

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 PARA MEJORAR LA
CALIDAD DE ENERGÍA EN EL ALIMENTADOR DO-06 SET
DOLORESPATA CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. EYNERD ELMER ALVAREZ PAGAN

Br. JESSENIA LIZBET TTITO BERRIOS

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

ASESOR:

Mg. MARY ELISA BARRIONUEVO PRADO

CUSCO – PERÚ

2025

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 PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL ALIMENTADOR DO-06 SET DOLORESPATA CUSCO

Presentado por: EYNERD ELNER ALVAREZ PAGAN DNI N° 71427422

presentado por: JESSENIA LIZBET TITO BERRIOS DNI N°: 46909024

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software 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 5%.

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** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 07 de Septiembre de 2025



Firma

Post firma: Mary Elisa Barronero Prado

Nro. de DNI: 23811434

ORCID del Asesor: 0000-0001-7760-9381

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:494110626

Eynerd Elmer Alvarez Pagan Jessenia Lizbet Ttito B...

TESIS FINAL ALVAREZ-TTITO.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:494110626

Fecha de entrega

7 sep 2025, 10:49 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

7 sep 2025, 11:23 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL ALVAREZ-TTITO.pdf

Tamaño del archivo

5.4 MB

199 páginas

37.076 palabras

184.927 caracteres

5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

PRESENTACIÓN

Señor.

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

En cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigentes, con la finalidad de optar el título del Ingeniero Electricista, presentamos a vuestra consideración la tesis intitulada:

“PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL ALIMENTADOR DO-06 SET DOLORESPATA CUSCO”

Br. Eynerd Elmer Alvarez Pagan

Br. Jessenia Lizbet Ttito Berrios

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis amados padres, Elmer Alvarez Ortega y Elena Emperatriz Pagan Tejada, por su gran amor, apoyo incondicional y paciencia.

Eynerd Elmer.

A mis padres, Doris Berrios Lito y Amarildo Tito Zanabria, por su amor incondicional, sus sacrificios y su incansable apoyo a lo largo de cada etapa de mi vida. Gracias por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y fortaleza.

Jessenia Lizbet.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres, por su amor incondicional, comprensión y constante apoyo a lo largo de nuestra formación. Su ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

Agradecemos también a nuestros docentes que nos guiaron durante nuestra etapa universitaria, en especial a quienes contribuyeron con sus conocimientos y orientaciones al desarrollo de este trabajo de investigación.

Finalmente, extendemos nuestro reconocimiento a nuestras amistades, por su compañía, palabras de aliento y colaboración en los momentos más exigentes del proceso académico.

A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este logro.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento socioeconómico y urbano en la región del Cusco ha provocado un aumento sostenido en la demanda de energía eléctrica, generando exigencias adicionales sobre la infraestructura existente. El alimentador DO-06, perteneciente a la Subestación de Transformación de Dolorespata, opera cerca de su límite técnico, registrando caídas de tensión y elevadas pérdidas técnicas, en condiciones de máxima demanda. Esta situación plantea la necesidad de soluciones que permitan mejorar la calidad del suministro y la eficiencia operativa del alimentador.

En este contexto, la generación distribuida fotovoltaica (GDFV) se presenta como una alternativa viable al permitir la inyección de energía en puntos cercanos al consumo. Su integración, junto con sistemas de almacenamiento en baterías (BESS), puede contribuir significativamente a reducir pérdidas y mejorar el perfil de tensión, durante las horas de mayor demanda y ausencia de radiación solar.

La presente investigación propone y evalúa la incorporación de un sistema GDFV-BESS en el alimentador DO-06, utilizando el software DIgSILENT PowerFactory para simular su comportamiento en condiciones de máxima exigencia. A partir del diagnóstico del sistema, se identificaron nodos críticos y se diseñaron escenarios de integración que permitieran comparar los efectos técnicos de la propuesta frente al estado actual de la red.

La tesis se estructura en cinco capítulos. El Capítulo I contextualiza el problema, presenta la justificación y objetivos de la investigación. El Capítulo II desarrolla los fundamentos teóricos, antecedentes y el marco normativo relacionado con la generación distribuida y la calidad de tensión. En el Capítulo III se realiza el diagnóstico del alimentador DO-06 con base en la información proporcionada por la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. El Capítulo IV primeramente realiza simulaciones en varias ubicaciones y escenarios de inclusión para mejorar la calidad de tensión del alimentador, posteriormente se realiza el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con un sistema de almacenamiento de baterías. Finalmente, el Capítulo V presenta el análisis comparativo de los resultados, destacando los beneficios alcanzados, las limitaciones del estudio y las consideraciones para futuras implementaciones.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone la incorporación de generación distribuida fotovoltaica (GDFV) para mejorar la calidad de tensión del alimentador DO-06, perteneciente a la SET Dolorespata. Esta necesidad surge por caídas de tensión, especialmente en zonas de alto consumo y alejadas del alimentador, afectando el cumplimiento de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

La calidad de tensión es crítica en los sistemas de distribución, pues su deficiencia provoca fallas en equipos, pérdidas económicas y deterioro de la infraestructura. Ante ello, la GDFV se plantea como alternativa para mitigar caídas de tensión y optimizar el desempeño del alimentador.

Se realizó un diagnóstico del estado operativo del DO-06, identificando nodos críticos de la red. Con esta información se definieron tres ubicaciones estratégicas para instalar GDFV: nodo 01, nodo 02 y nodo 03. A partir de ellas se formularon siete escenarios, simulados en DIgSILENT PowerFactory para evaluar su impacto técnico.

El escenario 04, con generadores en los nodos 01 y 02, presentó el mejor desempeño, logrando reducir las caídas de tensión dentro del rango permitido por la NTCSE (± 5 % del valor nominal). Además, se obtuvo una reducción significativa de pérdidas técnicas, con una mejora del 92.09 % respecto al escenario base.

Finalmente, se realizó el diseño preliminar de un sistema fotovoltaico con almacenamiento en baterías (BESS), evidenciando que la GDFV, correctamente ubicada y dimensionada, es una solución efectiva y sostenible para mejorar la calidad de tensión, reducir pérdidas energéticas y modernizar el sistema de distribución.

Palabras clave: Generación distribuida, calidad de tensión, sistema fotovoltaico, reducción de pérdidas energéticas, simulación eléctrica.

ABSTRACT

This research project proposes the incorporation of photovoltaic distributed generation (PVDG) to improve the voltage quality of feeder DO-06, which belongs to the Dolorespata Substation. This need arises due to voltage drops, especially in high-consumption areas and those located farther from the feeder, affecting compliance with the Technical Quality Standard for Electric Services (NTCSE).

Voltage quality is critical in distribution systems, as its deficiency can cause equipment failures, economic losses, and deterioration of infrastructure. Therefore, PVDG is proposed as an alternative to mitigate voltage drops and optimize feeder performance.

A diagnostic assessment of the operational status of feeder DO-06 was carried out, identifying critical nodes in the network. Based on this information, three strategic locations were defined for installing PVDG: node 01, node 02, and node 03. From these locations, seven scenarios were developed and simulated using DIgSILENT PowerFactory to evaluate their technical impact.

Scenario 04, with generators placed at nodes 01 and 02, achieved the best performance, successfully reducing voltage drops within the range allowed by the NTCSE ($\pm 5\%$ of the nominal value). In addition, there was a significant reduction in technical losses, with a 92.09% improvement compared to the base scenario.

Finally, a preliminary design of a photovoltaic system with battery energy storage (BESS) was carried out, demonstrating that properly located and sized PVDG is an effective and sustainable solution to improve voltage quality, reduce energy losses, and modernize the distribution system.

Keywords: Distributed generation, voltage quality, photovoltaic system, energy loss reduction, electrical simulation.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

EGEMSA:	Empresa de Generación Eléctrica Machupichu Sociedad Anónima
OSINERGMIN:	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
CNE:	Código Nacional de Electricidad
BT:	Baja tensión
MT:	Media tensión
DO-06:	Alimentador número 06 de la subestación de transformación Dolorespata
SED:	Sub estación de distribución
Electro Sur Este	
S.A.A:	Electro Sur Este Sociedad Anónima Abierta
GD:	Generación distribuida
GDVF:	Generación distribuida fotovoltaica
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos
kV:	Kilo Voltios (Unidad de Tensión)
MCD:	Micro Generación Distribuida
MGD:	Mediana Generación Distribuida
MINEM:	Ministerio de Energía y Minas
MVA:	Mega Volt-Ampere (Potencia Aparente)
MW:	Mega Watts (Potencia Activa)
MVAR	Mega Voltamperio-Reactivo (Potencia Reactiva)
NORMA - DGE:	Norma de la Dirección General de Electricidad
p.u.:	Por unidad (Valores expresados por unidad)
S.E.:	Sub estación eléctrica
GHI:	Irradiación global horizontal (Global horizontal irradiance)
STC:	Condiciones de prueba estandar (Standard test conditions)
CC:	Corriente continua
CA:	Corriente alterna
BESS:	Sistema de almacenamiento de energía con baterías (Battery energy storage system)
DoD:	Profundidad de descarga (Depth of discharge)
PCS:	Sistema de control de potencia (Power control system)
NTCSE:	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
AMT:	Alimentador

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
INTRODUCCIÓN	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
GLOSARIO DE TÉRMINOS	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
1. CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Marco referencial	1
1.1.1. Área y ámbito geográfico	1
1.2. El problema	2
1.2.1. Planteamiento del problema	2
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema principal	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis general	5
1.5.2. Hipótesis específicas	5
1.6. Variables	6
1.6.1. Identificación de variables	6

1.6.2.	Operacionalización de variables _____	6
1.7.	Justificación del problema _____	8
1.8.	Alcances y limitaciones _____	9
1.8.1.	Alcances _____	9
1.8.2.	Limitaciones _____	9
1.9.	Metodología _____	10
1.9.1.	Población _____	10
1.9.2.	Tipo y diseño de investigación _____	10
1.9.3.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos _____	10
1.10.	Matriz de consistencia _____	10
2.	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO _____	12
2.1.	Antecedentes _____	12
2.2.	Bases teóricas _____	14
2.2.1.	Bases teóricas de documentos académicos _____	14
2.2.2.	Generación distribuida _____	16
2.2.3.	Energía solar fotovoltaica _____	27
2.2.4.	Estructura de sistemas eléctricos de potencia _____	30
2.2.5.	Sistema fotovoltaico _____	35
2.2.6.	Calidad de energía _____	45
2.2.7.	Calidad de producto en tensión _____	47
2.2.8.	Cargabilidad _____	47
2.3.	Bases normativas _____	48
2.4.	Definición de términos _____	49
3.	CAPÍTULO III: SIMULACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO OPERATIVO DEL ALIMENTADOR DO-06 _____	50
3.1.	Introducción _____	50
3.2.	Diagrama de flujo de la obtención del modelo del alimentador DO-06 _____	50
3.3.	Descripción del sistema eléctrico en estudio _____	51
3.3.1.	Subestación de transformación de Dolorespata _____	51
3.3.2.	Alimentador DO-06 _____	53

3.3.3. Líneas y transformadores del alimentador DO-06 _____	55
3.4. Modelo eléctrico del alimentador DO-06 en DIgSILENT PowerFactory _____	60
3.5. Diagnóstico del Alimentador DO-06 _____	62
3.5.1. Demanda de potencia _____	62
3.5.2. Análisis de resultados de la simulación de flujo de potencia _____	64
3.5.3. Identificación de ubicaciones estratégicas para la instalación de generación distribuida. _____	69
3.6. Conclusiones del Capítulo III _____	71
4. CAPÍTULO IV: SIMULACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE GENERACIÓN	
DISTRIBUIDA EN EL ALIMENTADOR DO-06 _____	73
4.1. Introducción _____	73
4.2. Escenarios de inserción de generación distribuida fotovoltaica _____	73
4.2.1. Criterios de dimensionamiento para la inclusión de generación distribuida _____	73
4.2.2. Modelado del sistema eléctrico en el software de simulación _____	74
4.2.3. Calidad de tensión en escenario optimo. _____	98
4.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico _____	103
4.3.1. Dimensionamiento de la demanda energética del alimentador DO-06 _____	103
4.3.2. Análisis del recurso solar disponible _____	104
4.3.3. Descripción de la planta de generación distribuida fotovoltaica _____	105
4.3.4. Selección del panel solar _____	106
4.3.5. Dimensionamiento del inversor _____	108
4.3.6. Dimensionamiento del transformador _____	112
4.3.7. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento _____	112
4.3.8. Funcionamiento del generador distribuido fotovoltaico con un sistema de almacenamiento de baterías (BESS). _____	115
4.3.9. Esquema final del generador distribuido conectado a la red. _____	115
4.4. Conclusiones del Capítulo IV _____	118
5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA INCLUSIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA	
EN LA RED DEL ALIMENTADOR DO-06 _____	119
5.1. Introducción _____	119

5.2. Análisis e interpretación de resultados. _____	119
5.2.1. Criterios de evaluación de la calidad de tensión. _____	120
5.2.2. Evaluación de la calidad de tensión en escenario base. _____	120
5.2.3. Evaluación de la calidad de tensión en el escenario 04. _____	121
5.3. Análisis del impacto de la generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06 _____	126
5.3.1. Análisis de la mejora de caída de tensión _____	126
5.3.2. Pérdidas en los tramos de línea del alimentador _____	127
5.3.3. Nivel de Penetración _____	130
5.3.4. Dispersión _____	131
5.4. Recomendaciones técnicas para la implementación óptima de generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06 _____	131
5.5. Beneficios de la integración de generación distribuida fotovoltaica _____	133
5.5.1. Beneficios técnicos _____	133
5.5.2. Beneficios económicos _____	133
5.5.3. Beneficios ambientales _____	134
5.6. Conclusiones del Capítulo V _____	135
CONCLUSIONES _____	136
SUGERENCIAS _____	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	139
RELACIÓN DE ANEXOS _____	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del Alimentador DO-06</i>	1
Figura 2 <i>Elementos de la subestación eléctrica de Dolorespata</i>	2
Figura 3 <i>Parámetros del alimentador DO-06</i>	3
Figura 4 <i>Sistema eléctrico con la inclusión de Generación Distribuida</i>	8
Figura 5 <i>Penetración fotovoltaica 75%</i>	15
Figura 6 <i>Comparación de pérdidas técnicas (kW)</i>	16
Figura 7 <i>Sistema eléctrico con Generación Distribuida</i>	18
Figura 8 <i>Pérdidas vs Penetración en Generación Distribuida</i>	23
Figura 9 <i>Aumento de voltaje debido a la inclusión de generación distribuida.</i>	24
Figura 10 <i>Mapamundi de Radiación Solar</i>	28
Figura 11 <i>Energía solar incidente diaria de la Región Cusco</i>	29
Figura 12 <i>Sistemas de distribución a) Radial. b) Mallado.</i>	31
Figura 13 <i>Factor de potencia y cos phi.</i>	33
Figura 14 <i>Tipos de carga</i>	34
Figura 15 <i>Sistema fotovoltaico en una vivienda.</i>	35
Figura 16 <i>Paneles según su tipo de estructura.</i>	37
Figura 17 <i>Panel Solar Monocristalino</i>	38
Figura 18 <i>Panel Solar Policristalino</i>	39
Figura 19 <i>Panel solar de capa fina</i>	41
Figura 20 <i>Diagrama de bloques de la conexión entre un BESS y un sistema eléctrico de potencia.</i>	44
Figura 21 <i>Diagrama de flujo de la obtención del modelo en DIgSILENT del Alimentador DO-06</i>	51
Figura 22 <i>Diagrama Unifilar de la Subestación de Dolorespata y Quencoro</i>	52
Figura 23 <i>Topología del alimentador Dolorespata DO-06.</i>	54
Figura 24 <i>Cantidad de Subestaciones del Alimentador DO-06 según su potencia.</i>	56
Figura 25 <i>Cantidad de suministros por Subestación del Alimentador DO-06</i>	57
Figura 26 <i>Modelo eléctrico del Alimentador DO-06 en DigSILENT POWERFACTORY</i>	61
Figura 27 <i>Tensión por subestación del Alimentador DO-06 en escenario Base, Media y Punta</i> 65	

Figura 28 <i>Demanda de potencia por subestación del AMT DO-06 en escenario Base, Media, Punta</i>	66
Figura 29 <i>Nodos seleccionados del Alimentador DO-06</i>	70
Figura 30 <i>Propuesta de generación distribuida en el nodo 1</i>	75
Figura 31 <i>Propuesta de generación distribuida en el nodo 2</i>	76
Figura 32 <i>Propuesta de generación distribuida en el nodo 3</i>	76
Figura 33 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 01</i>	77
Figura 34 <i>Gráfica del Escenario 01</i>	78
Figura 35 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 02</i>	80
Figura 36 <i>Gráfica del Escenario 02</i>	81
Figura 37 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 03</i>	83
Figura 38 <i>Gráfica del Escenario 03</i>	84
Figura 39 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 04</i>	86
Figura 40 <i>Gráfica del Escenario 04</i>	87
Figura 41 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 05</i>	89
Figura 42 <i>Gráfica del Escenario 05</i>	90
Figura 43 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 06</i>	92
Figura 44 <i>Gráfica del Escenario 06</i>	93
Figura 45 <i>Gráfica de tensión en el Escenario 07</i>	95
Figura 46 <i>Gráfica del Escenario 07</i>	96
Figura 47 <i>Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 1 del alimentador</i>	98
Figura 48 <i>Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 2 del alimentador</i>	99
Figura 49 <i>Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 3 del alimentador</i>	100
Figura 50 <i>Tensión en el lado primario por subestación en los 7 escenarios</i>	102
Figura 51 <i>Irradiación solar en la zona del proyecto</i>	105
Figura 52 <i>Diagrama simplificado de la configuración del sistema fotovoltaico</i>	106
Figura 53 <i>Configuración de paneles por inversor en el nodo 1</i>	110
Figura 54 <i>Configuración de paneles por inversor en el nodo 2</i>	111
Figura 55 <i>BESS en los nodos 1 y 2</i>	112
Figura 56 <i>Diagrama unifilar de la GDFV en el nodo 1</i>	116
Figura 57 <i>Diagrama unifilar de la GDFV en el nodo 2</i>	117

Figura 58 <i>Tensión por subestación del Alimentador DO-06 sin GDFV vs con GDFV</i>	122
Figura 59 <i>Caída de tensión sin GDFV vs con GDFV</i>	126
Figura 60 <i>Tramo de línea 1</i>	127
Figura 61 <i>Tramo de línea 2</i>	128
Figura 62 <i>Tramo de línea 95</i>	128
Figura 63 <i>Tramo de línea 96</i>	129
Figura 64 <i>Nivel de penetración vs pérdidas.</i>	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Variable Independiente</i>	6
Tabla 2	<i>Variables Dependientes</i>	6
Tabla 3	<i>Operacionalización de Variables</i>	7
Tabla 4	<i>Matriz de consistencia</i>	11
Tabla 5	<i>Capacidad de generación distribuida</i>	21
Tabla 6	<i>Niveles de Penetración de Generación Distribuida</i>	26
Tabla 7	<i>Niveles de Dispersión de Generación Distribuida</i>	27
Tabla 8	<i>Funciones de un BESS</i>	45
Tabla 9	<i>Niveles de Tensión</i>	46
Tabla 10	<i>Transformador de potencia del Alimentador DO-06</i>	52
Tabla 11	<i>Ramales y cantidad de subestaciones del Alimentador DO-06</i>	55
Tabla 12	<i>Características de las Subestaciones del Alimentador DO-06</i>	57
Tabla 13	<i>Demanda de Potencia del Alimentador DO-06</i>	62
Tabla 14	<i>Demanda de Potencia de las subestaciones del Alimentador DO-06</i>	63
Tabla 15	<i>Sobrecarga de transformadores del Alimentador DO-06</i>	67
Tabla 16	<i>Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06</i> ...	68
Tabla 17	<i>Sobrecarga de los tramos de líneas en MT del Alimentador DO-06</i>	68
Tabla 18	<i>Combinaciones de nodos en los lugares planteados</i>	74
Tabla 19	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 1</i>	78
Tabla 20	<i>Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 01</i>	79
Tabla 21	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 2</i>	81
Tabla 22	<i>Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 02</i>	82
Tabla 23	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 3</i>	84
Tabla 24	<i>Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 03</i>	85
Tabla 25	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1 y 2</i>	87
Tabla 26	<i>Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 04</i>	88
Tabla 27	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1 y 3</i>	90
Tabla 28	<i>Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 05</i>	91
Tabla 29	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 2 y 3</i>	93
Tabla 30	<i>Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 06</i>	94

Tabla 31	<i>Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1, 2 y 3</i>	96
Tabla 32	<i>Tensión en los tres nodos con 03 GDFV en el escenario 07</i>	97
Tabla 33	<i>Resumen de escenarios de operación de la inserción de GDFV</i>	101
Tabla 34	<i>Características del módulo fotovoltaico</i>	107
Tabla 35	<i>Características del inversor</i>	109
Tabla 36	<i>Características del módulo de almacenamiento de energía</i>	114
Tabla 37	<i>Características del PCS</i>	114
Tabla 38	<i>Límite de tolerancia de tensión del alimentador DO-06 según la NTCSE</i>	120
Tabla 39	<i>Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del alimentador DO-06 sin GDFV</i>	120
Tabla 40	<i>Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 con GDFV</i>	121
Tabla 41	<i>Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 sin GDFV y con GDFV</i>	123
Tabla 42	<i>Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones sin GDFV y con GDFV</i> .	125
Tabla 43	<i>Análisis comparativo de la calidad tensión y pérdidas del Alimentador DO-06</i> .	129
Tabla 44	<i>Emisión de CO2 por tipo de generación</i>	134

1. CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

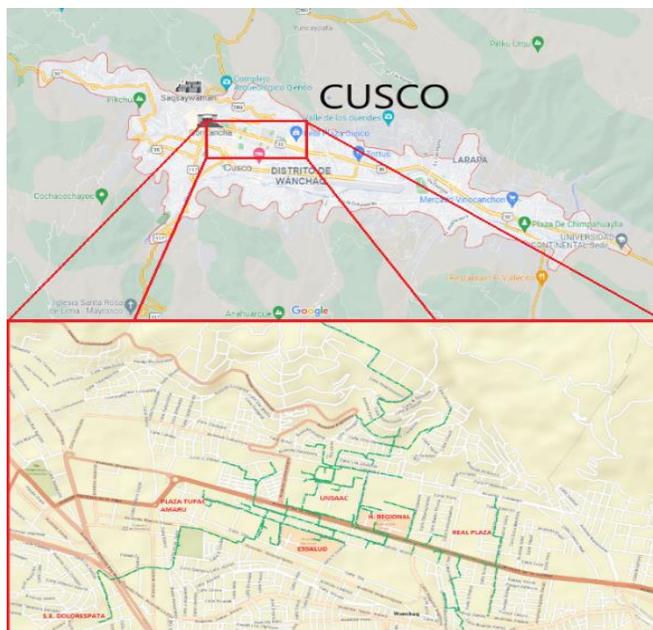
1.1. Marco referencial

1.1.1. Área y ámbito geográfico

La implementación de la presente tesis comprende el recorrido de las redes eléctricas de media tensión del alimentador Dolorespata 06 'DO-06', de la subestación eléctrica de transformación Dolorespata, estas redes están distribuidas por los distritos de Cusco y Wanchaq.

