,092
May	6.17	52,438
June	6.15	50,920
July	6.32	54,330
August	6.64	55,950
September	6.82	55,241
October	6.52	54,298
November	6.08	48,951
December	5.42	45,213
Annual	5.95	589,997

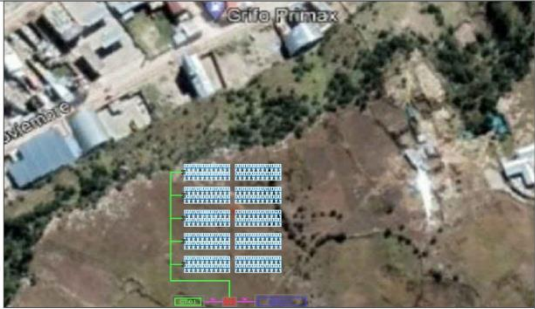
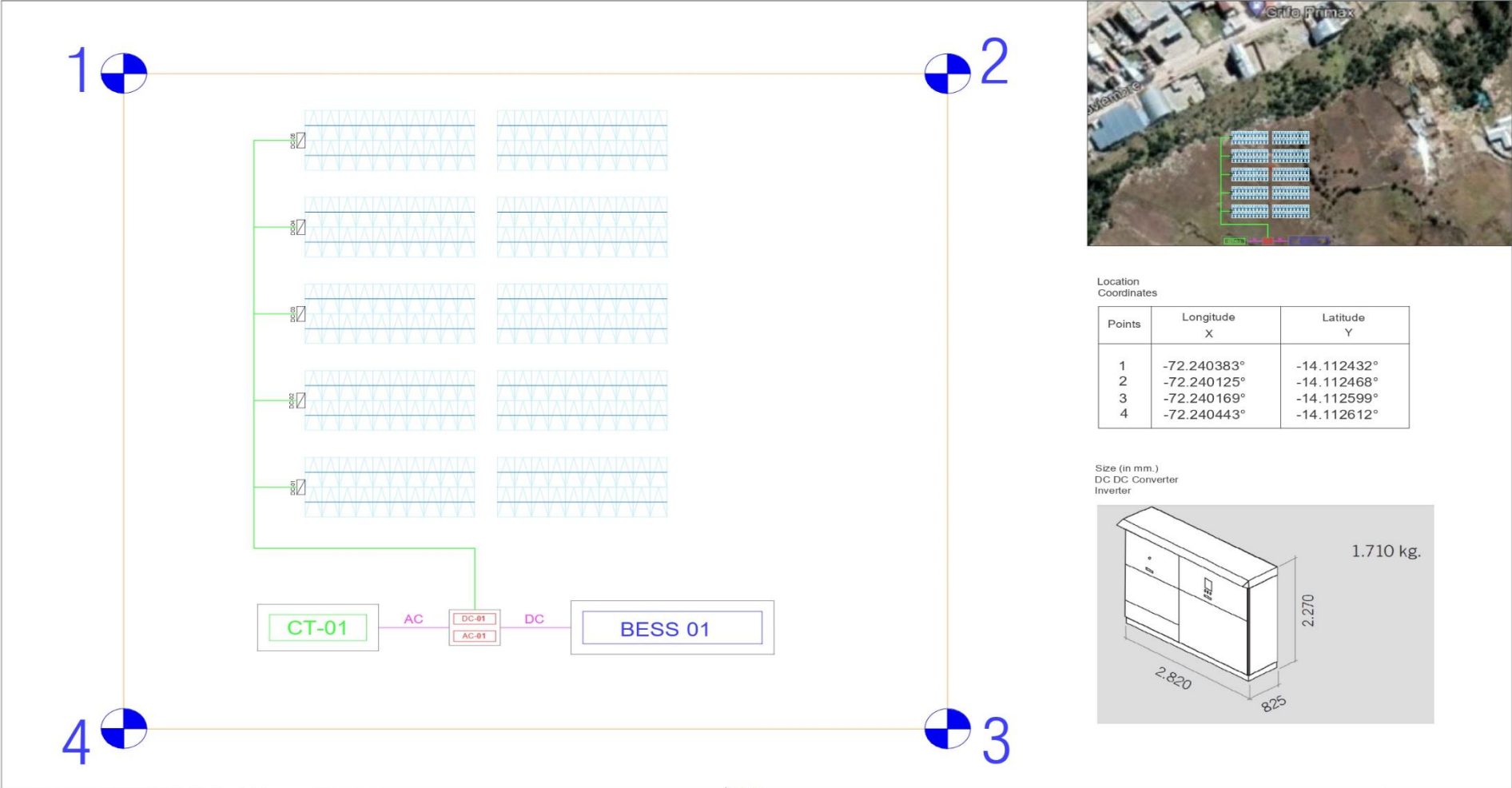
Location and Station Identification