Figura 1

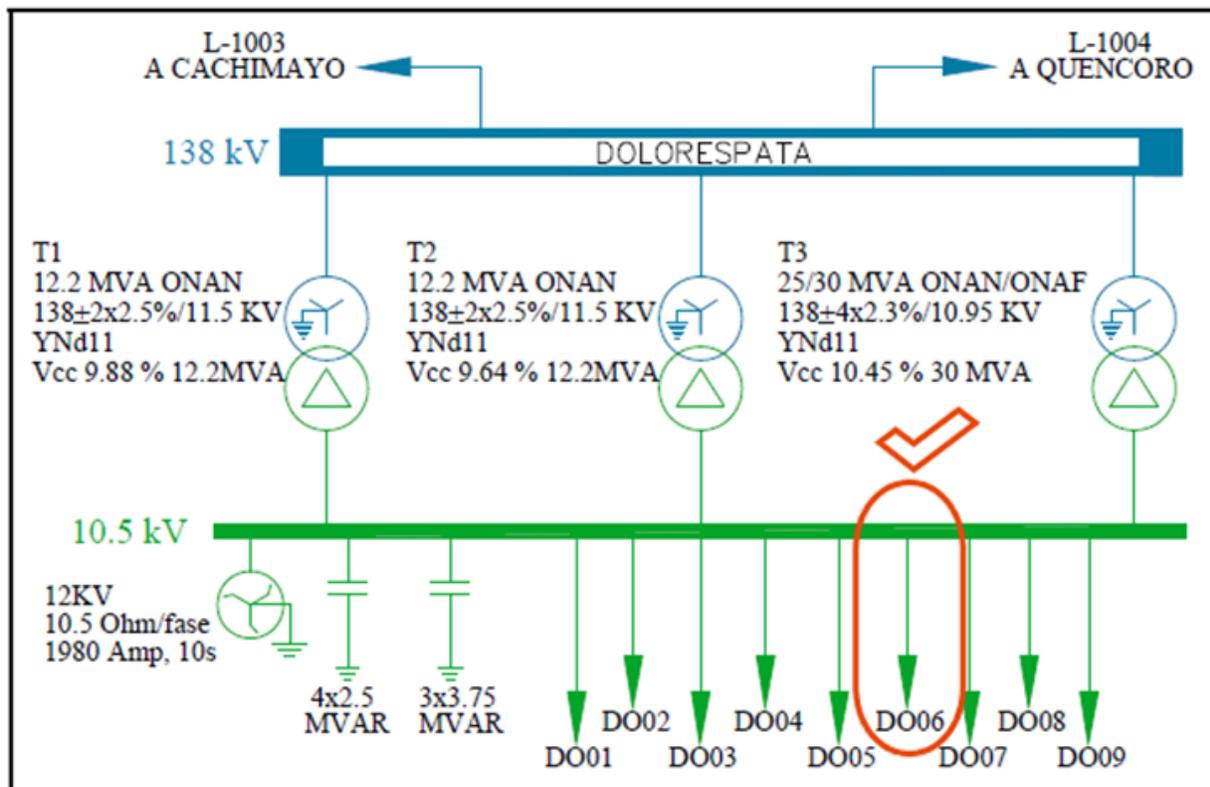
Ubicación del Alimentador DO-06



Fuente: Electro Sur Este S.A.A., Gerencia de Operaciones y elaboración propia.

Figura 2

Elementos de la subestación eléctrica de Dolorespata



Fuente: Centro de control, Electro Sur Este S.A.A. – Gerencia de Operaciones.

1.2. El problema

1.2.1. Planteamiento del problema

El alimentador DO-06 de la SET Dolorespata perteneciente a la empresa Electro Sur Este S.A.A. cuenta con un flujo de 3 837 kW de potencia activa y 157 kVAR de potencia reactiva en un escenario de demanda media; en máxima demanda estos valores se incrementan hasta en un (30-35) %, lo que significa que el alimentador se encuentra operando al límite de su capacidad originando caída de tensión en las zonas más alejadas y algunos nodos con mayor demanda, evidenciando que existe disminución de la calidad de tensión establecida en la norma, asimismo, este efecto se incrementaría con el aumento de la demanda eléctrica en la zona debido al desarrollo socio-económico, tecnológico y/o a las futuras expansiones del alimentador lo cual se traduce en

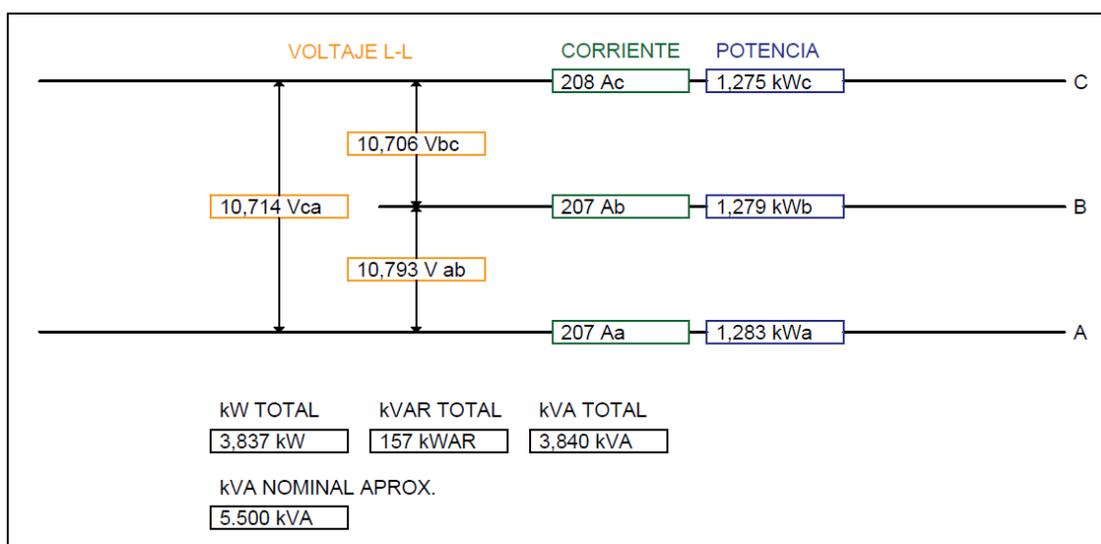
mayores distancias de recorrido. Esta situación provoca que, al ser la calidad de la energía eléctrica deficiente, impacta en el rendimiento y durabilidad de los dispositivos eléctricos y electrónicos de los usuarios; como resultado, podría haber una penalización por parte de la entidad reguladora hacia la empresa responsable de la distribución eléctrica, además de lo ya mencionado anteriormente.

Para hacer frente a este problema, se utilizará generación distribuida fotovoltaica como propuesta para mejorar la calidad de tensión en el alimentador, ya que esta tecnología utiliza paneles fotovoltaicos que van aumentando su eficiencia de manera sostenible en el tiempo (actualmente por encima del 20%), al mismo tiempo el precio de estas varía inversamente proporcional a la eficiencia tornándose cada vez más económica, debido a estos dos factores se considera más asequible y disponible sin dejar de ser competitiva frente a otros tipos de fuentes renovables.

También se considera el conjunto de normas aprobadas por el gobierno que abordan la aplicación de la generación distribuida. En este reglamento se establece que la capacidad máxima permitida para generar energía de forma descentralizada es de 500 kW. Si este límite se excede, será necesario contar con una autorización especial para la producción de energía eléctrica, conforme a lo estipulado en la Ley de Concesiones Eléctricas (LCE).

Figura 3

Parámetros del alimentador DO-06



Fuente: Centro de control, Electro Sur Este S.A.A. – Gerencia de Operaciones.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

Según lo expuesto en el planteamiento del problema se establece lo siguiente:

¿Cuál será el nivel de calidad de producto en tensión del alimentador DO-06?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es el nivel de calidad de tensión eléctrica con la cual se encuentra operando el alimentador DO-06?
2. ¿Cómo proponer la inserción de generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06 para mejorar la calidad de tensión?
3. ¿Cuál será el impacto de la inserción de generación distribuida fotovoltaica en la calidad de tensión del alimentador DO-06?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer un sistema de generación distribuida fotovoltaica eficiente para mejorar la calidad de producto en tensión del alimentador DO-06.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar el diagnóstico del estado actual de operatividad del alimentador DO-06.
2. Diseñar el sistema de generación distribuida fotovoltaica para mejorar la calidad de tensión en el alimentador DO-06.
3. Evaluar el impacto que se produce en la calidad de tensión al inyectar generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Se desarrollará el diagnóstico de la operatividad actual del alimentador DO-06, se identificarán los nodos de inserción de generación distribuida fotovoltaica mediante el uso del software DIgSILENT PowerFactory y se evaluará el cumplimiento de los estándares de calidad; de esta manera, se podrá mejorar la calidad del producto en tensión y reducir las pérdidas en el alimentador.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. Con la información proporcionada por la concesionaria Electro Sur Este S.A.A. y utilizando el software DIgSILENT PowerFactory, se identificará el estado actual de la calidad en tensión y las pérdidas del alimentador DO-06.
2. De los resultados del diagnóstico y a partir de la simulación en el software DIgSILENT PowerFactory, se identificarán y ubicarán estratégicamente los lugares en los que se insertará la generación distribuida fotovoltaica, lo que permitirá mejorar la calidad de tensión en el alimentador DO-06.
3. Haciendo la comparación del estado actual de operatividad del alimentador DO-06 con el escenario que incluye la inserción de generación distribuida fotovoltaica, se logrará determinar el cumplimiento de los estándares de calidad de tensión y la reducción de las pérdidas del alimentador.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de variables

Tabla 1

Variable Independiente

Variable Independiente	Indicador	Unidad
Generación distribuida	Energía	kWh

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Variables Dependientes

Variable Dependiente	Indicador	Unidad
Calidad de tensión	Variación de Tensión	$\% \Delta v$

Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Operacionalización de variables

Tabla 3 Operacionalización de Variables

PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL ALIMENTADOR DO-06 SET DOLORESPATA						
VARIABLE INDEPENDIENTE	Definición Conceptual	Definición operacional	Operacionalización			Escala de medición
			Dimensiones	Indicadores	Índice	
GENERACIÓN DISTRIBUIDA	<p>La generación distribuida se refiere a la instalación de una central eléctrica en la ubicación del consumidor o en una compañía de distribución local. Esta central suministra energía directamente a la red de distribución local y su tamaño es notablemente más reducido en comparación con las plantas de generación centralizada.</p> <p>La penetración de generación distribuida se entiende como la proporción de energía o potencia que la generación distribuida inyecta al sistema eléctrico en relación con la demanda total del área de estudio. Representa el nivel de participación de la GD en la cobertura de la carga y su influencia en los parámetros de calidad de energía.</p> <p>La potencia de generación distribuida es la capacidad máxima de producción de energía eléctrica que puede entregar una unidad o conjunto de unidades de GD al sistema de distribución. Refleja el nivel de aporte energético instantáneo de la GD y su influencia directa sobre los parámetros de operación del sistema</p>	<p>La energía obtenida mediante generación distribuida fotovoltaica será medida en los puntos de inserción que se encuentran en los nodos de la red de media tensión del alimentador, la cual se mide en kWh.</p> <p>La penetración de generación distribuida se mide como el cociente entre la potencia instalada de GD y la demanda máxima del alimentador o sistema, expresado en porcentaje.</p> <p>La potencia de GD se mide como el valor en kilovatios (kW) o megavatios (MW) de capacidad nominal instalada y conectada al sistema, considerada en el punto de interconexión.</p>	• Energía (kWh)	$E = P \times t$ E= Energía kWh P= Potencia (kW) t= Tiempo (hrs.)	Bajo < 40% Medio 40-60% Alto > 60%	Razón
			• Penetración (%)	$\%N = (P_{GD} / P_{carga}) \times 100$ %N=Penetración P _{GD} =Potencia GD P _{carga} = Potencia de la carga	Bajo < 40% Medio 40-60% Alto > 60%	Razón
			• Potencia (kW)	$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$ P= Potencia V= Tensión de línea I= Tensión de línea	Bajo < 40% Medio 40-60% Alto > 60%	Razón
VARIABLE DEPENDIENTE	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Escala de medición
CALIDAD DE TENSIÓN	<p>Calidad de tensión se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada al consumidor satisfaciendo los estándares establecidos en las normas, de tal manera que no afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes.</p> <p>La variación del nivel de tensión es la diferencia entre el valor real de la tensión en un punto del sistema de distribución y el valor nominal establecido por la normativa. Representa un indicador esencial de la calidad de la energía, ya que desviaciones excesivas afectan el desempeño de los equipos eléctricos y la estabilidad del sistema</p>	<p>La calidad de tensión será medida en los nodos de la red de media tensión del alimentador, será medida en porcentaje (%) y en por unidad (p.u.).</p> <p>La variación del nivel de tensión se mide como el porcentaje de desviación entre el valor de tensión en un nodo y el valor nominal (generalmente 1 p.u. o 100%)</p>	• Variación del nivel de tensión (%)	$\% \Delta V = (VK - VN / VN) \times 100$ VK =Tensión en el punto de entrega VN=Tensión nominal %ΔV=Variación de tensión	≤ 3% Muy buena 3-5 % Aceptable > 5% No aceptable	Razón

Fuente: Elaboración propia

1.7. Justificación del problema

El aumento de demanda de energía eléctrica en la ciudad de Cusco, es un indicador del crecimiento y desarrollo económico de la ciudad, razón por la cual este aumento de demanda origina la disminución de la tensión fuera de los rangos de tolerancia admitida, la misma que afecta el buen funcionamiento de los equipos electrónicos y la protección de los sistemas eléctricos debido a la mala calidad de tensión presente en diferentes puntos del alimentador.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de brindar una propuesta de solución para mejorar la calidad de tensión a través de un sistema de generación distribuida fotovoltaica, buscando de esta manera mitigar los problemas que implica la mala calidad de tensión.

Por lo expuesto anteriormente podemos indicar que la importancia de la inserción de la Generación Distribuida para efectos de esta tesis radica principalmente en la mejora de la calidad de tensión que se brinda al usuario del sistema eléctrico, además de los otros beneficios que se tiene por el uso de energía renovable y generación distribuida.

Figura 4

Sistema eléctrico con la inclusión de Generación Distribuida



Fuente: Elaboración propia

1.8. Alcances y limitaciones

1.8.1. Alcances

El proyecto desarrollará el diagnóstico del estado actual de la red de distribución primaria del alimentador DO-06, perteneciente a la Subestación Dolorespata, con base en los datos proporcionados por la empresa concesionaria Electro Sur Este S.A.A. Se evaluará la calidad del producto en tensión, en base a las tolerancias admitidas en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) y las pérdidas técnicas existentes.

Se diseñaron escenarios de inclusión de Generación Distribuida Fotovoltaica, utilizando el software de simulación DIGSILENT PowerFactory, con el objetivo de analizar su impacto en los niveles de tensión del alimentador. El estudio estará centrado en el comportamiento técnico del sistema.

1.8.2. Limitaciones

- El proyecto de tesis se limita al estudio del alimentador DO-06, sin extenderse a otros alimentadores de la Subestación Dolorespata ni al sistema de distribución general.
- Aunque la inserción de generación distribuida fotovoltaica afecta múltiples parámetros eléctricos, este trabajo se enfoca únicamente en el análisis de calidad de tensión y pérdidas técnicas.
- No se considera el análisis de perturbaciones eléctricas transitorias, coordinación de protecciones, ni el análisis económico de la implementación del sistema propuesto.
- La simulación realizada se basa en un modelo estático de flujo de carga en condiciones de máxima demanda, sin incluir análisis dinámico, variaciones horarias ni estacionales.
- La ubicación y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos y de almacenamiento (BESS) se han planteado bajo condiciones técnicas ideales, sin considerar restricciones físico-territoriales, sociales o regulatorias.
- Este estudio representa una propuesta técnica desarrollada mediante simulación en entorno académico, por lo tanto, sus resultados deben ser interpretados como una base referencial y no como un diseño definitivo para su implementación.

1.9. Metodología

1.9.1. Población

La población comprende las redes del alimentador DO-06 de la subestación eléctrica de transformación Dolorespata que se extienden por los distritos de Cusco y Wanchaq.

1.9.2. Tipo y diseño de investigación

1.9.2.1. Tipo de investigación. El tipo de investigación es: aplicada porque busca la aplicación y utilización de conocimientos para proporcionar soluciones a problemas y cuantitativa ya que se usa la recolección de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica.

1.9.2.2. Nivel de investigación. El nivel de la presente investigación es descriptiva correlacional ya que se diagnostica las redes de distribución del Alimentador DO-06 y se analiza el efecto que tendrá la inclusión de generación distribuida fotovoltaica sobre la calidad de tensión del Alimentador.

1.9.2.3. Diseño de investigación. Dado el caso, el diseño de la investigación es transversal, ya que se recolectan datos, además de describir y analizar las variables en un momento determinado.

1.9.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

1.9.3.1. Técnicas de recolección y análisis de datos:

- Datos estadísticos del alimentador provenientes de la empresa Electro Sur Este S.A.A.
- Documentos especializados.
- Observaciones.
- Revisión de registros existentes en libros y revistas.

1.9.3.2. Instrumentos de recolección y análisis de datos:

- Base de datos.
- Software: Microsoft Office, DIgSILENT PowerFactory, PVGIS, ArcGIS, AutoCAD.

1.10. Matriz de consistencia

Tabla 4 *Matriz de consistencia*

PROPUESTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL ALIMENTADOR DO-06 SET DOLORESPATA CUSCO					
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES	METODOLOGÍA
Integración de energías renovables en redes de distribución y calidad de energía eléctrica.	<p>PROBLEMA GENERAL: ¿Cuál será el nivel de calidad de producto en tensión del alimentador DO-06?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el nivel de calidad de tensión eléctrica con la cual se encuentra operando el alimentador DO-06? ¿Cómo proponer la inserción de generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06 para mejorar la calidad de tensión? ¿Cuál será el impacto de la inserción de generación distribuida fotovoltaica en la calidad de tensión del alimentador DO-06? 	<p>OBJETIVO GENERAL: Proponer un sistema de generación distribuida fotovoltaica eficiente para mejorar la calidad de producto en tensión del alimentador DO-06.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ol style="list-style-type: none"> Desarrollar el diagnóstico del estado actual de operatividad del alimentador DO-06. Diseñar el sistema de generación distribuida fotovoltaica para mejorar la calidad de tensión en el alimentador DO-06. Evaluar el impacto que se produce en la calidad de tensión al inyectar generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL: Se desarrollará el diagnóstico de la operatividad actual del alimentador DO-06, se identificarán los nodos de inserción de generación distribuida fotovoltaica mediante el uso del software DIgSILENT PowerFactory y se evaluará el cumplimiento de los estándares de calidad; de esta manera, se podrá mejorar la calidad del producto en tensión y reducir las pérdidas en el alimentador</p> <p>HIPÓTESIS ESPECIFICAS:</p> <ol style="list-style-type: none"> Con la información proporcionada por la concesionaria Electro Sur Este S.A.A. y utilizando el software DIgSILENT PowerFactory, se identificará el estado actual de la calidad en tensión y las pérdidas del alimentador DO-06. De los resultados del diagnóstico y a partir de la simulación en el software DIgSILENT PowerFactory, se identificarán y ubicarán estratégicamente los lugares en los que se insertará la generación distribuida fotovoltaica, lo que permitirá mejorar la calidad de tensión en el alimentador DO-06. Haciendo la comparación del estado actual de operatividad del alimentador DO-06 con el escenario que incluye la inserción de generación distribuida fotovoltaica, se logrará determinar el cumplimiento de los estándares de calidad de tensión y la reducción de las pérdidas del alimentador. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Generación Distribuida <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Energía (kWh) Penetración (%) Potencia (kW) <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Calidad de Tensión <p>Indicadores de la variable dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> Variación de tensión (%) 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cuantitativa Aplicada <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> Descriptivo correlacional <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> Transversal <p>TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Datos estadísticos del alimentador provenientes de la empresa Electro Sur Este S.A.A. Documentos especializados. Observaciones. Revisión de registros existentes en libros y revistas. <p>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Base de datos. Software: Microsoft Office, DIgSILENT PowerFactory, PVGIS, ArcGIS, AutoCAD.
OBJETO DE ESTUDIO					
La influencia de la generación distribuida en la calidad de energía en el alimentador DO-06.					

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Impactos Por La Integración De La Generación Distribuida Con Energía Solar Fotovoltaica En Redes De Media Tensión De La Ciudad Del Cusco. (2020). Callasi Quispe, J. W. [Tesis doctoral, Universidad Andina Del Cusco, Perú].

El objetivo de este trabajo de tesis fue determinar los impactos positivos y negativos ocasionados por la integración de la Generación Distribuida con energía solar fotovoltaica en cargas eléctricas de media tensión de la ciudad del Cusco 2019. Se concluyó que la Generación Distribuida como suministro eléctrico interconectado a la carga estudiada, representa una serie de impactos positivos entre los que destacan significativamente el espacio técnico, ambiental, social, normativo y económico, por cuanto los impactos negativos se reconocen y orientan al dimensionamiento que impele la instalación de la tecnología solar, para la provisión de la potencia solicitada.

2.1.2. Efecto De La Instalación De Generación Distribuida Fotovoltaica En El Perfil De Tensión: Un Caso De Estudio Del Sistema De Distribución Rural De Yogyakarta Indonesia. (2019). Anugrah Fitrah G, Lesnanto Multa Putranto [Conferencia Internacional de Tecnología de la Información y las Comunicaciones (ICOIACT), IEEE, Indonesia]

El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de la penetración de generación distribuida en este caso fotovoltaica ubicada en dos lugares de la red del alimentador de distribución de Bantul Regency, primero al medio del alimentador y posteriormente al final del mismo, esto se realizó con el software OPEN DSS con datos reales del alimentador en 20 kV de tensión. Al realizarse la

simulación para cada escenario se vieron los resultados en los cuales se muestran que la penetración de la energía fotovoltaica puede aumentar el perfil de tensión, además que los efectos de la penetración son diferentes para cada escenario, los cuales son causados por la posición de la generación fotovoltaica y por el porcentaje de penetración para cada caso. Concluyendo que los resultados de las simulaciones muestran que no hay disminución de tensión por penetración de generación distribuida, así como sobretensiones, aplicando los criterios correctos de localización y penetración.

2.1.3. Estudio Técnico Económico De Generación Eléctrica Usando Paneles Fotovoltaicos En La Ciudad Universitaria De Perayoc De La Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco. (2019). Pareja Soria, A. J., Pareja Cabrera, F. J. [Tesis de Grado, Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, Perú].

El propósito de esta Tesis consistió en desarrollar un análisis técnico y económico de un sistema de producción de energía eléctrica mediante la colocación de paneles solares en el campus universitario de PERAYOC perteneciente a la Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, así mismo se determinó la capacidad de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en el campus universitario. Se concluyó que es técnica y económicamente viable el proyecto en mención y que la inversión realizada será recuperada en 20 años.

2.1.4. Impacto De La Generación Distribuida En El Comportamiento De Los Sistemas De Potencia. (2008). González Longatt, F. M. [Tesis doctoral, Universidad Central De Venezuela, Venezuela].

El propósito de este estudio de tesis consistió en examinar cómo los niveles significativos de penetración de generación distribuida influyen en el funcionamiento del sistema eléctrico, se definieron los principios operativos y las particularidades destacadas de todas las tecnologías de conversión energética involucradas, así como los modelos de las principales tecnologías de generación distribuida que puedan ser empleados en las simulaciones y su integración al modelo del sistema de potencia, también se efectúan las discusiones pertinentes para establecer las consideraciones sobre los posibles escenarios de integración de la generación distribuida mediante indicadores cualitativos y cuantitativos; haciendo uso de programas computacionales se realizan simulaciones sobre redes de prueba en régimen estacionario y dinámico y se evalúa el efecto de la

integración de la generación distribuida, al concluir este estudio, se examinan las consecuencias observadas en los hallazgos y se llega a una conclusión acerca de cómo la incorporación de la generación distribuida afecta el comportamiento de los sistemas eléctricos de potencia.

2.1.5. Generación Distribuida En Redes Secundarias En Arequipa. (2017). Cornejo Solórzano, V. H. [Tesis de Doctoral, Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa, Perú].

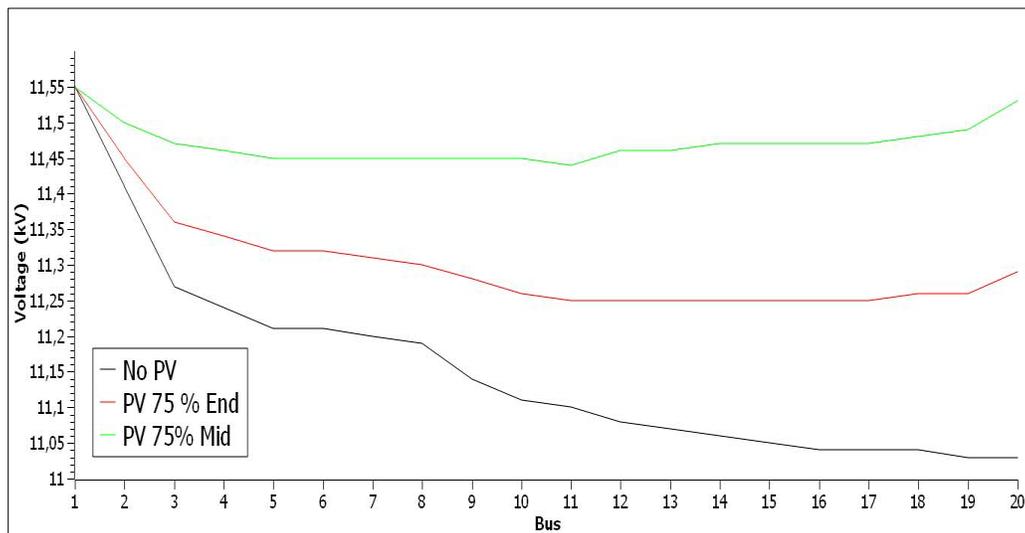
El propósito de este trabajo de investigación fue analizar cómo la generación distribuida afecta los parámetros de una red eléctrica secundaria en la ciudad de Arequipa. Esto se llevó a cabo al incorporar plantas de generación fotovoltaica en una zona específica del distrito de Yanahuara, ubicado en el departamento de Arequipa, de la cual se seleccionó al azar un conjunto de 113 viviendas para su análisis basado en el consumo eléctrico.

Luego, al realizar un análisis de simulación tanto del modelo real como del modelo que incluye la adición de generación distribuida a través de instalaciones fotovoltaicas en varios escenarios, se pudo confirmar que la incorporación de generadores fotovoltaicos en áreas específicas con problemas de suministro eléctrico conlleva a una mejora en los parámetros eléctricos de la red.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Bases teóricas de documentos académicos

2.2.1.1. Efecto de la instalación de generación fotovoltaica distribuida en el perfil de tensión: Un estudio de caso de sistema de distribución en Yogyakarta Indonesia. De acuerdo con Anugrah et al. (2019) “Muestra los resultados de la simulación de la instalación fotovoltaica como DG en el medio y al final del alimentador en un 75 %. Se considera que la instalación de PV en un 75 % en el medio y al final del alimentador es más capaz de mejorar el perfil de voltaje que la instalación de PV en el medio y al final del alimentador en un 50 %. En la instalación fotovoltaica del 75 % en el medio del alimentador en la barra 12 tiene la tensión más baja del perfil de tensión de 11,47 kV y la instalación fotovoltaica del 75 % al final del alimentador en la barra 20 solo tiene la tensión más baja en el perfil de tensión perfil de 11,29 kV.” (p. 3)

Figura 5*Penetración fotovoltaica 75%*

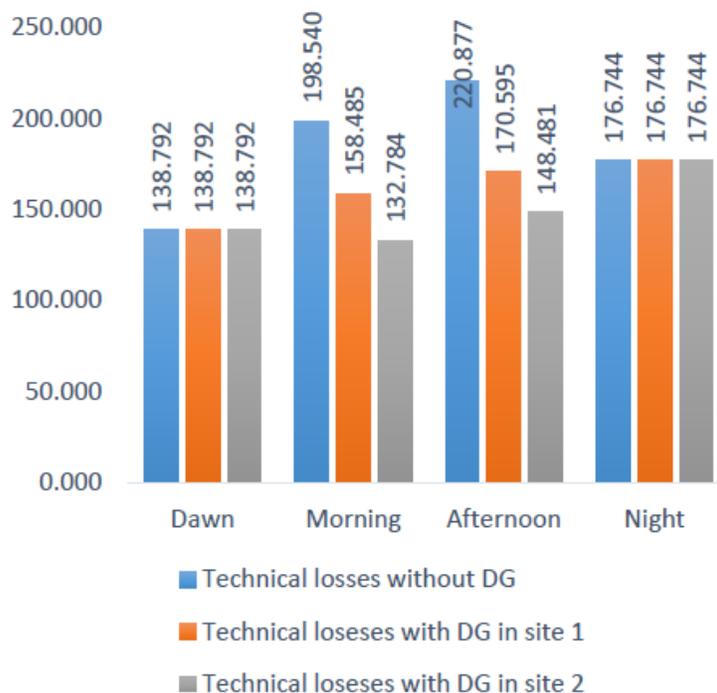
Fuente: Anugrah et al. (2019) – IEEE

Este estudio ha demostrado que “Los efectos de la penetración fotovoltaica tienen diferencias para cada escenario, ya sea en modo instantáneo o diario. Esta diferencia es causada por la posición de colocación de PV en el alimentador y también por el porcentaje de penetración de PV. Este aumento de voltaje puede interpretarse como que la instalación fotovoltaica como GD puede ayudar a mejorar el perfil de voltaje en el alimentador.” (p. 5)

2.2.1.2. Uso de generación distribuida fotovoltaica para reducir pérdidas técnicas en zonas con alimentadores sobrecargados. Este estudio de Rodolfo et al. (2020) tiene como objeto “simular la inserción de una planta de generación solar en un área donde existe un alimentador de sobrecarga, midiendo la reducción de pérdidas técnicas eléctricas. Se seleccionó un transformador de 2,99 MVA con un 30% de sobrecarga en horario de tarde, de manera que se pudiera colocar la fuente generadora solar de hasta 1 MWp para traslapar este. Se utilizó el software Interplan para simular el impacto en pérdidas técnicas. Se pudo observar una reducción de hasta un 33,12% en las pérdidas técnicas de energía por la inserción de la generación distribuida.” (p. 1)

Figura 6

Comparación de pérdidas técnicas (kW)



Fuente: de Rodolfo et al. (2020) – IEEE

Demuestra que “una inserción de la generación distribuida en una región más cercana a un área con mayor densidad de carga fue más efectiva, alcanzando valores de 65.756 kW o 33,12% y 72.396 kW o 32,78%.” (p. 3)

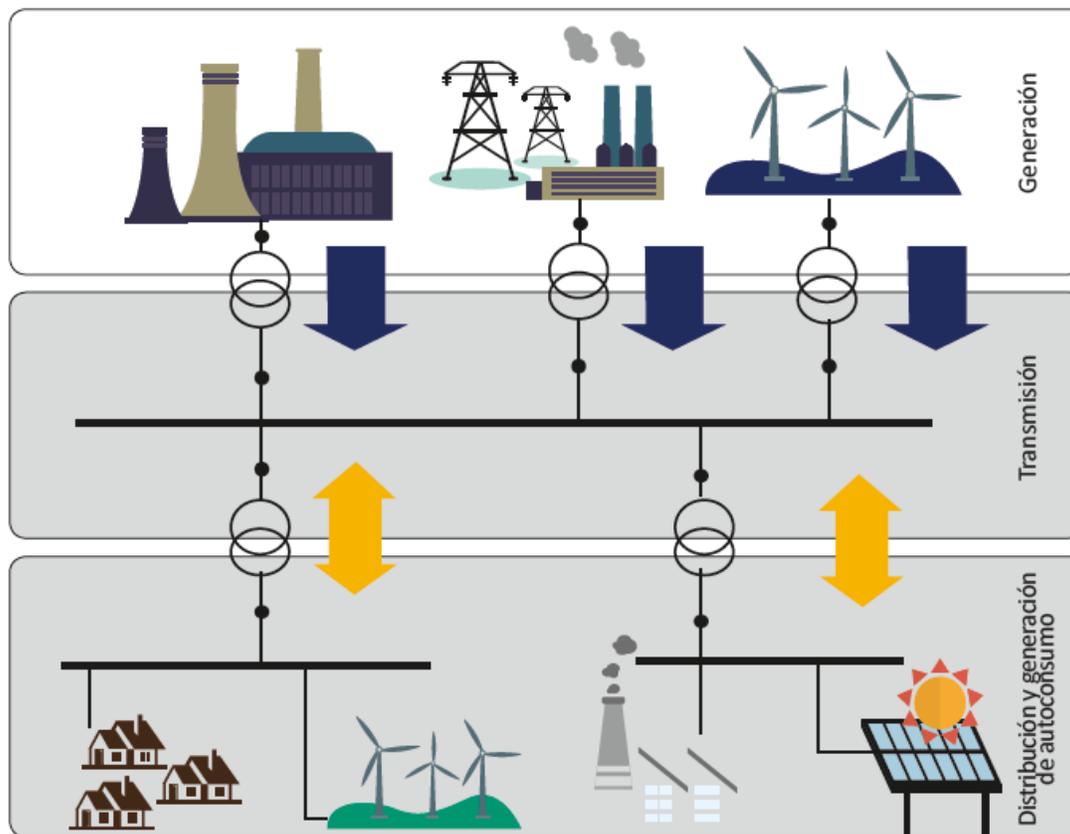
2.2.2. Generación distribuida

2.2.2.1. Definición. La generación distribuida como un enfoque diferente en la industria del suministro de energía eléctrica tiene muchas definiciones, que se encuentran en la literatura especializada, estas tienen muchas coincidencias, pero no se llega a una única definición que pueda ser universalmente aceptada, por lo que a continuación, se exponen algunas de las definiciones que se encuentran en la bibliografía especializada.

- La Agencia Internacional de la Energía (IEA), define a “la generación distribuida como: aquella planta de generación de electricidad en el sitio del consumidor, o en una empresa local de distribución, que suministra potencia directamente a la red local de distribución” (IEA, 2002, como se citó en González, 2008, p. 3)

- El Consejo Internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE), define la “Generación Distribuida como todos los generadores con una capacidad de entre 50 MW a 100 MW máxima, conectados al sistema eléctrico de distribución, y que no están diseñados ni despachados de forma centralizada.” (CIGRE, 2015, p, 4)
- La IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), define la generación distribuida, como instalaciones para la generación de electricidad (tanto generadores como tecnología para el almacenamiento), conectadas a un área de Sistema de potencia a través de un punto de acoplamiento. (IEEE, 2018, p. 22)
- De igual manera González Longatt (2018), define lo siguiente:
“Generación distribuida es considerada como una fuente de generación de energía eléctrica conectada al sistema de potencia en un punto muy cercano o en la ubicación del consumidor, ya sea del lado de este o de la red, que es suficientemente pequeño comparado con las plantas centralizadas. (p. 5)

En el Perú, dentro la normativa del MINEM, la prepublicación del “Reglamento de Generación Distribuida”, artículo primero, define la generación distribuida como: Una instalación de producción conectada directamente a la red de distribución y que se subdivide en Mediana Generación Distribuida (MGD) con capacidad mayor a 200 KW y menor o igual a 10 MW y Microgeneración Distribuida (MCD), que en ningún caso debe superar los 200 KW de potencia.

Figura 7*Sistema eléctrico con Generación Distribuida*

Fuente: GPAE-Osinergmin

2.2.2.2. Ventajas y desventajas de la generación distribuida

Ventajas: La Generación Distribuida (GD) ofrece una amplia gama de ventajas, ya que puede ser utilizada por diversos tipos de usuarios, desde empresas generadoras hasta hogares. De esta manera, la GD constituye un modelo en el cual las fuentes de energía tienen todas las posibilidades de prosperar, especialmente las energías renovables. El actual auge de los sistemas de GD se debe a las ventajas inherentes que conlleva la implementación de esta tecnología, tanto para los usuarios como para la red eléctrica, ya que permite resolver los desafíos que plantea la generación convencional.

Se dividen principalmente en 3 grupos:

- Técnicas
- Económicas
- Medioambientales

a) Ventajas técnicas:

- Al descentralizar la generación, se puede disminuir la congestión en las líneas de transmisión, evitando cuellos de botella en el flujo de energía y mejorando la eficiencia del sistema.
- La generación distribuida puede ser utilizada para inyectar potencia reactiva a la red y de esta manera ayuda a estabilizar el sistema.
- La generación distribuida puede ser utilizada en cogeneración y trigeneración dependiendo de la fuente primaria y el uso de esta.
- Es de gran ayuda para afrontar la demanda de energía eléctrica, especialmente en horario punta de demanda y en zonas de difícil acceso donde no llegan las líneas de transmisión.
- La calidad de la energía eléctrica puede mejorar con la generación distribuida al introducir energía con atributos específicos y en lugares particulares. Colocar adecuadamente una planta de generación distribuida puede disminuir las pérdidas de energía en las redes de transmisión y distribución, lo que conlleva ventajas económicas asociadas a estas pérdidas.
- La generación distribuida aumenta la resiliencia y fiabilidad del sistema. En caso de fallas en la fuente principal de suministro de energía, las fuentes de generación distribuida pueden continuar suministrando energía, reduciendo el impacto de las interrupciones.

b) Ventajas económicas:

- Puede evitar la obligación de construir extensas infraestructuras de generación y transmisión destinadas a transportar energía a largas distancias hasta los lugares de uso, lo que posiblemente resulte en la disminución de los gastos relacionados con el crecimiento de la red eléctrica.
- Al generar energía cerca de los puntos de consumo, se disminuyen las pérdidas de energía que ocurren durante la transmisión a largas distancias que se disipan en forma de calor, lo que resulta en ahorros económicos a lo largo del tiempo.
- Diversificación en el mercado energético promoviendo la participación de un gran número de pequeñas y medianas empresas locales en negocios de generación de energía, lo que lleva a una mayor diversidad de opciones de precios.

- La generación distribuida basada en fuentes de energía renovable, puede reducir la dependencia de combustibles fósiles importados, lo que puede ayudar a estabilizar los precios de la energía a largo plazo.

c) Ventajas medioambientales:

- La generación distribuida basada en fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, produce muy bajas o nulas emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ayuda a mitigar el cambio climático y disminuye la contribución a problemas ambientales globales.
- Al aprovechar fuentes de energía renovable, la generación distribuida disminuye la demanda de recursos no renovables, como el petróleo y el gas. Esto ayuda a preservar los recursos naturales y reduce la presión sobre los ecosistemas.
- Menor dependencia de combustibles fósiles, lo que evita la sobreexplotación de estos y ayuda a los objetivos medioambientales planteados por gobiernos y organizaciones en aras de reducir la contaminación y cumplir acuerdos y regulaciones internacionales.

Desventajas:

- Una barrera de entrada en relación a estas tecnologías surge debido a los aspectos técnicos de implementación, así como a las consideraciones legales y regulatorias.
- Coordinar y regular el flujo de energía de manera eficiente en una red descentralizada puede ser una tarea compleja al administrar diversas unidades de generación distribuida, ya que demanda la implementación de sistemas de control avanzados.
- Ciertas fuentes de energía renovable, como la solar y la eólica, muestran intermitencia y están sujetas a las condiciones climáticas. Esto podría complicar la capacidad de prever la generación y llevar a la necesidad de implementar medidas de respaldo, como sistemas de almacenamiento de energía.

2.2.2.3. Clasificación de la generación distribuida

a) Según la fuente de energía:

- Por fuentes de energía renovable
- Por fuentes de energía no renovable

b) Por el tipo de tecnología:

- Sistemas fotovoltaicos
- Sistemas eólicos
- Generación hidroeléctrica pequeña
- Cogeneración
- Pilas de combustibles
- Micro turbinas
- Motores de combustión interna
- Ciclo combinado
- Turbina de gas
- Mareomotriz

c) Por la capacidad de generación:

Según Gonzales (2008), la clasificación por capacidad de generación es según la tabla 5:

Tabla 5

Capacidad de generación distribuida

Clase	Tamaño Relativo
Micro generación distribuida	1 Watt < 5 KW
Pequeña generación distribuida	5 KW < 5 MW
Mediana generación distribuida	5 MW < 50 MW
Gran generación distribuida	50 MW < 300 MW

Fuente: González Longatt, 2008.

d) Según la ubicación

- Conectada a la red
- Sistemas que suministran electricidad a la red eléctrica principal.
- Aislada (Off-Grid)

e) Según la aplicación

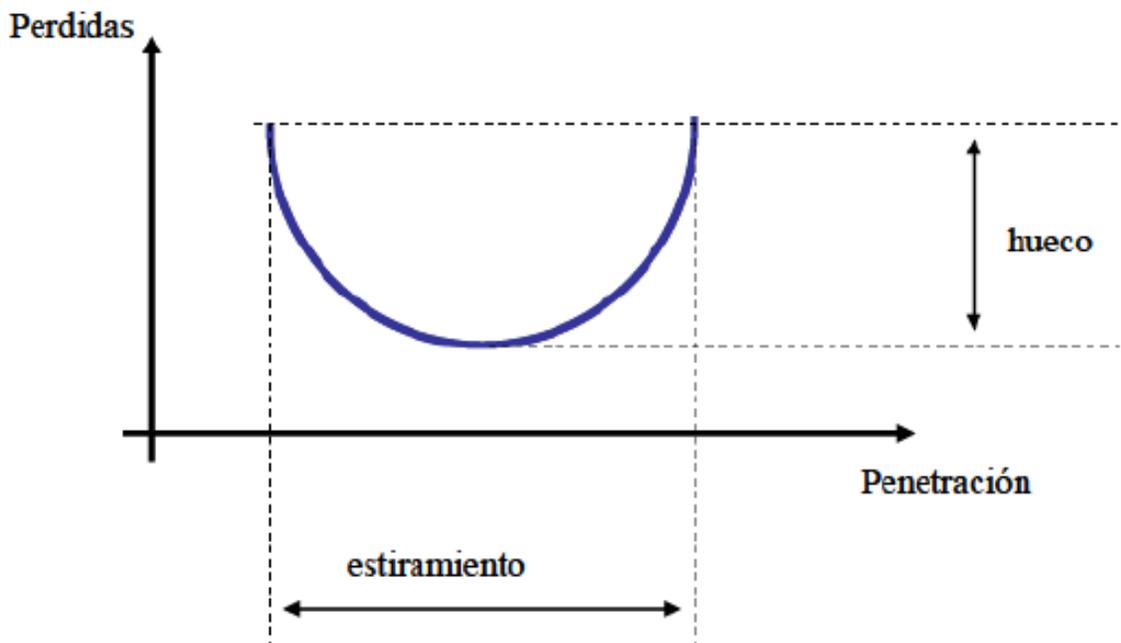
- Residencial
- Comercial
- Industrial

2.2.2.4. Impactos técnicos de la generación distribuida. El impacto de la generación distribuida en sistemas eléctricos como expresa Gonzales (2008):

Mientras que la capacidad total de la generación distribuida se mantenga en bajos valores, su impacto en la operación del sistema de potencia permanecerá marginal. Sin embargo, a medida que la capacidad de generación distribuida se incrementa, el impacto que esto tendrá sobre la red se intensificará. (p. 160)

Teniendo además en consideración que los sistemas eléctricos de distribución que se encuentran en zonas urbanas o urbanas rurales no están diseñados para que puedan albergar generación in situ, estos impactos cobran mayor importancia en su identificación y cuantificación, por lo que a continuación se detallan los que tiene mayor relevancia ya sea de manera positiva o negativa en una red eléctrica.

a) Impactos en las pérdidas. La generación distribuida al estar ubicada cerca a la carga, reduce la cantidad de energía transportada hacia la red de distribución, que normalmente son largas distancias desde el centro de generación convencional, las menores distancias que recorre la energía eléctrica disminuye las pérdidas asociadas con la resistencia de los conductores; otro factor importante que afecta el nivel de pérdidas, es el nivel de penetración de esta en la red eléctrica, ya que como afirma Gonzales (2008) “a niveles bajos de generación distribuida, las pérdidas de potencia decrecen, pero a más altos niveles de penetración, las pérdidas marginalmente crecen e incluso pueden llegar a ser superiores a las que existen sin generación distribuida” (p. 164), esto se observa en la figura 8, cabe aclarar que: no existe un nivel de exacto de penetración en el cual ocurre este fenómeno ya que cada red eléctrica tiene características diferentes.

Figura 8*Perdidas vs Penetración en Generación Distribuida*

Fuente: La generación distribuida en España.

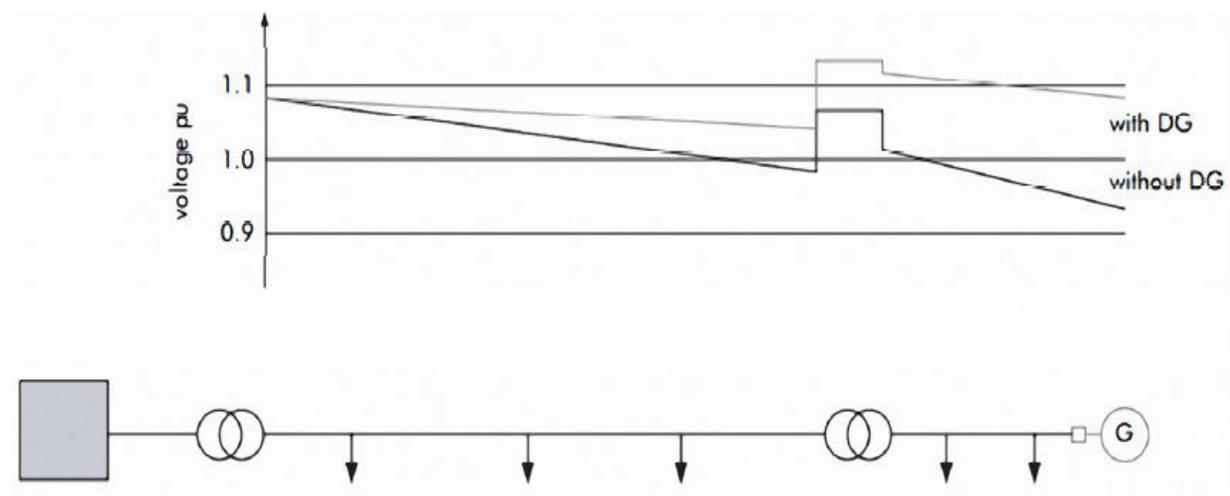
b) Impactos en el perfil de tensión. Según Dulau (2014):

Por el diseño unidireccional de las redes de distribución, el voltaje reduce con la distancia entre el generador o transformador hasta la carga. Estas caídas de tensión son predecibles y se tienen en cuenta en el diseño de la red para que la tensión esté dentro de la tolerancia en condiciones normales. Cuando se conecta una unidad de generación distribuida, los flujos de corriente cambian o incluso se invierten, y el voltaje generalmente aumentará de una manera que no es fácil de predecir. El requisito de cumplir con los límites de voltaje legales restringe la capacidad de generación distribuida que se puede conectar al sistema, particularmente en el nivel de voltaje bajo (p. 684).