Requested Location	challhuahuacho		
Weather Data Source	Lat, Lng: -14.11, -72.26	1.0 mi	
Latitude	14.11° S		
Longitude	72.26° W		

PV System Specifications

DC System Size	500 kW					
Module Type	Standard					
Array Type	Fixed (open rack)					
System Losses	20.02%					
Array Tilt	15°					
Array Azimuth	0°					
DC to AC Size Ratio	1.20					
Inverter Efficiency	93%					
Ground Coverage Ratio	0.3					
Albedo	From weather file					
Bifacial	No (0)					
Monthly Irradiance Loss	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June
	0%	1%	0%	0%	0%	0%
Monthly Irradiance Loss	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
	0%	0%	0%	0%	1%	1%

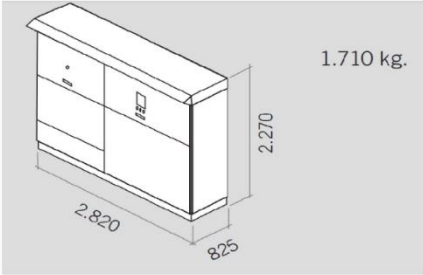
ANEXO 06: DISTRIBUCIÓN DE COMPONENTES



Location Coordinates

Points	Longitude X	Latitude Y
1	-72.240383°	-14.112432°
2	-72.240125°	-14.112468°
3	-72.240169°	-14.112599°
4	-72.240443°	-14.112612°

Size (in mm.)
DC DC Converter
Inverter



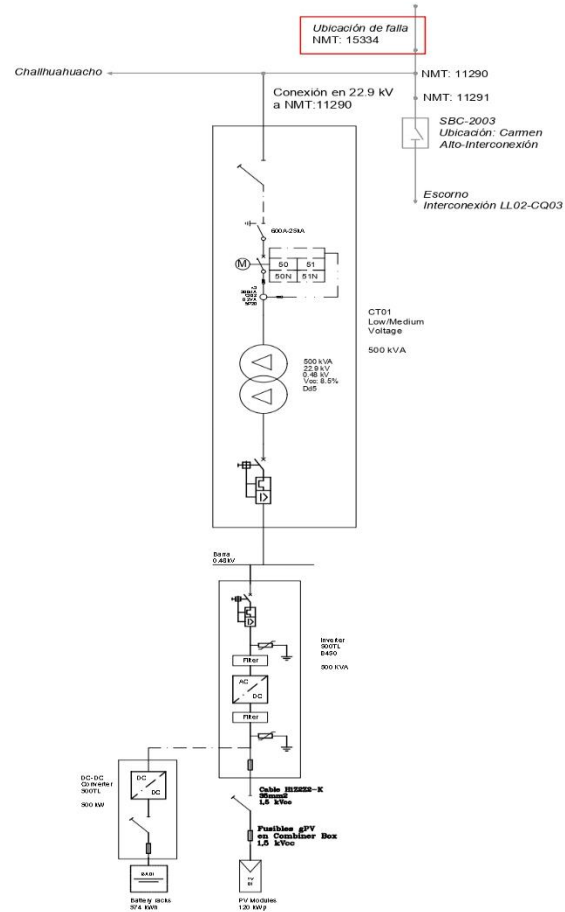
<p>LOGO UNIVERSIDAD:</p> 	<p>LOGO DE ESCUELA:</p> 	<p>UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC)</p> <p>FACULTAD: Facultad De Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica</p> <p>ESCUELA PROFESIONAL: Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p>TITULO: Propuesta de Generación Distribuida Fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022</p> <p>PLANO: Distribución de componentes</p> <p>UBICACION DEL PROYECTO: Latitud: -14.114479° / Longitud: -72.239793°</p>	<p>AUTORES: Ivan Pillco M. y Karen Luicho Q.</p> <p>ESCALA: A3</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>REVISION</th> <th>DIBUJANTE</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>IVAN PILLCO M.</td> <td>08.09.2023</td> </tr> </tbody> </table>	REVISION	DIBUJANTE	FECHA	A	IVAN PILLCO M.	08.09.2023	<p>LAMINA:</p> <h1>A-1</h1> <p>DE 3</p>
REVISION	DIBUJANTE	FECHA									
A	IVAN PILLCO M.	08.09.2023									