Por lo que la inclusión de generación distribuida resulta beneficiosa para la calidad de producto en un sistema de distribución radial, siempre y cuando se incluya esta de manera óptima en cuanto a la ubicación y cantidad de la misma, como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Aumento de voltaje debido a la inclusión de generación distribuida.



Fuente: ScienceDirect (2014)

c) Impactos en el flujo de carga. La generación distribuida puede causar efectos de inversión de flujo de potencia especialmente en redes que fueron diseñadas para flujos de carga unidireccionales como son las redes eléctricas radiales, esto se debe a los niveles de penetración por encima del 100% de la carga total de la red lo cual quiere decir que se está inyectando a la red más energía de la que consume y por lo tanto esta energía extra es inyectada al sistema de transmisión, esto a su vez afecta a los sistemas de protección que existan en la red de distribución.

d) Impactos en la corriente de corto circuito. Las fallas por corto circuito son condiciones anómalas de operación en el sistema eléctrico que hacen circular corrientes muy elevadas en la red, con la inclusión de generación distribuida el valor de esta se modifica dependiendo de la tecnología con la cual se inyecta energía a la red, la cual hasta puede comprometer la coordinación de protecciones de la misma si la generación distribuida es implementada a gran escala en la red. La tecnología basada en sistemas fotovoltaicos hace uso de un inversor para suministrar energía a la red y como afirma Gonzales (2008), “En las tecnologías basadas en una interfaz a la red de convertidor electrónico, como son las que tiene un inversor, la corriente de falla depende del diseño de este”.

2.2.2.5. Indicadores de la generación distribuida. Según González (2008) para examinar los aspectos que se derivan de la integración de generación distribuida son necesarios indicadores para caracterizar cuantitativamente los posibles escenarios de esta integración de energía a la red en estudio, en tal sentido define dos indicadores, los cuales son:

- Nivel de penetración.
- Nivel de dispersión.

a) Nivel de Penetración. El nivel de penetración de la Generación Distribuida (%NivelGD) definida por González (2008), es la fracción de la carga total del sistema (P_{carga}) que es servida por la GD, siendo definido por (p. 81):

$$\%NivelGD = \frac{P_{GD}}{P_{carga}} \times 100\%$$

Donde:

P_{GD} : Potencia producida por la generación distribuida.

P_{Carga} : Potencia total de la carga.

Cuando la capacidad de generación distribuida instalada en la red es exactamente igual a la carga se considera que el nivel de penetración es del 100% y es el escenario ideal, de igual manera cuando la generación distribuida es superior a la carga permite la exportación de energía de la red, el cual se considera un caso utópico ya que se tendría que tener un mercado demasiado favorable para que esto ocurra.

Tomando en cuenta el nivel de penetración de la generación distribuida en el área del sistema de potencia en estudio, se puede definir cuantitativamente algunos escenarios posibles de estudio, que serán considerados en el desarrollo del presente trabajo de investigación, como sigue en la tabla 6.

Tabla 6*Niveles de Penetración de Generación Distribuida*

NIVEL DE PENETRACIÓN	INTERVALO (%)
MUY BAJO	0% a 20%
BAJO	21% a 40%
MEDIO	41% a 60%
ALTO	61% a 80%
MUY ATO	81% a 100%

Fuente: En referencia González Longatt, 2008.

b) Nivel de Dispersión. El nivel de dispersión (%Dispersión GD) según Gonzales (2008), “es la relación del número de nodos, en los cuales, hay generación distribuida (#BusGD) y el número de nodos, en los cuales existe consumo (#BusLoad)”. (p. 82)

$$\%DispersiónGD = \frac{\#BusGD}{\#BusLoad} \times 100\%$$

Donde:

#BusGD: Numero de nodos con GD.

#BusLoad: Número total de nodos.

Cuando el nivel de dispersión es 0% se afirma que solo existe energía generada desde el sistema centralizado y por el contrario cuando el nivel de dispersión es el 100% se tiene generación distribuida en todos los nodos de la red donde exista demanda de potencia.

Tomando en cuenta el nivel de dispersión de la generación distribuida en el área del sistema de potencia en estudio, se puede definir cuantitativamente algunos escenarios posibles de estudio, que serán considerados en el desarrollo del presente trabajo de investigación, como sigue en la tabla 7.

Tabla 7*Niveles de Dispersión de Generación Distribuida*

NIVEL DE DISPERSIÓN	INTERVALO (%)
MUY BAJO	0% a 20%
BAJO	21% a 40%
MEDIO	41% a 60%
ALTO	61% a 80%
MUY ATO	81% a 100%

Fuente: En referencia a González Longatt, 2008.

2.2.3. Energía solar fotovoltaica**2.2.3.1. Definición.** Según Wikipedia (2021):

“La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.”

Este tipo de energía se utiliza en centrales solares fotovoltaicas de manera convencional, también son usadas como una opción para abastecer de energía eléctrica a cargas que no se encuentran conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SEIN), principalmente por estar muy alejadas y con difícil acceso a alguna red de distribución de energía eléctrica, pero en este tiempo su uso se encuentra proliferándose de manera que ahora muchos usuarios de energía eléctrica que se encuentran conectados a la red la utilizan como una opción más que tentadora para suplir sus necesidades de energía eléctrica, además que la ven como un modelo de negocio ya que pueden de igual manera inyectar el excedente o en todo caso toda la energía que generaran hacia la red con lo que entran al mercado eléctrico de generación, este tipo de modelo de negocio se encuentra regulado en varios países del primer mundo pero en el nuestro aún no se encuentra regulado ni reglamentado, lo cual necesita de muchos esfuerzos ya que no solo hay barreras en cuanto a regulación sino también en cuanto a la parte técnica de implementación y operación.

El mercado fotovoltaico mundial está alcanzando elevados niveles crecimiento en los últimos años, además de un incremento constante en la competitividad de los sistemas de generación de energía

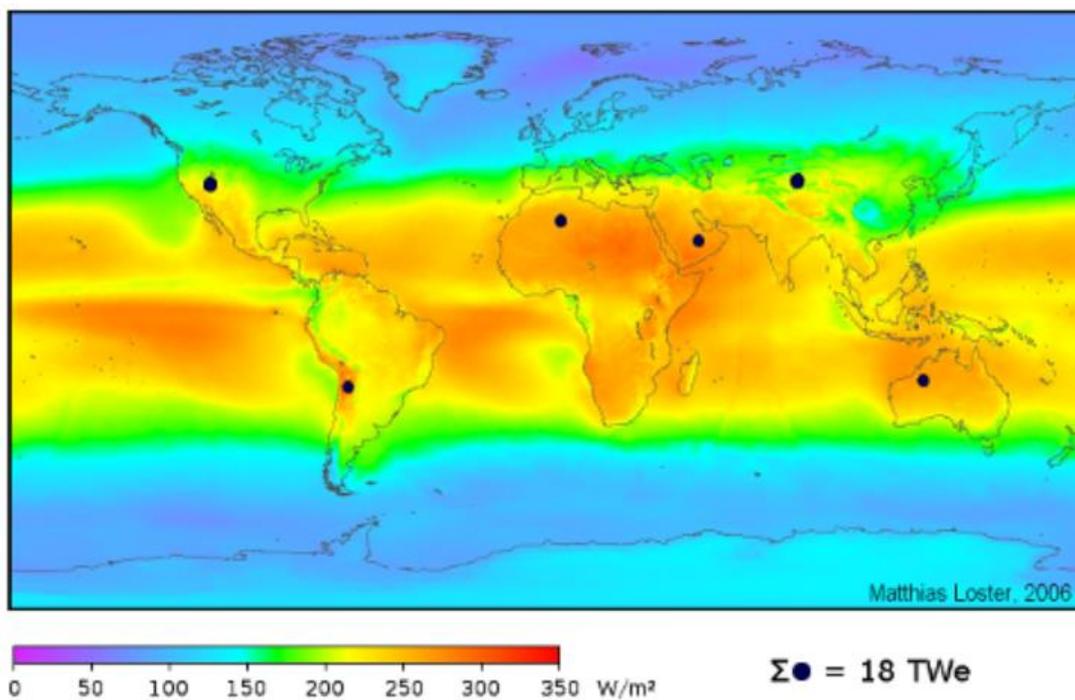
fotovoltaica, todo esto hace que el mercado fotovoltaico tenga uno de los adelantos tecnológicos más notorios en la industria energética.

Según los datos de Wikipedia (2021): “El crecimiento de la industria, las aplicaciones y mercados han inducido que a finales de 2018 la potencia total instalada en todo el mundo alcanzó los 500 GW de potencia fotovoltaica, y solo en 2018 se instalaron 100 GW”.

En la figura 10 los pequeños puntos en el mapa muestran el área total de generación de energía fotovoltaica necesaria para cubrir la demanda mundial de energía usando paneles solares con una eficiencia del 8%.

Figura 10

Mapamundi de Radiación Solar

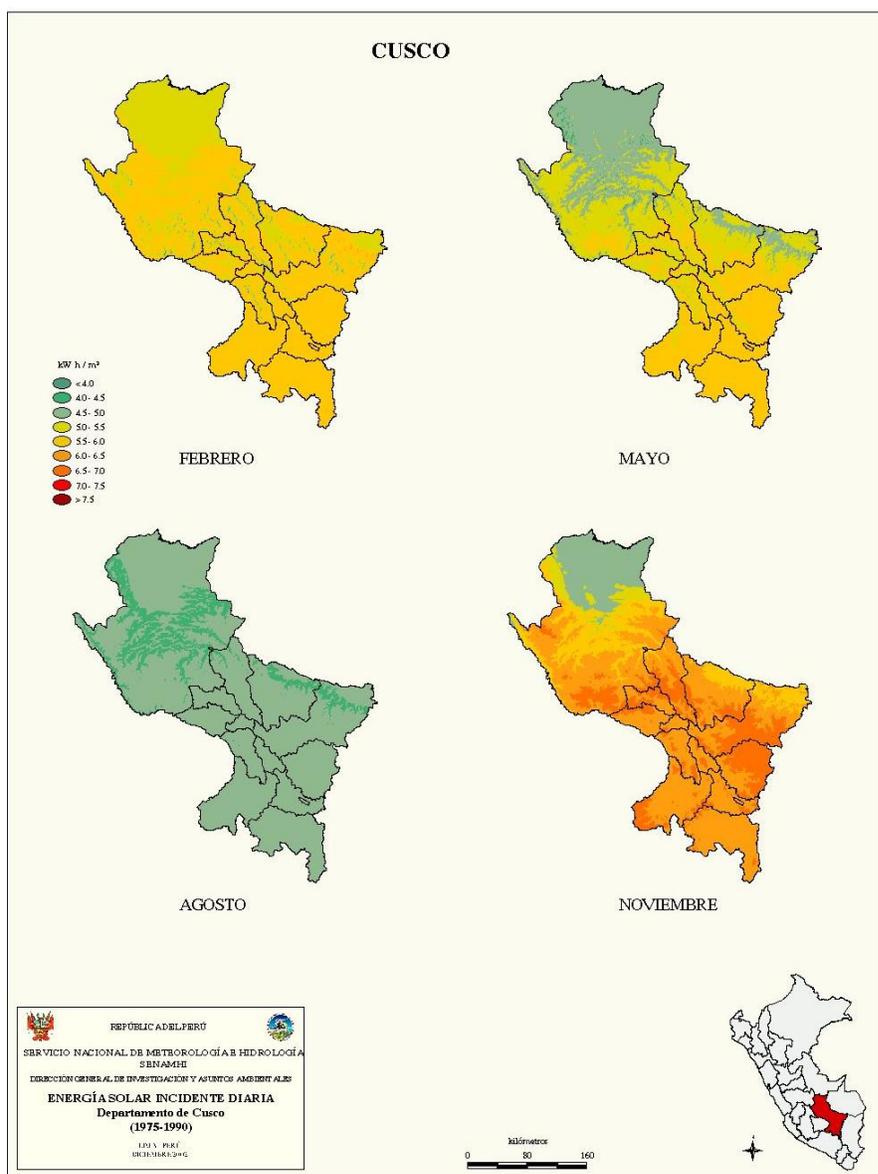


Fuente: Matthias Loster, 2006

2.2.3.2. Potencial de la energía fotovoltaica en la región del Cusco. El atlas de Energía Solar del Perú visto en la Figura 11, para la Región del Cusco muestra que la radiación solar en el área de estudio de la tesis varía de 5 a 6.5 kWh/m² aproximadamente en el transcurso de un año, lo cual es muy favorable para la generación solar fotovoltaica que se utiliza en este proyecto de investigación.

Figura 11

Energía solar incidente diaria de la Región Cusco



Fuente: Atlas de energía solar del Perú

2.2.4. Estructura de sistemas eléctricos de potencia

2.2.4.1. *Sistemas de Generación.* El Ministerio de Energía y Minas define, que:

“Un sistema de generación, es un conjunto de dispositivos técnicamente acoplados para producir energía eléctrica. En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía (química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar entre otras), en energía eléctrica.” (MINEM-DGE, 2002)

2.2.4.2. *Sistemas de Transmisión.* El Código Nacional de Electricidad define, que:

“Un sistema de transmisión eléctrico es el conjunto de elementos debidamente acoplados para transferir la corriente eléctrica, básicamente está conformada por el conductor que puede ser aéreo o subterráneo, las estructuras de soporte (Estructuras metálicas, madera, etc), y todos los accesorios y dispositivos para asegurar la continuidad de flujo eléctrico. Se tienen diferentes niveles de tensión según el Código Nacional de Electricidad-Utilización” (CNE-U, 2006):

- Muy Alta Tensión 500 kV
- Alta Tensión 220, 138, 60 kV
- Media Tensión 33, 22.9, 20, 13.8, 10.5 kV
- Baja Tensión 0.44, 0.38, 0.22 kV

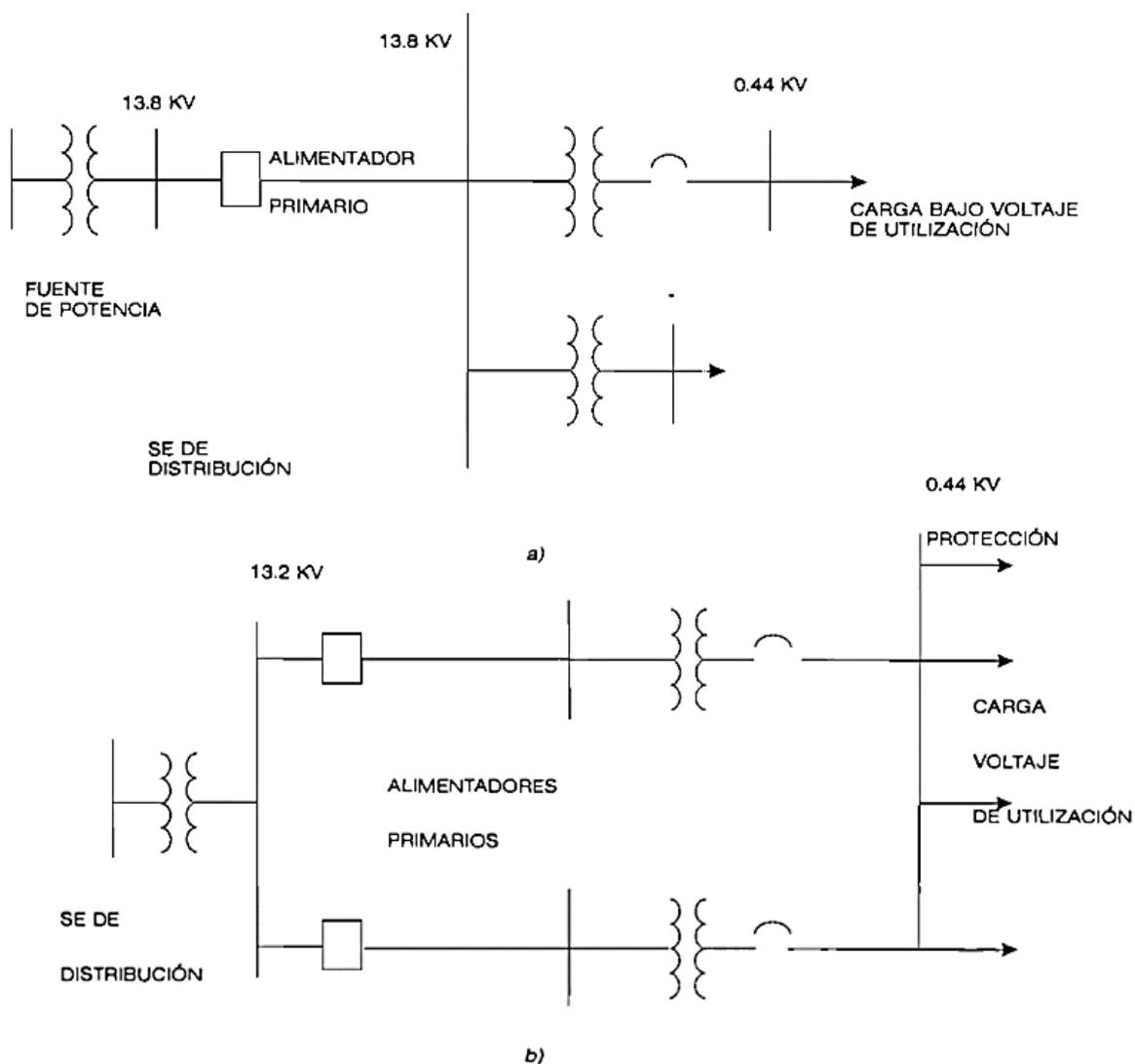
2.2.4.3. *Sistemas de Distribución.* El sistema de distribución es la parte que conecta las subestaciones de distribución con el equipo de entrada de servicio de los consumidores (medidores). Las redes principales de distribución suelen operar en el intervalo de voltaje entre 10.5 y 22.9 kV, proporcionando energía a una zona geográfica específica. Algunos de los alimentadores primarios abastecen directamente a clientes industriales de menor tamaño. La red secundaria de distribución reduce el voltaje para adaptarlo al consumo de usuarios comerciales y residenciales. La distribución secundaria sirve a la mayoría de los clientes a niveles de 380/220 y 440/220 V. La energía para un hogar típico se deriva de un transformador que reduce el voltaje del alimentador primario a 380/220 V usando una línea de tres cables. Los sistemas de distribución son tanto aéreos como subterráneos (Saadat, 1999).

a) **Subsistema de Distribución Primaria.** La norma EC.010 de redes de distribución eléctrica define que un subsistema de distribución primaria es:

“Aquel destinado a transportar la energía eléctrica producida por un sistema de generación, utilizando eventualmente un sistema de transmisión, y/o un subsistema de subtransmisión, a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público y/o a las conexiones para los usuarios, comprendiendo tanto las redes como las subestaciones intermediarias y/o finales de transformación.” (Norma EC.010, 2011)

Figura 12

Sistemas de distribución a) Radial. b) Mallado.



Fuente: Universidad Autónoma Metropolitana.

Los componentes básicos de un subsistema de distribución son:

Troncal: Es la parte principal de la red de distribución eléctrica, suele ser la línea de distribución de mayor capacidad que transporta la energía eléctrica desde la subestación de transformación a otras subestaciones secundarias, ramales o puntos de conexión de un determinado alimentador eléctrico ubicados en una determinada área geográfica.

Ramal: Es una rama o línea secundaria que se desprende de la troncal, se utiliza para distribuir la electricidad desde la troncal hacia áreas específicas del alimentador, además que tiene menor capacidad que una línea troncal, ya que alimenta cargas más pequeñas y dispersas.

b) Red de Distribución Primaria. La norma EC.010 de redes de distribución eléctrica define que una red de distribución primaria es:

“Un conjunto de cables o conductores, sus elementos de instalación y sus accesorios, proyectos para operar a tensiones normalizadas de distribución primaria, que partiendo de un sistema de generación o de un sistema de transmisión, está destinado a alimentar/interconectar una o más subestaciones de distribución; abarca los terminales de salida desde el sistema alimentador hasta los de entrada a la subestación alimentada.” (Norma EC.010, 2011)

c) Subestación de distribución. La norma EC.010 de redes de distribución eléctrica define que una subestación de distribución es:

“Un conjunto de instalaciones para transformación y/o seccionamiento de la energía eléctrica que la recibe de una red de distribución primaria y la entrega a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público, a otra red de distribución primaria o a usuarios. Comprende generalmente el transformador de potencia y los equipos de maniobra, protección y control, tanto en el lado primario como en el secundario, y eventualmente edificaciones para albergarlos.

d) **Subsistema de Distribución Secundaria.** La norma EC.010 de redes de distribución eléctrica define que un subsistema de distribución secundaria es: “Aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada normalmente a bajas tensiones, desde un sistema de generación, eventualmente a través de un sistema de transmisión y/o subsistema de distribución primaria, a las conexiones.” (Norma EC.010, 2011)

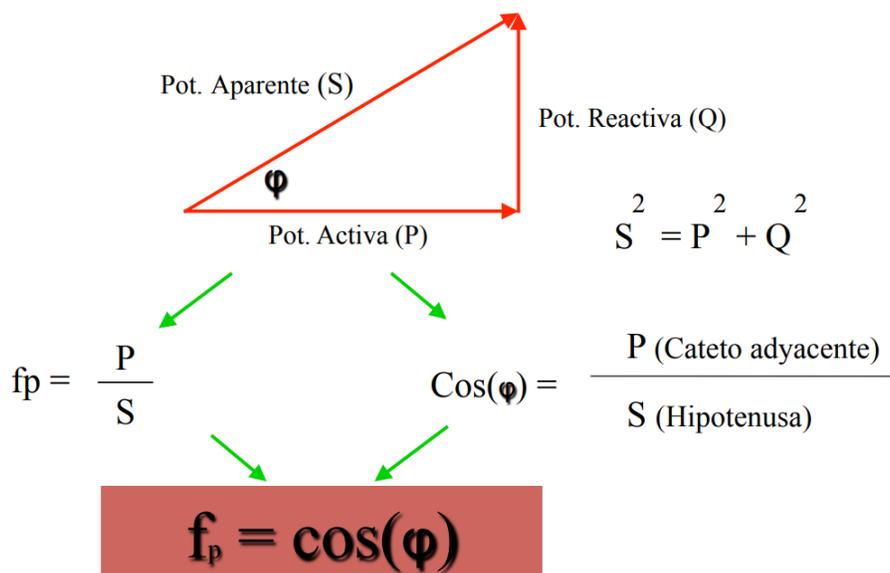
e) **Cargas eléctricas en los sistemas de distribución.** Normalmente el funcionamiento de las cargas en los sistemas eléctricos se basa en el electromagnetismo, lo cual genera campos magnéticos (motores, transformadores, aparatos electrónicos), en los cuales coexisten los tres tipos de potencia:

- Potencia aparente (S)
- Potencia activa (P)
- Potencia reactiva (Q)

Esto trae a consideración el concepto de factor de potencia que según Autosolar (2023), se define, como: “El ángulo formado entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S) de una carga.”, como se muestra en la figura 13.

Figura 13

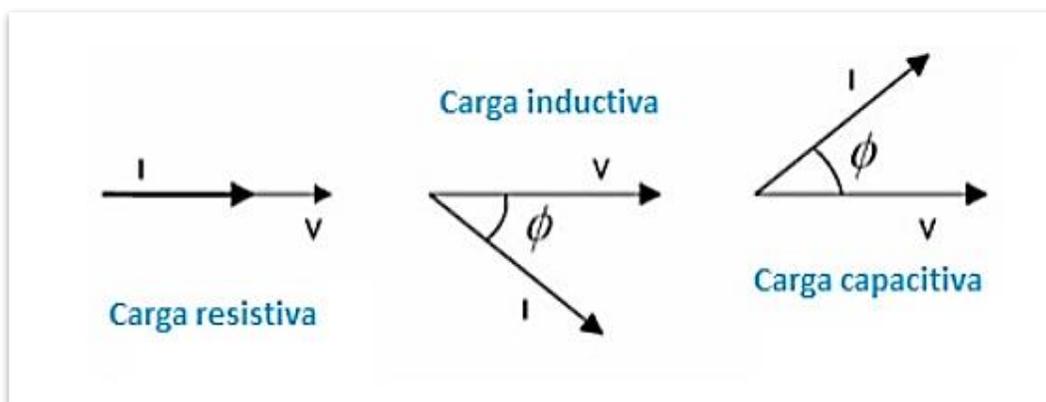
Factor de potencia y cos phi.



El valor ideal del fdp es 1, lo cual significa que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo, esto además indica que la carga es puramente resistiva. Cuando las cargas son inductivas la corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje y por el contrario cuando las cargas son capacitivas la corriente se encuentra en adelanto respecto al voltaje, como se muestra en la figura 14.

Figura 14

Tipos de carga



Fuente: Fullwat blog.

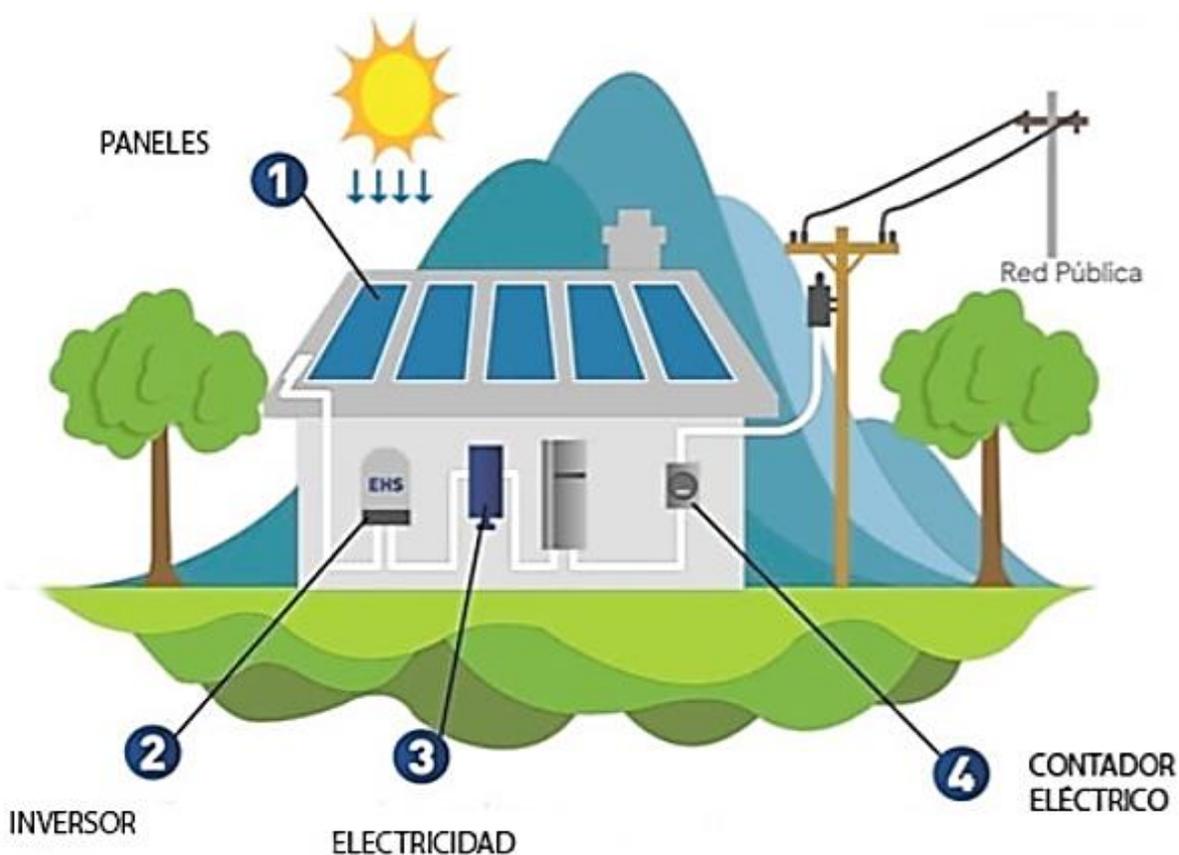
2.2.4.4. Sistemas de Utilización. Según el Código Nacional de Electricidad un sistema de utilización es: “Un conjunto de instalaciones destinado a llevar energía eléctrica suministrada a cada usuario, desde el punto de entrega hasta los diversos artefactos eléctricos en los que se produzca su transformación en otras formas de energía.” (CNE-U, 2006).

2.2.5. Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico (también conocido como sistema solar fotovoltaico o sistema PV) es un sistema que utiliza células solares (como las de silicio), para convertir la energía solar en electricidad utilizable de manera sostenible, “el término fotovoltaico proviene de las palabras griegas “phos” que significa luz y de “voltaico” que es un término que proviene del ámbito de la electricidad, en honor al físico italiano Alessandro Volta”. Wikipedia (2023). Esta tecnología es clave en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, que aprovecha la abundante energía solar para generar energía de manera más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Figura 15

Sistema fotovoltaico en una vivienda.



Fuente: TWENERGY

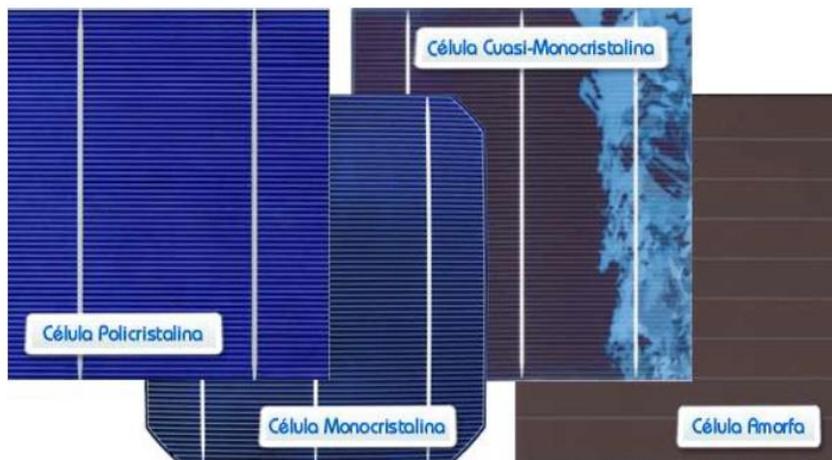
2.2.5.1. Componentes de un Sistema Fotovoltaico:

a) **Panel Solar Fotovoltaico (células fotovoltaicas).** Las células fotovoltaicas (CP) son conversores de energía que transforman la radiación electromagnética en electricidad. Una vez que esta radiación entra en contacto con el material semiconductor, lo convierte en energía eléctrica en forma de corriente continua, lista para su uso inmediato o para ser almacenada en baterías mediante un mecanismo de control de carga. Por lo general, se les emplea para calentar agua, generar calor o electricidad, aprovechando la energía lumínica proporcionada por el sol. En el campo de la generación eléctrica, se utilizan estas células, cada una de las cuales puede generar aproximadamente entre 0.5 y 10 Amperios. Están fabricadas de diversos materiales como silicio cristalino, cobre, indio, cadmio o arseniuro de galio, y su funcionamiento se basa en el Efecto Fotovoltaico. Con el propósito de hacerla aprovechable en momentos sin luz solar directa, los paneles solares tienen la capacidad de captar tanto la radiación solar directa como la dispersa, permitiéndoles generar electricidad incluso en temporal nublado.

Hay diversos tipos de células solares, siendo las más comunes las monocristalinas y policristalinas, también conocidas como de película sólida y película delgada, respectivamente. Es importante destacar que la diferencia en términos de desempeño (eficiencia y costos) entre los paneles solares de silicio monocristalino y policristalino es mínima; lo que suele variar es su disponibilidad y la alta demanda o reputación del fabricante. Las células de película delgada tienen una ventaja significativa, ya que requieren menos material para su producción y tienen una alta capacidad de absorción de radiación electromagnética.

Figura 16

Paneles según su tipo de estructura.



Fuente: Revista de Diseño Innovativo

A continuación, se describen estos tipos de celdas solares:

Panel Monocristalino. Este tipo de paneles se caracteriza en el mercado por ser el más eficiente de todos. La fabricación de estos implica una serie de fases. Inicia con el desarrollo de un monocristal de silicio, que se segmenta en láminas, que son sometidas a un proceso de dopaje para generar capas con carga eléctrica positiva y negativas; luego, se generan celdas solares individuales a partir de estas láminas dopadas. Estas celdas se conectan eléctricamente para formar módulos, los cuales son protegidos mediante recubrimientos y ensamblados para crear los paneles solares.

Estos tipos de paneles son utilizados normalmente en comercios o residencias, también son usados en sistemas de paneles solares chicos, por ejemplo, se pueden usar para cargar celulares, cámaras digitales, laptops, etc.

Figura 17*Panel Solar Monocristalino*

Fuente: Revista de Diseño Innovativo

Ventajas:

- **Eficiencia:** Es mayor comparada con otros tipos de paneles, alrededor del 24%
- **Espacio:** Debido a su mayor eficiencia, requieren menos espacio en comparación con otros tipos de paneles para generar la misma cantidad de energía
- **Durabilidad:** en general, tienden a tener una vida útil ligeramente más larga que los paneles policristalinos, pero esto puede variar debido a diversos factores.

Desventajas:

- **Costo:** Tienden a ser más costosos de producir que otros tipos de paneles solares, lo que puede resultar en un precio más alto para los consumidores.
- **Proceso de fabricación:** Es más complejo, lo que puede requerir más recursos y energía en comparación con otros métodos de fabricación de paneles.

Principales productores de este tipo de paneles:

- **SunPower:** famosa por sus paneles de alta eficiencia.
- **LG solar:** Reconocida por sus productos de alta gama.
- **JinkoSolar:** Es una de las más grandes y conocida por sus paneles solares de alta eficiencia.

Panel Policristalino. Los paneles solares policristalinos consisten en celdas solares construidas a partir de silicio policristalino, un material semiconductor formado por múltiples cristales; estas celdas se organizan en una estructura dentro de un panel, diseñado para capturar la energía solar y generar electricidad cuando los fotones de la luz solar inciden en las celdas.

A diferencia de los paneles monocristalinos, que se crean a partir de un solo cristal de silicio, los paneles policristalinos se producen al fundir fragmentos de silicio en moldes, lo que resulta en una estructura de múltiples cristales. Aunque su eficiencia suele ser algo menor que la de los paneles monocristalinos, los paneles policristalinos son más económicos y sencillos de fabricar, lo que los convierte en una opción popular en diversas aplicaciones solares, por encima de los monocristalinos.

Figura 18

Panel Solar Policristalino



Fuente: Revista de Diseño Innovativo

Ventajas:

- Costo: Presentan un costo por vatio más bajo en relación con otras formas de tecnología solar, lo que los convierte en una alternativa de bajo coste para la implementación de sistemas solares en hogares y negocios.
- Eficiencia en climas cálidos: Su desempeño no experimenta una reducción sustancial en temperaturas elevadas en contraste con otras variantes de paneles solares.
- Producción en masa: Su fabricación a gran escala es relativamente sencilla, lo que simplifica la producción y su disponibilidad en el mercado en grandes cantidades.

Desventajas:

- Menor eficiencia: Tienden a tener menor eficiencia que los paneles monocristalinos debido también a que contienen una menor cantidad de silicio en su composición.
- Espacio requerido: Debido a su eficiencia algo inferior, podrían necesitar una mayor superficie en el techo o en la instalación para producir la misma cantidad de energía que los paneles de mayor eficiencia.

Principales productores de este tipo de paneles:

- JinkoSolar: Es una de las más grandes y conocida por sus paneles solares de alta eficiencia.
- TrinaSolar: Conocida por su amplia gama de productos solares, que incluyen paneles policristalinos.
- Canadian Solar: reconocida por sus módulos monocristalinos y policristalinos de alta calidad.

Panel de lámina fina o capa fina. Los paneles solares de lámina delgada, también llamados paneles solares de capa fina, constituyen una categoría de tecnología fotovoltaica empleada para transformar la energía solar en electricidad. En contraste con los paneles solares convencionales de silicio cristalino, que prevalecen, los paneles solares de lámina delgada son manufacturados al aplicar una capa fina de material fotosensible directamente sobre una superficie de soporte, como vidrio, metal o plástico. Esta innovación posibilita la producción de paneles más ligeros, maleables y adaptables.

Principalmente se fabrican utilizando Telururo de Cadmio (CdTe), una combinación de capas de Cobre-Indio-Selenio, y también mediante la utilización de la tecnología de Silicio amorfo.

Figura 19*Panel solar de capa fina*

Fuente: Revista de Diseño Innovativo

Ventajas:

- **Flexibilidad:** Son más flexibles que los paneles tradicionales de silicio cristalino, por lo cual se adaptan con mayor facilidad a diferentes superficies y formas
- **Ligereza:** Son más livianos, lo que puede facilitar su instalación en ciertos lugares.
- **Menor Uso de Material:** Requieren menos material para su fabricación en comparación con los paneles de silicio cristalino, lo que puede resultar en un menor impacto ambiental.
- **Bajo Costo de Producción:** Algunas tecnologías de lámina fina, como los paneles CdTe, pueden tener un menor costo de producción.

Desventajas:

- **Menor eficiencia:** en comparación con los paneles de silicio cristalino tienen menor eficiencia, lo que se traduce en más espacio para generar la misma cantidad de energía.
- **Durabilidad:** Pueden experimentar una degradación más rápida de su rendimiento con el tiempo en comparación con los paneles de silicio cristalino. Esto puede reducir su vida útil efectiva y requerir reemplazos más frecuentes.
- **Disponibilidad:** Son menos comunes y tienen una menor presencia en el mercado en comparación con los paneles de silicio cristalino. Esto puede limitar las opciones de selección y la disponibilidad de productos en algunas áreas.

Principales productores de este tipo de paneles:

- **First Solar:** First Solar es uno de los mayores fabricantes de paneles solares de lámina fina y se especializa en la tecnología de telururo de cadmio (CdTe).
- **Hanergy Thin Film Power Group:** Hanergy es otro importante jugador en el campo de los paneles solares de lámina fina y se centra en la tecnología de Cobre-Indio-Selenio (CIS) y Cobre-Galio-Diselenuro (CIGS).

b) Regulador de Carga. El controlador de carga solar es un componente electrónico que se coloca entre los paneles solares y las baterías. Su tarea principal consiste en regular el flujo de energía que fluye de los paneles hacia las baterías. Supervisa tanto la corriente como el voltaje que llegan a las baterías, con el propósito de asegurar una recarga en condiciones ideales sin ocasionar daños. Su objetivo fundamental es extender la vida útil de las baterías.

c) Convertidor o Inversor. Un inversor o convertidor de corriente es el que se encarga de realizar la transformación de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) para que pueda ser utilizada para autoconsumo o entregarla a la red de distribución eléctrica.

Los inversores se caracterizan por la potencia máxima que pueden proporcionar, la tensión de entrada desde las baterías y su rendimiento, el cual corresponde a la relación entre la potencia eléctrica que se extrae de los paneles fotovoltaicos o el sistema de baterías (potencia de entrada) y la potencia eléctrica que el inversor entrega para su uso (potencia de salida). Existen dos tipos de acuerdo a la instalación:

- Para sistemas directos conectados a la red eléctrica convencional: Son óptimos para recoger la energía solar desde las placas solares, pasarla por el inversor y convertir la energía en corriente alterna.
- Inversores para instalaciones fuera de la red o híbridas: Hacen posible la extracción de energía captada a través de las placas solares y que la almacenan en las baterías para remitirla con la tensión correcta para su uso adecuado en electrodomésticos u otros dispositivos.

d) Seguidores Solares. Un mecanismo de rastreo solar es una estructura móvil que conecta los paneles solares al suelo. Su principal objetivo es maximizar la generación de energía eléctrica en un sistema solar fotovoltaico, al ajustar de manera óptima el ángulo de incidencia de los paneles respecto a la radiación solar. Los seguidores solares son comúnmente empleados en proyectos solares de gran envergadura, tanto en instalaciones en tierra como en sistemas autónomos, como los árboles solares.

Existen dos tipos principalmente:

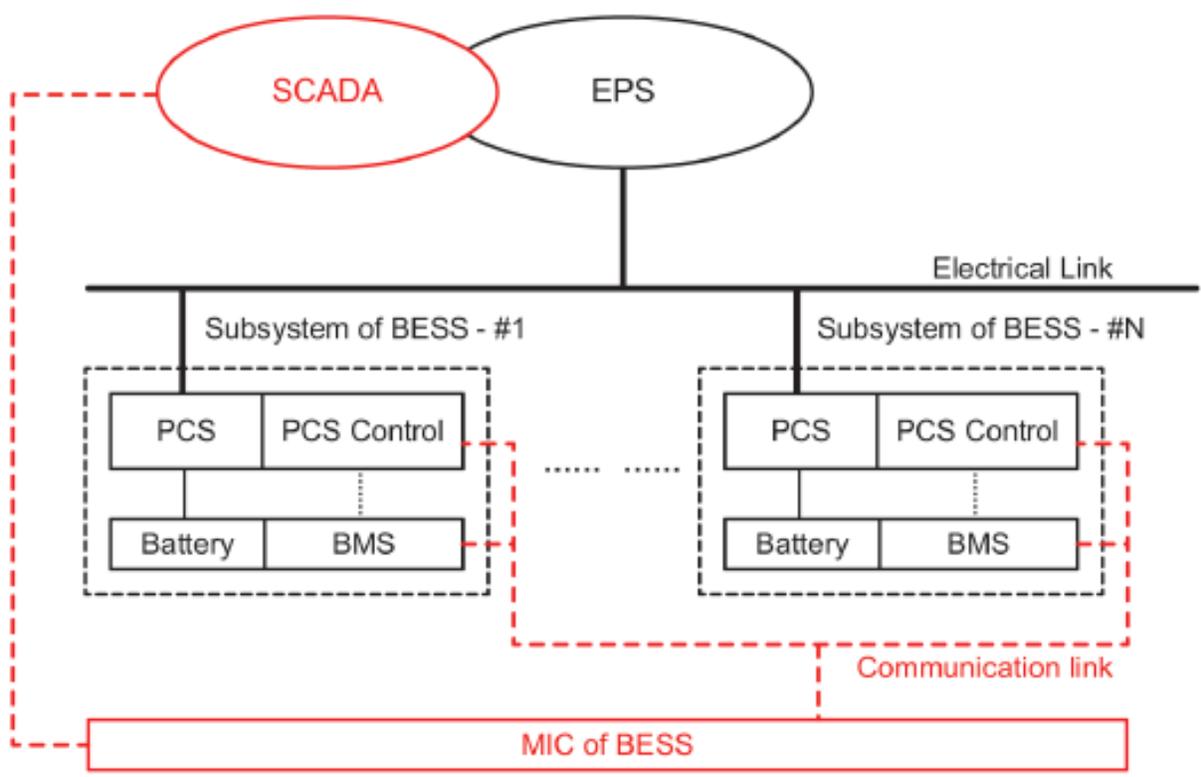
- Seguidor solar de un eje: Típicamente alineado norte-sur, este sistema permite al panel moverse de este a oeste, siguiendo al sol desde su salida hasta su puesta en el atardecer.
- Seguidor solar de dos ejes: Se mueve en dos direcciones, uno alineado norte-sur y otro este-oeste, está diseñado para maximizar la producción de energía durante todo el año. Pueden variar la orientación según la estación, además de seguir al sol durante el día.

e) Sistema de Almacenamiento de Baterías (BESS). Según la IEEE (2019), define que un sistema de almacenamiento de baterías (BESS), es: Un sistema que almacena energía eléctrica mediante materiales electroquímicos, que incluye típicamente la batería, el sistema de conversión de energía y un sistema de gestión de baterías el cual implementa controles en las baterías para garantizar un funcionamiento seguro del sistema, además de equilibrar su energía y monitorizar su estado. (p. 10)

Un BESS puede operar con un sistema de monitorización, intercambio de información y control (MIC), el diagrama de funcionamiento general de un BESS se muestra en la figura 20.

Figura 20

Diagrama de bloques de la conexión entre un BESS y un sistema eléctrico de potencia.



Nota: EPS: Sistema eléctrico de potencia, BMS: Sistema de gestión de baterías, PCS: sistema de conversión de potencia, SCADA: Control de supervisión y adquisición de datos. Tomado de IEEE, 2019, (p.15)

Un BESS puede tener muchas aplicaciones dentro de un sistema eléctrico, como se muestra a continuación en la tabla 8.

Tabla 8*Funciones de un BESS*

	Funciones Básicas			Funciones avanzadas		
Funciones	Regulación de frecuencia	Respaldo de emergencia	Regulación de voltaje	Desplazamiento temporal de energía eléctrica	Optimización de la capacidad eléctrica	Mejora de la calidad de la energía / confiabilidad del servicio eléctrico
	Seguidor de carga	Suministro de energía ininterrumpida	Soporte de potencia reactiva	Desplazamiento temporal de energía renovable	Aplazamiento de la inversión en transmisión y distribución	Soporte de la transmisión y distribución
	Consolidación de energía renovable	Comienzo en negro		Nivelación de carga	Alivio de la congestión en transmisión	Confiabilidad del servicio eléctrico
Aplicaciones					Potencia de respaldo	Gestión de costos de energía por tiempo de uso
					Gestión de cargos por demanda Capacidad de suministro eléctrico	

Fuente: IEEE, 2019, (p. 17)

2.2.6. Calidad de energía

2.2.6.1. Definición. Define como calidad a la energía eléctrica suministrada a los diversos equipos y/o dispositivos con las condiciones y características adecuadas el cual permita la continuidad y confiabilidad a dichos equipos sin que esta se vea afectado sus componentes ni su operatividad.

El control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos de la Norma Técnica de Calidad de Tensión de los Servicios Eléctricos:

a) Calidad de Producto:

- Perturbaciones (Flicker y Tensiones Armónicas)
- Frecuencia
- Tensión

b) Calidad de Suministro:

- Interrupciones.

c) *Calidad de Alumbrado Público:*

- Deficiencias del Alumbrado.

Tensión: Se define como la diferencia de potencial entre dos conductores, quiere decir que es el voltaje con que la electricidad se traslada de un cuerpo a otro y su unidad de medida es el voltio.

Nivel de tensión: Uno de los valores de tensión nominal utilizados en un sistema dado según el Código Nacional de Electricidad (CNE-Suministro, 2011):

- **Baja Tensión (B.T.):** Conjunto de niveles de tensión utilizados para la distribución de la electricidad. Generalmente su límite superior es $U \leq 1 \text{ kV}$, siendo U la Tensión Nominal.
- **Media Tensión (M.T.):** Conjunto de niveles de tensión comprendidos entre la baja tensión y la alta tensión.

Los límites son $1 \text{ kV} < U \leq 35 \text{ kV}$, siendo U la Tensión Nominal.