ANEXO 07: DISTRIBUCIÓN DE PANELES SOLARES



LOGO UNIVERSIDAD: 	LOGO DE ESCUELA: 	UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) FACULTAD: Facultad De Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica ESCUELA PROFESIONAL: Escuela de Ingeniería Eléctrica	TÍTULO: Propuesta de Generación Distribuida Fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022 PLANO: Distribución de componentes UBICACION DEL PROYECTO: Latitud: -14.114479° / Longitud: -72.239793°	LAMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">A-2</div> <div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold; color: green;">DE 3</div>
			AUTORES: Ivan Pillco M. y Karen Luicho Q. ESCALA: A3 REVISION: A DIBUJANTE: IVAN PILLCO M. FECHA: 08.09.2023	

ANEXO 08: DIAGRAMA UNIFILAR



LOGO UNIVERSIDAD: 	LOGO DE ESCUELA: 	UNIVERSIDAD: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) FACULTAD: Facultad De Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica ESCUELA PROFESIONAL: Escuela de Ingeniería Eléctrica	TÍTULO: Propuesta de Generación Distribuida Fotovoltaica integrada a la red NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico de la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022 PLANO: Diagrama Unifilar UBICACION DEL PROYECTO: Latitud: -14.114479° / Longitud: -72.239793°	AUTORES: Ivan Pillco M. y Karen Luicho Q.	LAMINA: <b style="font-size: 2em;">A-3 DE 3
			ESCALA: A3 REVISION: A DIBUJANTE: IVAN PILLCO M. FECHA: 08.09.2023		

Tabla 1

Operacionalización de variables

Operacionalización de variables

Variabes	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Generación Distribuida Fotovoltaica	La generación distribuida se define generalmente como la producción de electricidad por centrales relativamente pequeñas en comparación con las centralizadas (menos de 10 MW) con capacidad suficiente para proporcionar conectividad en cualquier punto de la red, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: finalidad y ubicación; potencia nominal y nivel de tensión; y características de la zona de suministro. (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación de paneles Solares 	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución geográfica • Orientación de los paneles
		<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de generación 	<ul style="list-style-type: none"> • KWp
		<ul style="list-style-type: none"> • COSTOS 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión inicial (dólares)
Calidad de Servicio Eléctrico	La calidad de energía se refiere al nivel de conformidad de la energía eléctrica suministrada a los clientes con respecto a las características de voltaje, frecuencia, distorsión armónica, estabilidad y otros parámetros establecidos por la norma y estándares de calidad.	<ul style="list-style-type: none"> • SAIDI 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo promedio de duración de las interrupciones en minutos
		<ul style="list-style-type: none"> • SAIFI 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de interrupciones del suministro eléctrico por año.

Tabla 2

Matriz de Consistencia

Matriz de Consistencias

PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA FOTOVOLTAICA INTEGRADA A LA RED NMT:11290 PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO DE LA COMUNIDAD DE CHALLHUAHUACHO, APURÍMAC 2022				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p style="text-align: center;">Problema General</p> <p>¿Cómo la implementación de la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 permitirá mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022?</p> <p style="text-align: center;">Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las principales deficiencias de calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac, identificadas en el diagnóstico de la red eléctrica NMT: 11290? 	<p style="text-align: center;">Objetivo General</p> <p>Proponer una generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022.</p> <p style="text-align: center;">Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar el diagnóstico de la red eléctrica NMT: 11290, considerando las principales deficiencias de calidad del servicio 	<p style="text-align: center;">Hipótesis General</p> <p>La incorporación de la generación distribuida fotovoltaica integrada a la red eléctrica NMT:11290 mejorará la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac 2022.</p>	<p style="text-align: center;">Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Generación Distribuida Fotovoltaica <p style="text-align: center;">Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Calidad de Servicio Eléctrico 	<p style="text-align: center;">Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicada <p style="text-align: center;">Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No experimental – transversal <p style="text-align: center;">Nivel de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Descriptivo

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se determinará la capacidad de generación requerida, el dimensionamiento de los paneles solares, la ubicación óptima de la instalación y la selección de los dispositivos de conversión de energía en la propuesta técnica para la implementación de generación distribuida fotovoltaica en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac? • ¿Cuál será el enfoque económico - financiero de la propuesta de generación distribuida fotovoltaica conectado a la red eléctrica NMT: 11290, para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac? 	<p>eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar una propuesta técnica que incluya la capacidad de generación necesaria, el dimensionamiento de paneles solares, la ubicación y los dispositivos de conversión de energía para implementar una instalación de generación distribuida fotovoltaica en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac. • Realizar un enfoque económico - financiero de la propuesta de generación distribuida fotovoltaica conectado a la red eléctrica NMT: 11290, para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la comunidad de Challhuahuacho, Apurímac. 			
---	---	--	--	--