Los niveles de tensión existentes y las tensiones recomendadas son las siguientes:

Tabla 9

Niveles de Tensión

Baja Tensión:	Alta Tensión:
380 / 220 V	60 kV
440 / 220 V	138 kV
	220 kV
Media Tensión:	
20,0 kV (*)	
22,9 kV	Muy Alta Tensión:
33 kV	500 kV
22,9 / 13,2 kV	
33 / 19 kV	

Fuente: CNE-Suministro, 2011

2.2.7. Calidad de producto en tensión

2.2.7.1. Indicador de calidad: Este indicador, para evaluar la tensión entregada, en un intervalo de medición (k) de quince minutos de duración, es la diferencia (ΔVK) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (VK) y el valor de la tensión nominal (VN) del mismo punto. Este indicador esta expresado como un porcentaje (%) de la tensión nominal del punto (NTCSE, 1997):

$$\Delta VK(\%) = \frac{VK - VN}{VN} \cdot 100\%; \text{ (expresada en: \%)}$$

2.2.7.2. Tolerancias: Las tolerancias permitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, son de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de dichos puntos. En caso de las redes secundarias en servicios clasificados como Urbano - Rurales y/o Rurales, estas tolerancias son de hasta $\pm 7.5\%$.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango de tolerancias establecidas en este literal, por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del período de medición (NTCSE, 1997).

2.2.8. Cargabilidad

2.2.8.1. Cargabilidad de transformadores. Se refiere a la habilidad de un transformador para gestionar la carga eléctrica conectada a sus terminales de salida. En otras palabras, se trata de la capacidad del transformador para suministrar energía eléctrica de manera efectiva a la carga conectada.

La carga de un transformador puede representarse como un porcentaje de su capacidad nominal. Por ejemplo, si un transformador tiene una capacidad nominal de 150 kVA, una carga del 50% indicaría que está suministrando 75 kVA de potencia en ese momento.

La capacidad de carga de un transformador puede depender de diversos factores, como su diseño, la calidad de los materiales utilizados en su construcción y las condiciones ambientales en las que opera. Por lo general, los transformadores tienen una capacidad nominal establecida por el fabricante, y operar continuamente por encima de esta capacidad nominal puede resultar en sobrecalentamiento y daños en el transformador, adicionalmente un transformador puede trabajar por encima de su capacidad, pero esto significaría un deterioro del mismo y reducción de la vida útil.

2.2.8.2. Cargabilidad de conductores. Se describe como la cantidad máxima de energía eléctrica que se puede transmitir a través de una o varias líneas de transmisión sin comprometer las operaciones del sistema eléctrico de potencia. También se define como el límite o capacidad térmica del conductor, que establece restricciones para la transferencia de potencia efectiva. La capacidad térmica se determina por la temperatura máxima que el conductor puede soportar sin perder sus propiedades eléctricas y mecánicas. El aumento de la temperatura afecta tanto a las características eléctricas como a la resistencia mecánica de los conductores. La temperatura del conductor está influenciada por la magnitud y la duración de la corriente, así como por el entorno y las condiciones físicas del propio conductor

2.3. Bases normativas

El Perú cuenta con normativa específica referida a energías renovables y eficiencia energética pero no se cuenta con mucha normativa detallada en lo que se refiere a generación distribuida, pero se vienen haciendo esfuerzos para tener el Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Generación Distribuida en Perú, que por el momento cuenta con una prepublicación a través de la Resolución Ministerial N° 292-2018-MEM/DM, publicada el 2 de agosto de 2018; a continuación se presentaran las leyes, normas y todo tipo de legislación nacional e internacional vinculado al presente trabajo de investigación:

- D. Ley. N° 25844. Ley de Concesiones Eléctricas (1992)
- D.S N° 009-93-EM. Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas (1993)
- Ley N° 27345. Ley de Promoción del uso eficiente de la energía. (2000)
- Ley N° 28832. Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica. (2006)
- Decreto Supremo N° 053-2007-EM.- Que aprueba el Reglamento de la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía. (2007)
- D.S N° 034-2008-EM.- Sobre medidas para el ahorro de energía en el Sector Público. (2008)
- D.L. N° 1058.- Promueve la inversión en la actividad de generación eléctrica con recursos hídricos y con otros recursos renovables. (2008)
- Decreto Supremo N° 064-2010-EM. Política Energética Nacional del Perú 2010- 2040.

- Decreto Supremo N° 020-97-EM. Aprueba la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (1997).
- Resolución Directoral N° 014-2005-DGE. (2005). Aprueba la Norma técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo real de los Sistemas Interconectados. El objetivo de la presente norma es establecer las obligaciones del Coordinador de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados y de los Integrantes del mismo, con relación a los procedimientos de operación en tiempo real de dichos Sistemas.
- Resolución Ministerial N° 037-2006-MEM-DM. Código Nacional de Electricidad - Utilización. (2006).
- Resolución Ministerial N° 214-2011-MEM-DM. Código Nacional de Electricidad – Suministro- (2011).
- IEEE 1547 (Estándar Para La Interconexión De Recursos Distribuidos Con Sistemas De Energía Eléctrica). (2018). Es un documento que proporciona un estándar uniforme para la interconexión e interoperabilidad de sistemas distribuidos recursos energéticos con sistemas de energía eléctrica. Proporciona requisitos relevantes para la interconexión y rendimiento, operación y pruebas de interoperabilidad y, a consideraciones de seguridad, mantenimiento y protección.

2.4. Definición de términos

Simulación: La creación de modelos informáticos que representan la parte fundamental del funcionamiento de un sistema de interés, junto con el diseño y la realización de experimentos utilizando dicho modelo, con el propósito de obtener conclusiones a partir de los resultados para respaldar la toma de decisiones. Esta práctica permite realizar experimentos con sistemas reales o propuestos en situaciones en las cuales de otra forma sería inviable o poco práctico. (slidesahre.net)

3. CAPÍTULO III: SIMULACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL ESTADO OPERATIVO DEL ALIMENTADOR DO-06

3.1. Introducción

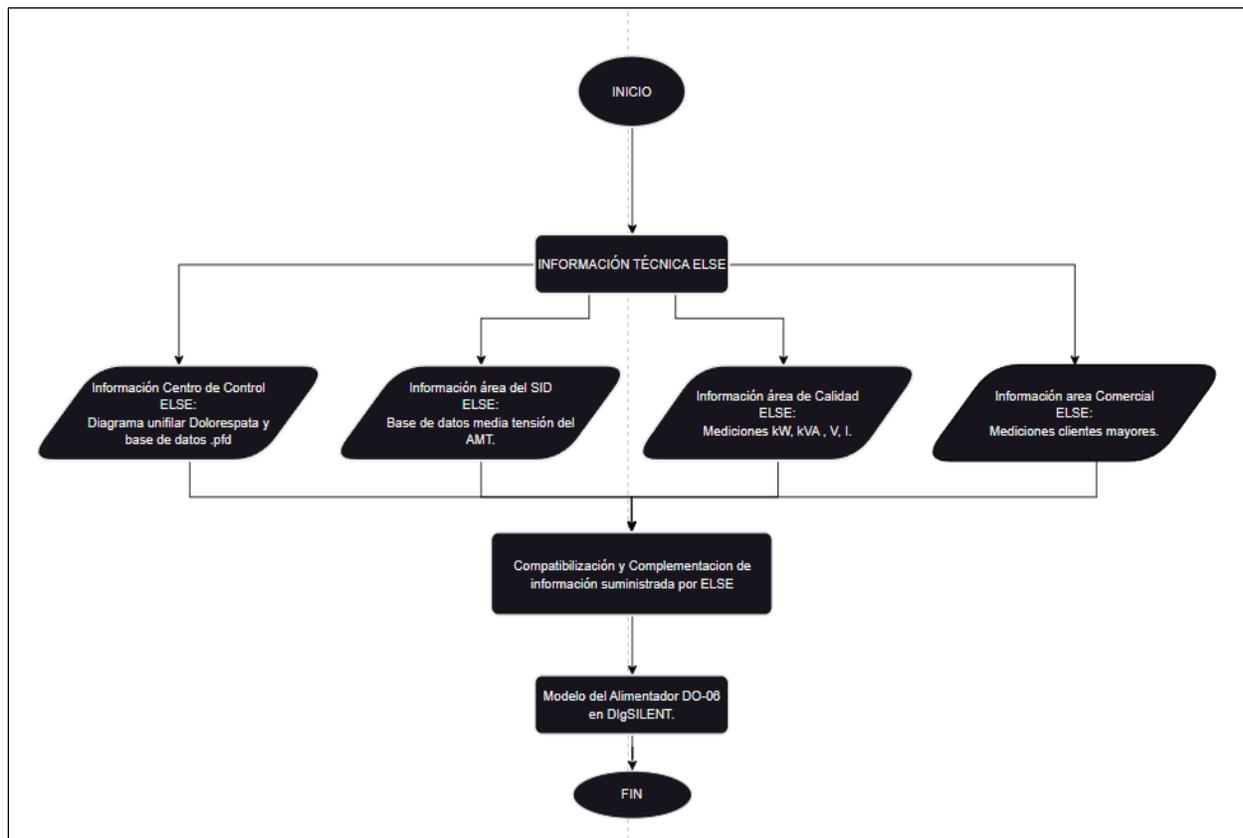
En este capítulo se realizó el diagnóstico del Alimentador DO-06 en base a la información recopilada del concesionario Electro Sur Este S.A.A., primeramente se elaboró un diagrama de flujo del método que se siguió para obtener el modelo eléctrico del alimentador, seguidamente se describieron las principales características de la red en media tensión desde su origen en la subestación de transformación de Dolorespata hasta el último ramal y subramal del alimentador, para luego haciendo uso de software DIgSILENT PowerFactory identificar el estado actual de la calidad de producto en tensión, así como cuantificar las pérdidas presentes en el alimentador DO-06 .

3.2. Diagrama de flujo de la obtención del modelo del alimentador DO-06

En este segmento se describe el proceso utilizado para la obtención del modelo eléctrico del alimentador DO-06 mediante un diagrama de flujo que representa de manera secuencial los pasos utilizados. Se recolectó información técnica de las áreas de: centro de control, SID, calidad y comercial de la empresa Electro Sur Este S.A.A., para luego depurar, compatibilizar y complementar esta información, obteniéndose de esta manera la simulación del modelo eléctrico en el software computacional, el cual nos permita visualizar y analizar el estado actual de operación del alimentador DO-06.

Figura 21

Diagrama de flujo de la obtención del modelo en DIgSILENT del Alimentador DO-06



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Descripción del sistema eléctrico en estudio

En esta parte del desarrollo se hace una descripción y caracterización de la infraestructura eléctrica del alimentador DO-06.

3.3.1. Subestación de transformación de Dolorespata

La subestación de transformación de Dolorespata se encuentra ubicada geográficamente en el distrito de Santiago, operando bajo la administración la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. – EGEMSA. La subestación está conformada por dos líneas de transmisión en 138 kV que llegan a la barra de alta tensión que interconectan las subestaciones de Cachimayo y Quencoro, posee tres transformadores de potencia de dos devanados, cuyas principales características se muestran en la tabla 10 y que suministran 44 MW de potencia a 09 alimentadores

eléctricos de media tensión, que se distribuyen por la ciudad del Cusco como se muestra en la figura 22.

Tabla 10

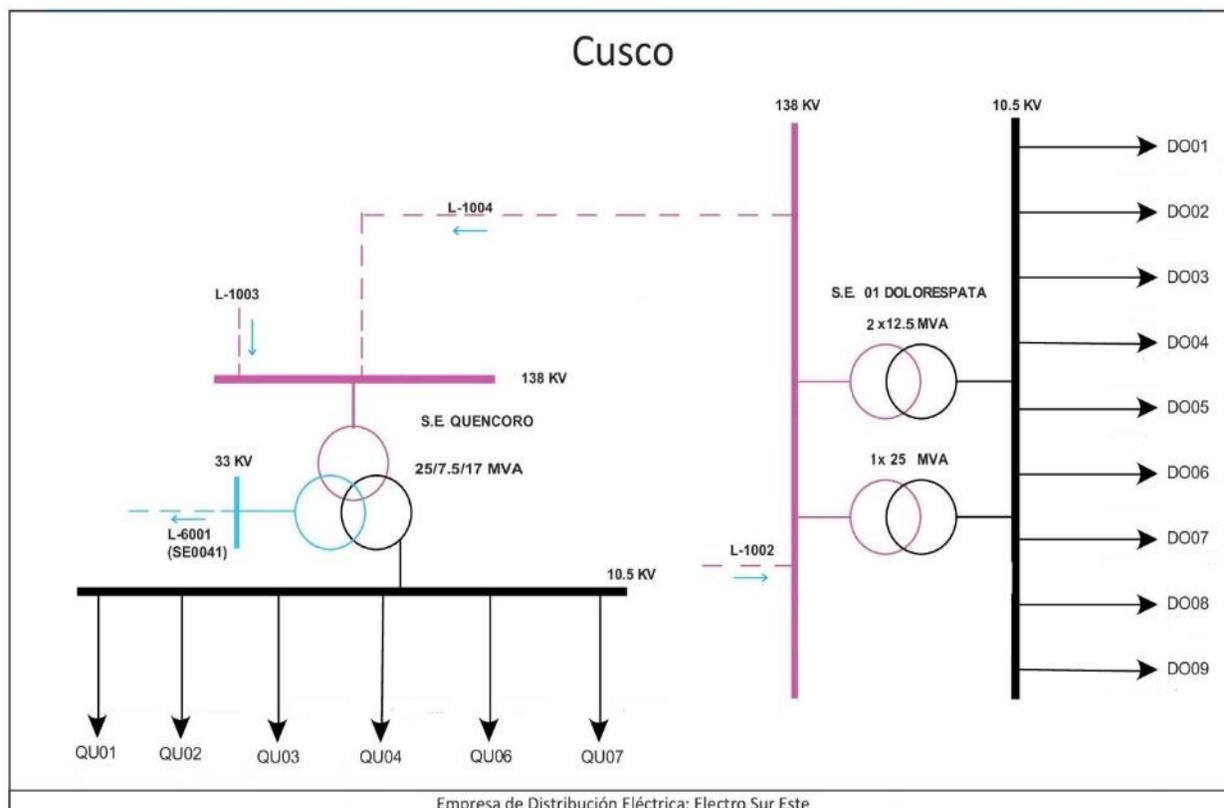
Transformador de potencia del Alimentador DO-06

Transformador	Sistema	Tensión primario/secundario (kV)	Potencia (MW)	Conexión
T1	3Ø	138±2.5%/10.5kV	12.5 MVA	YNd11
T2	3Ø	138±2.5%/10.5kV	12.5 MVA	YNd11
T3	3Ø	138±2.5%/10.5kV	25 MVA	YNd11

Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Diagrama Unifilar de la Subestación de Dolorespata y Quencoro

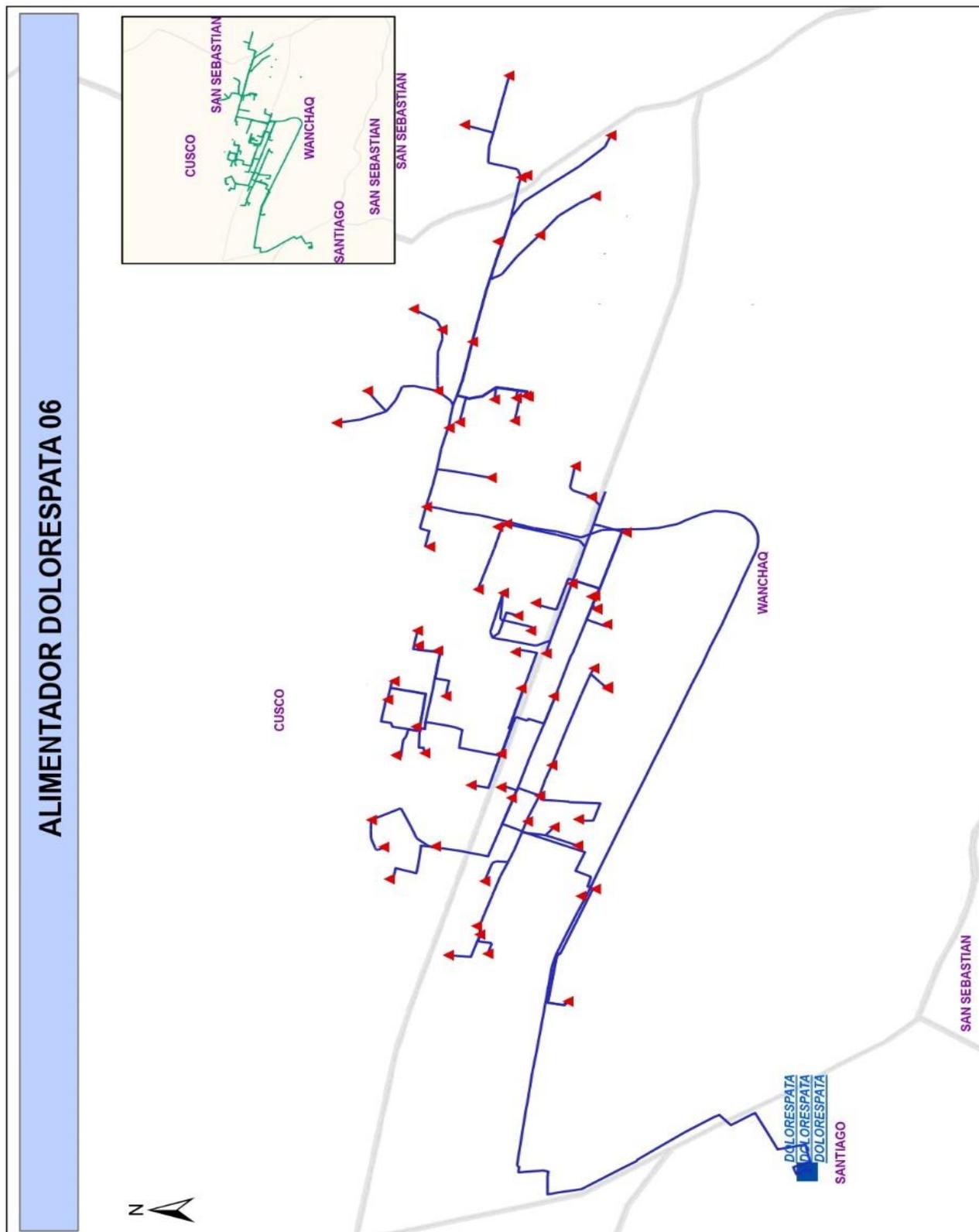


Fuente: Electro Sur Este S.A.A. - Gerencia de Operaciones

3.3.2. Alimentador DO-06

El alimentador de distribución DO-06 empieza su recorrido en la subestación de Dolorespata y recorre parte de los distritos de Cusco y Wanchaq, en el cual se encuentran cargas importantes como el Hospital Regional, EsSalud, UNSAAC, Real Plaza y otras. Tiene un total de 78 subestaciones eléctricas de distribución que operan a una tensión nominal de 10.5 kV, dicho alimentador tiene una tensión en barra de 10 714 V y suministra una potencia promedio de 3 840 kVA y soporta una potencia nominal de 5 500 kVA, su recorrido y topología se puede ver en la figura 23.

Figura 23 Topología del alimentador Dolorespata DO-06.



Fuente: Electro Sur Este S.A.A. - Gerencia de Operaciones

3.3.3. Líneas y transformadores del alimentador DO-06

En esta sección se describe la división del alimentador, la cual se da en: troncal, ramales y sub ramales, cada uno de estos con la cantidad de subestaciones y longitud por cada tramo; esta información es a su vez utilizada en el modelamiento del alimentador en el software computacional.

3.3.3.1. Longitud del alimentador y ramales. Se realizó la identificación y clasificación de la línea principal a la que denominamos TRONCAL y sus derivaciones denominadas como RAMAL y SUBRAMAL; de esta manera nos facilita la comprensión del alimentador tal como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11

Ramales y cantidad de subestaciones del Alimentador DO-06.

TRONCAL/RAMAL /SUB RAMAL	N° SED	LONGITUD (m)	TRONCAL/RAMAL /SUB RAMAL	N° SED	LONGITUD (m)
TRONCAL	6	3 906.10	SUB RAMAL 5.3	1	12.30
RAMAL 1	7	4 215.80	SUB RAMAL 5.4	1	159.40
SUB RAMAL 1.1	1	218.80	SUB RAMAL 5.4.1	1	34.70
SUB RAMAL 1.1.1	1	12.30	SUB RAMAL 5.5	1	103.50
SUB RAMAL 1.2	1	156.50	SUB RAMAL 5.6	1	12.60
SUB RAMAL 1.3	1	149.10	SUB RAMAL 5.7	1	113.00
SUB RAMAL 1.4	1	8.00	RAMAL 6	1	244.60
SUB RAMAL 1.5	2	397.60	RAMAL 7	4	1 056.00
SUB RAMAL 1.5.1	2	298.10	SUB RAMAL 7.1	1	156.00
SUB RAMAL 1.5.2	1	81.80	SUB RAMAL 7.2	1	220.80
SUB RAMAL 1.6	2	402.00	SUB RAMAL 7.3	1	400.00
SUB RAMAL 1.6.1	1	7.00	SUB RAMAL 7.4	1	192.00
SUB RAMAL 1.6.2	1	99.00	SUB RAMAL 7.5	1	140.00
SUB RAMAL 1.6.3	1	61.00	SUB RAMAL 7.6	1	246.00
SUB RAMAL 1.6.4	1	132.00	SUB RAMAL 7.7	1	100.00
SUB RAMAL 1.7	2	409.90	SUB RAMAL 7.8	1	135.00
SUB RAMAL 1.8	1	12.20	SUB RAMAL 7.9	1	80.00
SUB RAMAL 1.9	1	29.00	RAMAL 8	1	521.00
SUB RAMAL 1.10	1	377.00	RAMAL 9	1	521.00
SUB RAMAL 1.11	1	82.50	RAMAL 10	1	149.30
RAMAL 2	1	455.20	RAMAL 11	1	287.00
RAMAL 3	1	76.40	RAMAL 12	1	13.60

TRONCAL/RAMAL /SUB RAMAL	N° SED	LONGITUD (m)	TRONCAL/RAMAL /SUB RAMAL	N° SED	LONGITUD (m)
RAMAL 4	3	721.30	RAMAL 13	1	534.60
SUB RAMAL 4.1	1	235.70	SUB RAMAL 13.1	1	43.00
RAMAL 5	2	702.40	SUB RAMAL 13.2	1	120.00
SUB RAMAL 5.1	5	483.00	RAMAL 14	1	297.00
SUB RAMAL 5.2	1	12.30			

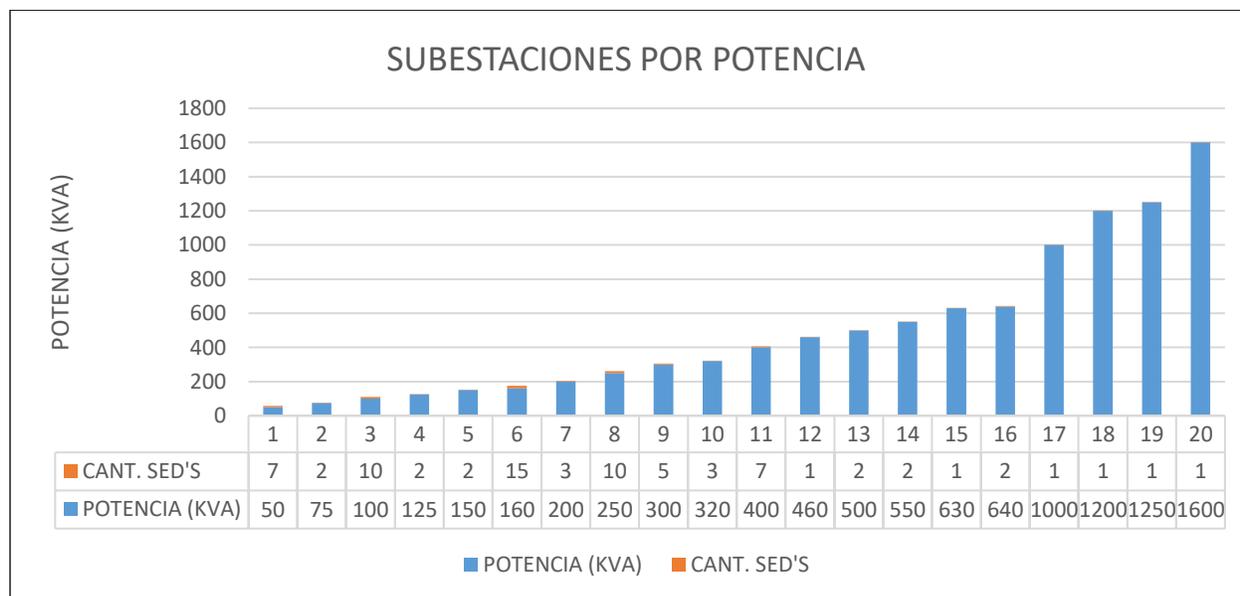
Fuente: Elaboración propia

3.3.3.2. Subestaciones por Ramal y Potencia nominal del Transformador. La cantidad de subestaciones del alimentador asciende a 78 y su distribución por ramal se muestran en la figura 24, los tramos de línea que cuentan con mayor cantidad de subestaciones son la troncal o ramal principal con 6 transformadores, el ramal 1 con 7 transformadores, el subramal 5.1 y el ramal 7 con 4 transformadores cada uno, los demás ramales y subramales en su mayoría cuenta con un único transformador.

La cantidad de transformadores por potencia nominal que tiene el alimentador se detalla en la figura 25, la potencia nominal de los que predominan en el alimentador son los de 250 kVA, 160 kVA y 100 kVA con 10, 15 y 10 subestaciones respectivamente, lo que representa el 44.8% de subestaciones del total, cuyas características se muestran en la tabla 12.

Figura 24

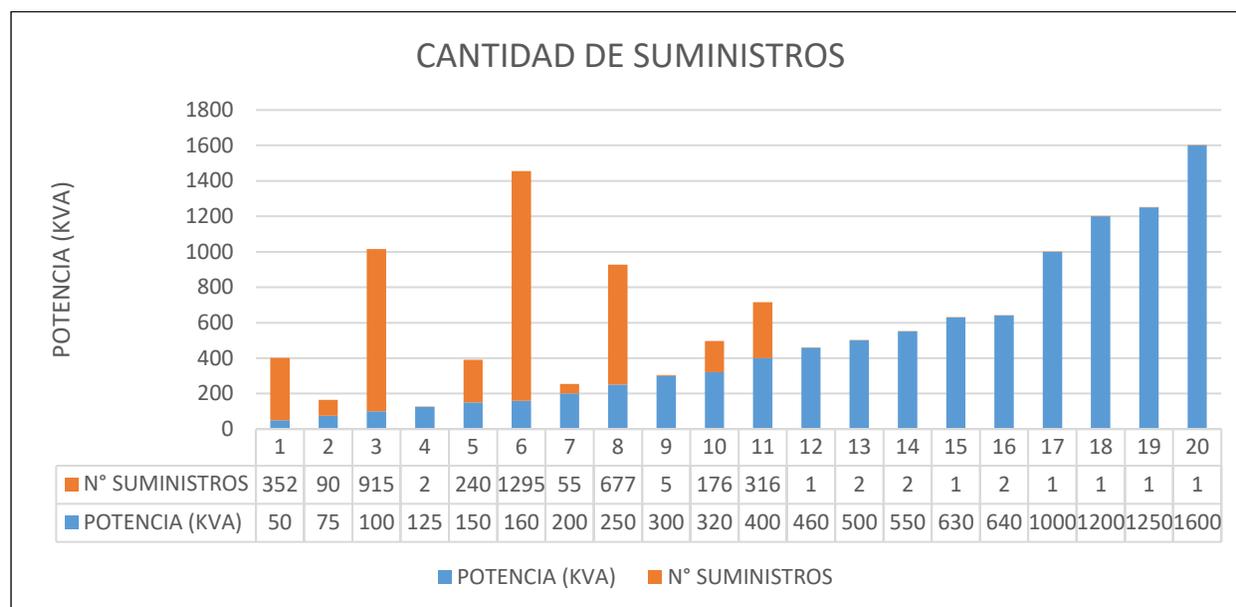
Cantidad de Subestaciones del Alimentador DO-06 según su potencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Cantidad de suministros por Subestación del Alimentador DO-06



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Características de las Subestaciones del Alimentador DO-06

N°	NOMBRE SED	CÓDIGO SED	POTENCIA (kVA)	RELACIÓN TENSIÓN (V)	N° DE FASES
1	AV. HUAYRUOPATA I	10014	400	10500/230	3Ø
2	MARISCAL GAMARRA II	10018	250	10500/230	3Ø
3	LOS INCAS II(Antes SUBESTACIÓN 0010020)	10020	200	10500/230	3Ø
4	HOSPITAL REGIONAL	10021	550	10500/220	3Ø
5	DIAGONAL ANGAMOS	10038	160	10500/230	3Ø
6	AV. DE LA CULTURA I	10056	75	10500/230	3Ø
7	URB. 1RO DE MAYO II P. ALTA	10057	100	10500/230	3Ø
8	HOGAR DE MENORES A CCOMOCCO	10067	50	10500/220	3Ø
9	URB. GARCILAZO	10068	100	10500/230	3Ø
10	LOS INCAS III(Antes SUBESTACIÓN 0010132)	10132	320	10500/230	3Ø
11	MARISCAL GAMARRA I	10135	250	10500/230	3Ø
12	LOS INCAS I(Antes SUBESTACIÓN 0010137)	10137	400	10500/230	3Ø
13	URB. 1RO DE MAYO I P. ALTA	10139	100	10500/230	3Ø

Tabla 12*Características de las Subestaciones del Alimentador DO-06*

N°	NOMBRE SED	CÓDIGO SED	POTENCIA (kVA)	RELACIÓN TENSIÓN (V)	N° DE FASES
14	C.H. PACHACUTEQ (Antes SUBESTACIÓN 0010176)	10176	250	10500/230	3Ø
15	MANUEL PRADO II (Antes SUBESTACIÓN 0010224)	10224	160	10500/230	3Ø
16	APV. LOS PORTALES	10225	160	10000/400-230	3Ø
17	URB. MIRAVALLE I P. ALTA	10226	100	10500/230	3Ø
18	URB. MIRAVALLE II P. ALTA	10227	50	10000/230	3Ø
19	CCARI GRANDE I	10327	160	10000/230	3Ø
20	CCARI GRANDE II	10328	150	10500/230	3Ø
21	ESSALUD CUSCO	10349	1200	10500/220	3Ø
22	URB. MANZANARES (Antes SUBESTACIÓN 0010351)	10351	100	10500/230	3Ø
23	MANUEL PRADO I (Antes SUBESTACIÓN 0010352)	10352	160	10500/230	3Ø
24	COVIPOL	10413	100	10500/230	3Ø
25	SENATI (Antes SUBESTACIÓN 0010461)	10461	320	10500/220	3Ø
26	URB. LOS MARQUESES	10473	50	10000/400-230	3Ø
27	LIC. SALVADOR MISCAHUARA	10496	50	10400/400-230	3Ø
28	PJE. CONSTANCIA	10554	250	10500/230	3Ø
29	MARISCAL GAMARRA II	10594	160	10500/230	3Ø
30	TELEFONICA DEL PERU	10595	50	10500/220	3Ø
31	ESTADIO GARCILAZO	10625	160	10500/220	3Ø
32	APV LAS AMERICAS	10660	50	10500/230	3Ø
33	MINISTERIO PUBLICO	10666	100	10500/220	3Ø
34	CLINICA SAN JUAN DE DIOS	10713	250	2	3Ø
35	SED CALLE PEDRO VILCA APAZA	10740	160	10500/230	3Ø
36	AV LA CULTURA	10784	160	10500/400-230	3Ø
37	HOSPITAL REGIONAL (DIAGNOSTICO POR IMÁGENES)	10823	640	10500/220	3Ø
38	CIENCIAS DE LA SALUD	10827	100	10500/220	3Ø
39	CLÍNICA SAN JOSE	10832	250	10500/220	3Ø
40	REMASUR	10843	300	10500/220	3Ø
41	ANSELMO ALVAREZ CON MICAELA BASTIDAS	10874	100	10500/230	3Ø

Tabla 12*Características de las subestaciones del alimentador DO-06*

N°	NOMBRE SED	CÓDIGO SED	POTENCIA (kVA)	RELACIÓN TENSIÓN (V)	N° DE FASES
42	HOSPITAL SUR ESTE	10875	100	10500/230	3Ø
43	MICAELA BASTIDAS CON HERMANOS AYAR	10876	75	10500/230	3Ø
44	AV LA CULTURA CON ANCELMO ALVAREZ	10877	150	10500/230	3Ø
45	URB. 1RO DE MAYO III	11011	50	10500/230	3Ø
46	CLINICA DE ESPECIALIDAD MAC SALUD	11013	550	10500/220	3Ø
47	URB. VILLA YACANNORA	11018	160	10500/400-230	3Ø
48	MALL SS.EE.N°1	11051	1600	10500/220	3Ø
49	MALL SS.EE.N°2	11052	1250	10500/220	3Ø
50	MALL SS.EE.N°3 OECHSLE	11054	630	10500/220	3Ø
51	MALL SS.EE.N°4 PLAZA VEA CUSCO	11055	1000	10500/220	3Ø
52	MANUEL PRADO	11095	160	10500/230	3Ø
53	PROMART - HOME CENTER	11097	640	10500/220	3Ø
54	CLÍNICA SAN JUAN DE DIOS II	11113	460	10500/220	3Ø
55	CLÍNICA PARDO	11123	250	10500/220	3Ø
56	SEDA CUSCO	11301	400	10500/220	3Ø
57	CENTRO PREVENTORIO DEL CÁNCER	11308	400	10500-22900/400-230	3Ø
58	I.E. KARI GRANDE	11331	125	10500-22900/230	3Ø
59	COMEDOR UNIVERSITARIO II	11345	500	10500/220	3Ø
60	ESCUELA DE ARQUITECTURA	11346	300	10000/220	3Ø
61	CEPRU	11347	200	10000/220	3Ø
62	COMEDOR UNIVERSITARIO I	11348	315	10000/220	3Ø
63	PUERTA PRINCIPAL UNSAAC	11349	250	10000/220	3Ø
64	C. SOCIALES	11350	250	10000/220	3Ø
65	ESCUELA ADMINISTRACIÓN	11351	200	10000/220	3Ø
66	CENTRO DE SALUD UNSAAC	11352	300	10000/220	3Ø
67	BIBLIOTECA CENTRAL	11353	300	10000/220	3Ø
68	INGENIERÍA ELÉCTRICA	11354	320	10000/220	3Ø
69	INGENIERÍA ELECTRÓNICA	11355	160	10000/220	3Ø
70	CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN	11356	160	10500/220	3Ø
71	INGENIERÍA QUÍMICA	11357	400	10000/220	3Ø

Tabla 12*Características de las subestaciones del alimentador DO-06*

N°	NOMBRE SED	CÓDIGO SED	POTENCIA (kVA)	RELACIÓN TENSIÓN (V)	N° DE FASES
72	HOSPITAL REGIONAL (EMERGENCIA COVID19)	11375	250	10000/220	3Ø
73	ESSALUD COVID	11376	500	10500/220	3Ø
74	REAL PLAZA PRIMER PISO	11385	1600	10500/230	3Ø
75	CAMINO REAL II	11389	160	10500/220	3Ø
76	ESSALUD PLANTA DE OXIGENO	11410	400	10500-22900/230	3Ø
77	I.E N° 51017 MARISCAL GAMARRA	11447	125	10.5/0.22	3Ø
78	INVERSIONES BRUVAL S.A.C	11456	160	10.5/0.22	3Ø

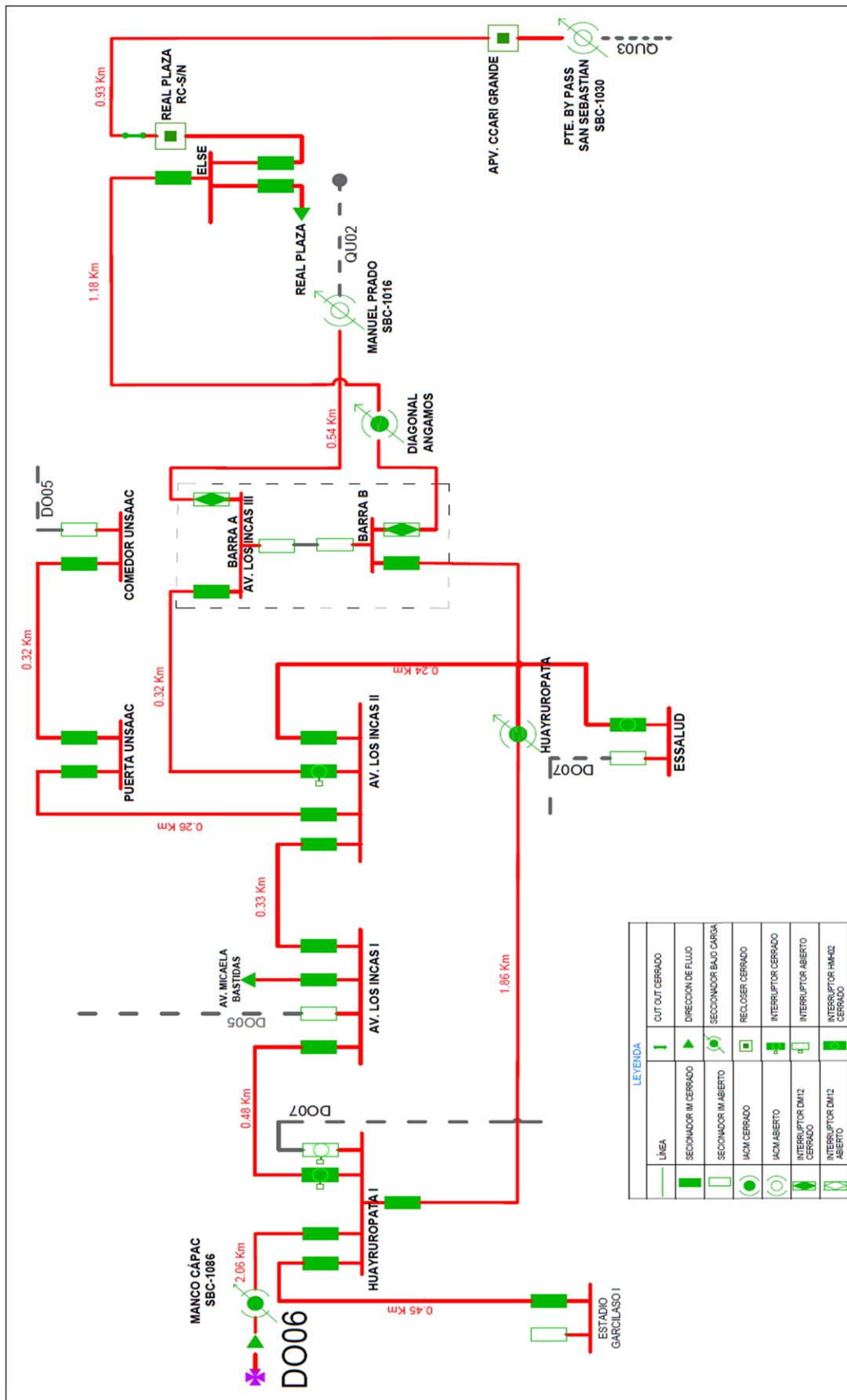
Fuente: Elaboración propia

3.4. Modelo eléctrico del alimentador DO-06 en DIgSILENT PowerFactory

Se realizó el modelo eléctrico del alimentador recopilando la información brindada por las diversas áreas de la empresa concesionaria, la cual se necesitó depurar, contrastar y complementar, para luego utilizar estos datos en el modelo que fue utilizado para el cálculo de flujo de potencia y análisis de datos, el cual se encuentra en el anexo A.

Este modelamiento del alimentador DO-06 nos permitió ver la operación del alimentador en condiciones normales permitiéndonos un análisis de los parámetros de tensión. Esto es fundamental para garantizar que el alimentador no afecte negativamente la calidad de la energía que se suministra a los usuarios finales. En la figura 26, el diagrama unifilar del alimentador DO-06.

Figura 26 Modelo eléctrico del Alimentador DO-06 en DigSILENT POWERFACTORY



Fuente: Basado en diagrama unifilar del Centro de control, Electro Sur Este S.A.A. – Gerencia de Operaciones.

3.5. Diagnóstico del Alimentador DO-06

Para el presente diagnóstico se utilizó el modelo eléctrico del alimentador previamente elaborado, se utilizaron datos del año 2024 como periodo de estudio, ya que la información recopilada del concesionario es del año en mención, además se consideraron tres escenarios en base al horario para el diagnóstico del alimentador, lo cuales son base, media y punta, se hizo esto para poder tener un mejor manejo de los datos ya que al dividirlos en periodos horarios facilitan el diagnóstico y análisis del alimentador de acuerdo a las necesidades que tenemos para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Para un mejor análisis, la clasificación de los tres escenarios se realizó con las siguientes consideraciones:

- **Potencia base:** Es la potencia mínima de demanda, registrada por un analizador de redes. Normalmente comprendido en el periodo de base entre las 00:00 y 08:00.
- **Potencia media:** Es la potencia promedio de demanda, registrada por un analizador de redes. Normalmente comprendido en el periodo de media entre las 08:00 y 18:00.
- **Potencia punta:** Es la potencia máxima de demanda, registrada por un analizador de redes. Normalmente comprendido en el periodo de punta entre las 18:00 y 00:00.

3.5.1. Demanda de potencia

Los datos de la tabla 13 son las potencias demandadas de cada escenario del alimentador DO-06, por lo cual es posible afirmar que la demanda de potencia del alimentador DO-06 en el escenario base es de 1.17 MW, en el escenario de potencia media es de 4.1 MW y en el escenario de potencia máxima es de 5.5 MW.

Tabla 13

Demanda de Potencia del Alimentador DO-06

DEMANDA	POTENCIA TOTAL (MW)
BASE	1.17
MEDIA	4.10
PUNTA	5.50

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se muestra la demanda de potencia de cada subestación perteneciente al alimentador DO-06 en los tres escenarios base, media y punta.

Tabla 14

Demanda de Potencia de las subestaciones del Alimentador DO-06

Código SED	Potencia Nominal (kVA)	Año 2024 Demanda de Potencia (kW)			Código SED	Potencia Nominal (kVA)	Año 2024 Demanda de Potencia (kW)		
		Base	Media	Punta			Base	Media	Punta
11456	160	1.20	3.64	5.76	10832	250	4.80	14.54	23.02
11447	125	2.57	7.79	12.33	10827	100	6.18	18.70	29.60
11410	400	29.68	89.86	101.00	10823	640	12.35	37.40	59.20
11389	160	3.95	11.95	18.91	10784	160	9.09	27.53	43.58
11385	1160	23.60	120.00	120.00	10740	160	17.50	52.98	83.87
11376	500	0.17	0.52	0.82	10713	250	14.58	44.15	64.00
11375	250	12.36	37.42	59.24	10666	100	8.92	27.01	42.75
11357	400	12.87	38.95	61.67	10660	50	9.78	29.61	41.00
11356	160	5.15	15.58	24.67	10625	160	0.19	0.57	0.90
11355	160	5.15	15.58	24.67	10595	50	1.03	3.12	4.93
11354	320	10.29	31.16	49.33	10594	160	9.44	28.57	45.22
11353	300	9.61	29.09	46.04	10554	250	39.63	119.98	150.00
11352	300	9.61	29.09	46.04	10496	50	8.58	25.97	37.00
11351	200	6.35	19.22	30.42	10473	50	7.55	22.85	32.00
11350	250	8.06	24.41	38.64	10461	320	8.92	27.01	42.75
11349	250	8.06	24.41	38.64	10413	100	8.58	25.97	36.00
11348	300	0.00	0.00	0.00	10352	160	18.70	56.61	89.62
11347	200	6.35	19.22	30.42	10351	100	13.04	39.47	57.00
11346	300	9.61	29.09	46.04	10349	1200	65.71	198.93	280.00
11345	500	16.13	48.82	77.29	10328	150	11.67	35.32	50.00
11331	125	2.57	7.79	12.33	10327	160	22.82	69.08	99.00
11308	400	6.35	19.22	30.42	10227	50	5.15	15.58	22.00
11301	400	13.04	39.47	62.49	10226	100	5.49	16.62	23.00
11123	250	2.92	8.83	13.98	10225	160	16.81	50.90	74.00
11113	460	14.41	43.63	64.00	10224	160	16.81	50.90	74.00
11097	640	37.00	180.00	180.00	10176	250	15.10	45.71	72.35
11095	160	12.70	38.44	60.84	10139	100	9.09	27.53	38.00
11055	1000	59.10	290.00	290.00	10137	400	29.34	88.82	129.00
11054	630	37.20	180.00	180.00	10135	250	13.90	42.07	66.60
11052	1250	73.90	360.00	360.00	10132	320	22.82	69.08	109.35

Tabla 14*Demanda de Potencia de las subestaciones del Alimentador DO-06*

Código SED	Potencia Nominal (kVA)	Año 2024 Demanda de Potencia (kW)			Código SED	Potencia Nominal (kVA)	Año 2024 Demanda de Potencia (kW)		
		Base	Media	Punta			Base	Media	Punta
11051	1600	95.00	460.00	460.00	10068	100	13.38	40.51	59.00
11018	160	17.67	53.50	78.00	10067	50	5.32	16.10	25.49
11013	550	8.41	25.45	40.29	10057	100	10.29	31.16	44.00
11011	50	7.72	23.37	32.00	10056	75	2.75	8.31	13.16
10877	150	9.78	29.61	46.87	10038	160	12.35	37.40	59.20
10876	75	14.75	44.67	70.71	10021	550	11.15	33.76	53.44
10875	100	16.99	51.42	81.40	10020	200	8.41	25.45	40.29
10874	100	9.61	29.09	46.04	10018	250	13.55	41.03	64.95
10843	300	0.19	0.57	0.90	10014	400	38.60	116.86	150.00

Fuente: Adaptada de Electro Sur Este S.A.A. – Gerencia de Operaciones

3.5.2. Análisis de resultados de la simulación de flujo de potencia

De los resultados obtenidos del AMT DO-06 en los tres escenarios se tiene la potencia de demanda como:

- Potencia base: La potencia mínima de demanda es de 1.17 MW, comprendido entre las 00:00 y 8:00.
- Potencia media: La potencia promedio de demanda es de 4.10 MW, comprendido en el periodo de media entre las 08:00 y 18:00.
- Potencia punta: La potencia máxima de demanda es de 5.50 MW, comprendido en el periodo de punta entre las 18:00 y 00:00.

A continuación, se muestran los resultados de las simulaciones de flujo de potencia realizados para los tres tipos de demanda de potencia planteados en el alimentador DO-06 con el software DIgSILENT PowerFactory.

3.5.2.1. Subestaciones de distribución. En esta sección se describe el estado actual de operación de cada una de las subestaciones que conforman este alimentador, se analizan la sobrecarga y caída de tensión en los transformadores, para los tres escenarios de demanda.

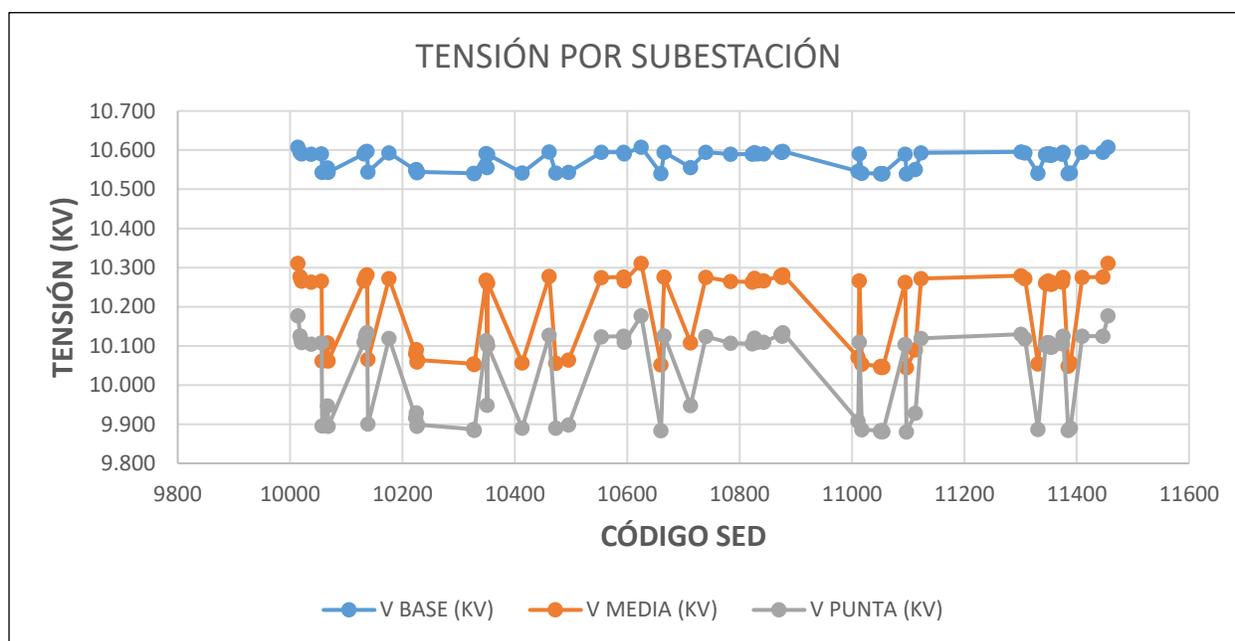
a) Análisis de tensión por subestación.

En la figura 27, en los tres escenarios (BASE, MEDIA, PUNTA) nos muestra el comportamiento de la tensión:

- En el escenario de demanda BASE, la tensión se encuentra entre 10.54 KV (MÍNIMO) y 10.61 KV (MÁXIMO).
- En el escenario de demanda MEDIA, la tensión se encuentra entre 10.04 KV (MÍNIMO) y 10.31 KV (MÁXIMO).
- En el escenario de demanda PUNTA, la tensión se encuentra entre 9.88 KV (MÍNIMO) y 10.18 KV (MÁXIMO).

Figura 27

Tensión por subestación del Alimentador DO-06 en escenario Base, Media y Punta



Fuente: Elaboración propia.

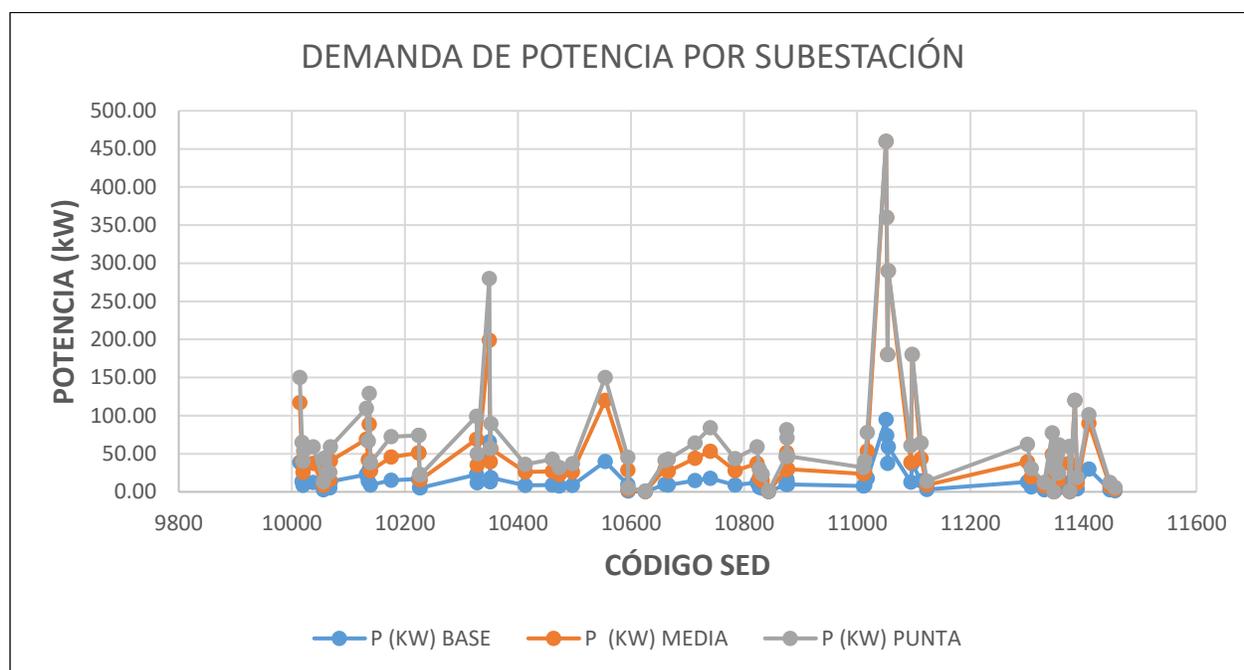
b) Análisis de demanda de potencia por subestación

En la figura 28, en los tres escenarios (BASE, MEDIA, PUNTA) nos muestra el comportamiento de la demanda de potencia:

- En el escenario de demanda BASE, la demanda de potencia se encuentra entre 0.17 KW (MÍNIMO) y 95.00 KW (MÁXIMO).
- En el escenario de demanda MEDIA, la demanda de potencia se encuentra entre 0.52 KW (MÍNIMO) y 460.00 KW (MÁXIMO).
- En el escenario de demanda PUNTA, la demanda de potencia se encuentra entre 0.82 KW (MÍNIMO) y 460.00 KW (MÁXIMO).

Figura 28

Demanda de potencia por subestación del AMT DO-06 en escenario Base, Media, Punta



Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2. Sobrecarga en los transformadores. Para analizar la cargabilidad del alimentador se utilizó lo que indica Osinergmin en su informe técnico del año 2018, en el que menciona que la cargabilidad de los transformadores que se encuentre entre el 0% y el 75% se considera en un estado de operación normal, entre el 75% y el 100% se considera en estado de advertencia próximo a sobrecarga y en los casos que exceda el 100% se considera en sobrecarga. En nuestro

alimentador, como se observa en la tabla 15 en el escenario de potencia base el 100% de los transformadores se encuentran operando por debajo del 75% lo cual indica que están en un estado normal, en el escenario de potencia media se mantiene esto con el total de transformadores operando por debajo del 75% de cargabilidad, solo en el escenario de potencia punta se obtiene que el 100% de los transformadores se encuentran operando por debajo del 75% de carga; de este análisis de datos se puede determinar que el alimentador no tiene problemas de cargabilidad.

Tabla 15

Sobrecarga de transformadores del Alimentador DO-06

Cargabilidad (%)	Potencia Base		Potencia Media		Potencia Punta	
	SED's	Porcentaje	SED's	Porcentaje	SED's	Porcentaje
0-75	78	100%	78	100%	78	100%
75-100	0	0%	0	0%	0	0%
>100	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	78	100%	78	100%	78	100%

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.3. Caída de tensión. En cuanto al análisis de caída de tensión en los transformadores del alimentador DO-06 se toma como límites permisibles los indicados en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), este análisis se muestra en la tabla 16, la cual indica que para el escenario de potencia base y media no se tiene ninguna violación a los parámetros máximos permitidos en la norma ya que se encuentran por debajo del 5% de caída de tensión, solo en el escenario de potencia punta se tiene que un 35% de los transformadores exceden el 5% de caída de tensión permitido por la norma, lo cual indica que el alimentador tiene problemas de tensión en horas de consumo máximo, esto es manejado en el secundario del transformador con la regulación de los taps para que la tensión suministrada al usuario final este dentro de los parámetros admitidos en la norma.

Tabla 16

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06

Caída de Tensión (%)	Potencia Base		Potencia Media		Potencia Punta	
	SED's	Porcentaje	SED's	Porcentaje	SED's	Porcentaje
0-3	78	100%	51	65%	0	0%
3-5	0	0%	27	35%	51	65%
>5	0	0%	0	0%	27	35%
TOTAL	78	100%	78	100%	78	100%

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.4. Redes de distribución. En esta sección se describe el estado actual de operación de cada una de las líneas de distribución que conforman este alimentador.

a) Sobrecarga en líneas de distribución.

Tomando en cuenta de la misma manera el informe técnico de Osinergmin del año 2018, en el cual indican los rangos en los valores de cargabilidad, considerándose en estado normal de operación los valores en el rango comprendido entre el 0% y 75%, en estado próximo a sobrecargarse los valores entre el 75% y el 100% y los valores que excedan el 100% se consideran en estado de sobrecarga, de tal manera los datos que se muestran en la tabla 17, indican que en ninguno de los tres escenarios planteados se tienen tramos de líneas próximas a sobrecargarse.

Tabla 17

Sobrecarga de los tramos de líneas en MT del Alimentador DO-06

Cargabilidad (%)	Potencia Base		Potencia Media		Potencia Punta	
	Tramo MT	Porcentaje	Tramo MT	Porcentaje	Tramo MT	Porcentaje
0-75	111	100%	111	100%	111	100%
75-100	0	0%	0	0%	0	0%
>100	0	0%	0	0%	0	0%
TOTAL	111	100%	111	100%	111	100%

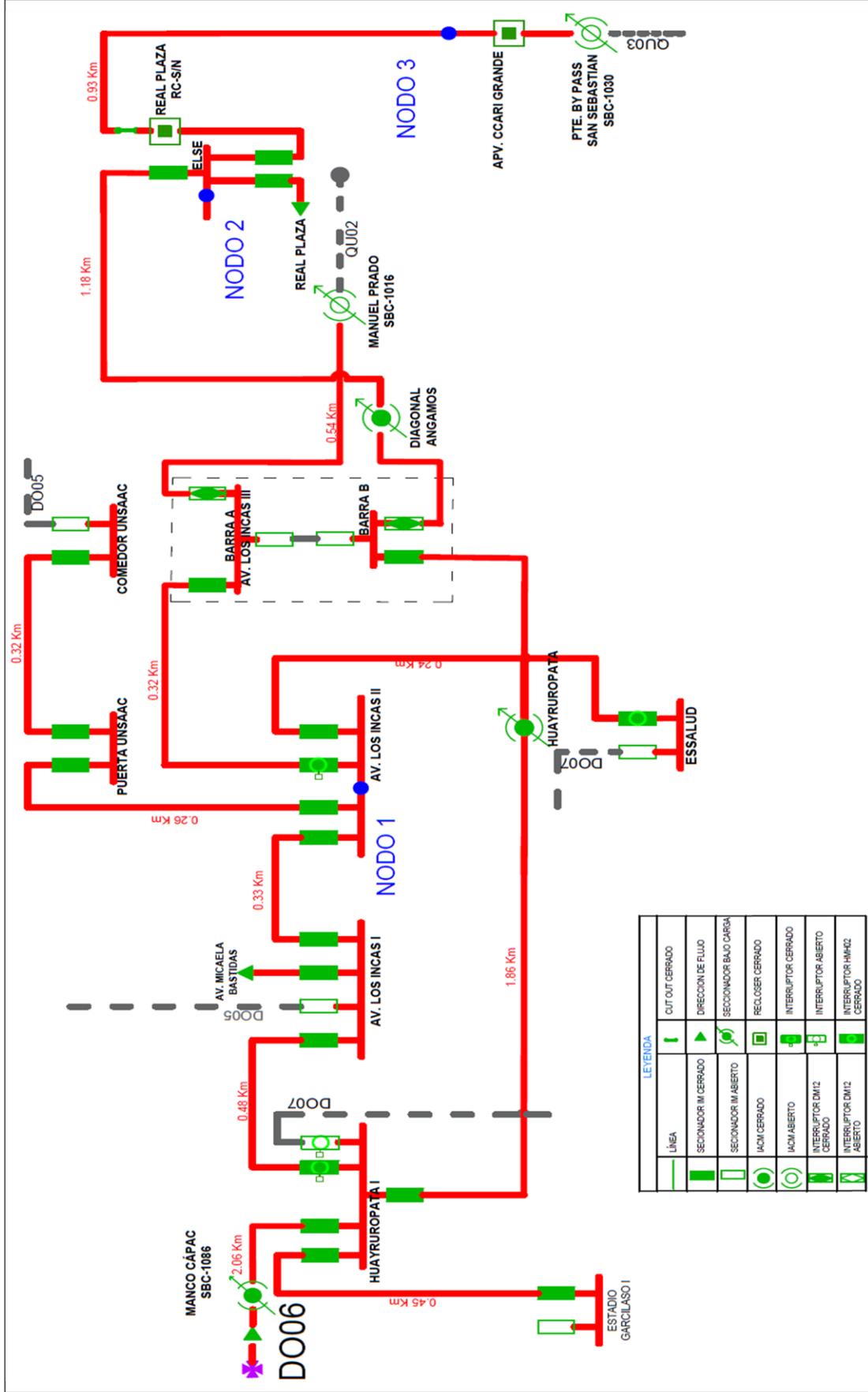
Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Identificación de ubicaciones estratégicas para la instalación de generación distribuida.

En esta sección, para elegir las ubicaciones de los posibles generadores distribuidos se usó un método de indicadores de sensibilidad de nodos, el cual permite identificar y escoger los atributos de mayor impacto para un problema y descartar los demás, mediante este se eligieron dos nodos, los cuales cumplen dos características: que tengan un nivel de tensión por debajo de los indicadores de calidad óptimos del alimentador, los cuales son 10.5 kV o 1 p.u. y de los cuales se deriven grandes consumos de carga; también se tomó en cuenta un nodo en la parte más alejada del alimentador para incluirlo en las simulaciones, ya que los sistemas sufren las mayores caídas de tensión en los nodos más alejados del alimentador debido a la impedancia de la línea. Se utilizó el escenario de máxima demanda ya que en este existen los mayores problemas de tensión en el sistema de distribución correspondiente al alimentador DO-06.

Los nodos seleccionados como se muestran en la figura 29, fueron:

Figura 29 Nodos seleccionados del Alimentador DO-06



Fuente: Basado en diagrama unifilar del Centro de control, Electro Sur Este S.A.A. – Gerencia de Operaciones.

1er nodo: El nodo ubicado en la caseta de media tensión de la SED 10020- LOS INCAS II, la cual tiene una tensión sin GDFV de 10.17 kV. o 0.96 p.u. en horario de potencia punta, de este nodo derivan cargas importantes como son la UNSAAC y EsSalud, además de ser parte de la troncal del alimentador.

2do nodo: El nodo ubicado en la derivación hacia el centro comercial Real Plaza, cerca de la SED 11385- REAL PLAZA, la cual tiene una tensión sin GDFV de 9.9 kV. o 0.94 p.u. en horario de potencia punta, de este nodo deriva la carga que consume dicho centro comercial, la cual es el mayor centro de consumo del alimentador.

3er nodo: Este nodo se encuentra al final del alimentador cerca de las SED's 10328 y 10660 con una tensión de 9.9 kV, o 0,94 p.u. en horario de potencia punta.

3.6. Conclusiones del Capítulo III

En cumplimiento del objetivo de desarrollar el diagnóstico del estado actual de operatividad del alimentador DO-06, se llevó a cabo un análisis detallado de tres aspectos fundamentales: la cargabilidad de los transformadores, la caída de tensión y la cargabilidad de las líneas de distribución, tomando como referencia la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) donde se encontró: que los niveles de tensión dentro del límite permitido del 5% en los escenarios de potencia base y media. Sin embargo, en el escenario de potencia punta, se identificó que el 35% de los transformadores presentan caídas de tensión superiores al valor normativo, evidenciando un comportamiento crítico en condiciones de máxima demanda. Esta situación, representa una señal de advertencia sobre posibles afectaciones a la calidad del suministro en horas pico.

En cuanto a la cargabilidad de las líneas de distribución, no se evidenciaron tramos que superen el 75% de su capacidad en ninguno de los escenarios analizados, lo que sugiere que la red presenta un margen operativo adecuado y no muestra riesgos de sobrecarga en su infraestructura de líneas.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir que el alimentador DO-06 opera de manera eficiente bajo los escenarios de demanda base y media. No obstante, en el escenario de demanda punta se evidencian problemas de caída de tensión que implican el incumplimiento de

los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), lo cual puede afectar la calidad del suministro eléctrico recibido por el usuario final. Esta situación subraya la necesidad de implementar medidas correctivas que garanticen el cumplimiento sostenido de los estándares de calidad exigidos por la normativa.

4. CAPÍTULO IV: SIMULACIÓN DE LA INCLUSIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL ALIMENTADOR DO-06

4.1. Introducción

En base al diagnóstico realizado en el capítulo anterior se procede a realizar la inclusión de GDFV para mejorar la calidad de tensión en el alimentador DO-06 de la Subestación de Transformación de Dolorespata. En este capítulo se definen los criterios de dimensionamiento de la GDFV, para luego desarrollar escenarios de integración de la GDFV, los cuales una vez simulados y analizados nos permiten identificar la configuración optima que contribuya a mejorar la calidad de tensión del sistema en estudio.

El diseño propuesto busca no solo solucionar las limitaciones actuales del alimentador, sino también establecer un modelo replicable para la implementación de energía renovable en sistemas eléctricos similares, promoviendo una transición hacia redes más eficientes y sostenibles.

4.2. Escenarios de inserción de generación distribuida fotovoltaica

4.2.1. Criterios de dimensionamiento para la inclusión de generación distribuida

Para realizar el dimensionamiento de los Generadores Distribuidos (en potencia instalada, kW.) a insertarse en el sistema, primeramente, se utiliza combinaciones entre los tres lugares escogidos para la inserción de los generadores fotovoltaicos, considerándose dos valores los cuales son “sin GD” y “con GD”

Para calcular las combinaciones de estos tres elementos en los que cada elemento puede tener dos valores posibles ("sin GD" o "con GD"), contamos con todas las posibles configuraciones de esos valores.

Cada elemento tiene dos opciones, por lo que el número total de combinaciones se calcula como:

$$2^n$$

Donde "n" es el número de elementos. En este caso, $n=3$, así que:

$$2^3 = 8$$

Las combinaciones posibles como se muestra en la tabla 18, son:

Tabla 18

Combinaciones de nodos en los lugares planteados

	UBICACIÓN		
	INICIO (1)	MEDIO (2)	FINAL (3)
ESCENARIO BASE	Sin GD	Sin GD	Sin GD
ESCENARIO 01	Con GD	Sin GD	Sin GD
ESCENARIO 02	Sin GD	Con GD	Sin GD
ESCENARIO 03	Sin GD	Sin GD	Con GD
ESCENARIO 04	Con GD	Con GD	Sin GD
ESCENARIO 05	Con GD	Sin GD	Con GD
ESCENARIO 06	Sin GD	Con GD	Con GD
ESCENARIO 07	Con GD	Con GD	Con GD

Fuente: Elaboración propia

Dado que la primera combinación es sin Generación Distribuida "Sin GD" en las tres ubicaciones, no será considerada, por lo tanto, hay 7 combinaciones, en base a este criterio se va realizar la simulación de inclusión de GDFV en el alimentador.

4.2.2. Modelado del sistema eléctrico en el software de simulación

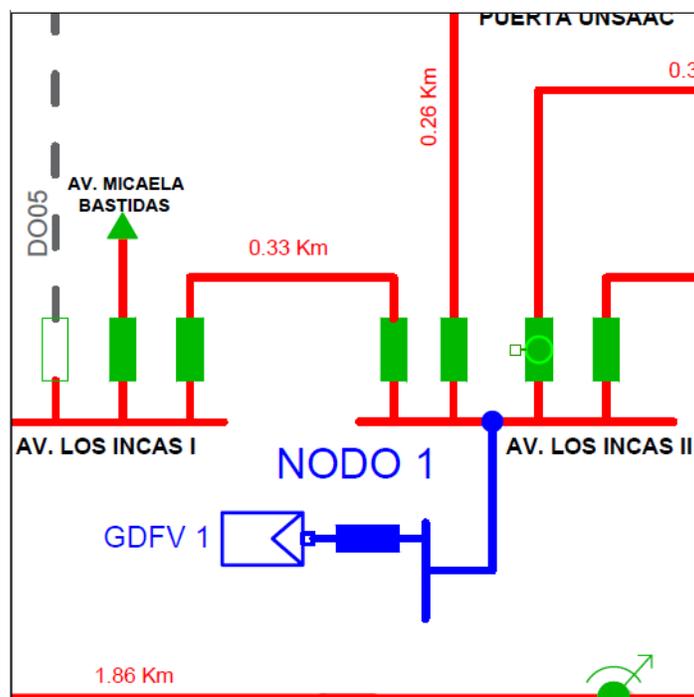
4.2.2.1. Representación del Alimentador actual. Para el modelo del alimentador se toma como base el modelo elaborado en el anterior capítulo para poder iniciar con las simulaciones de inclusión de generación distribuida fotovoltaica.

4.2.2.2. Simulación y Análisis de Generación Distribuida Fotovoltaica en los Escenarios Propuestos. Para dimensionar la cantidad de potencia de los generadores distribuidos a inyectarse en los diferentes escenarios planteados y así buscar la mejora de los niveles de tensión se consideraron los niveles de penetración y pérdidas del sistema, debido a que estos pueden comprometer la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. En el anexo H se observa el flujograma de la inclusión de GDFV en el alimentador DO-06 con el software DIgSILENT PowerFactory.

Para ello se hizo simulaciones con diferentes %NivelGD en los que se corrió flujo de potencia analizando los niveles de tensión, así como también las pérdidas de potencia del alimentador, como se muestra en la figura 30, 31 y 32.

Figura 30

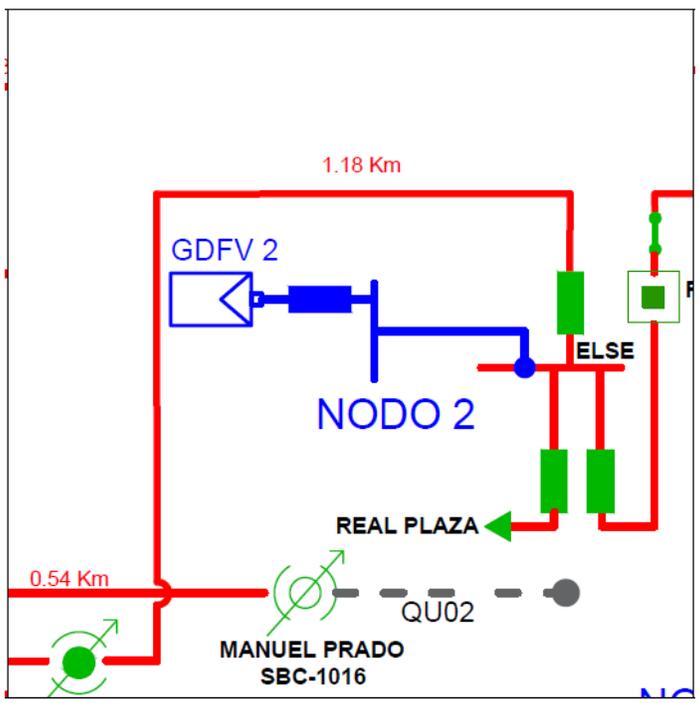
Propuesta de generación distribuida en el nodo 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

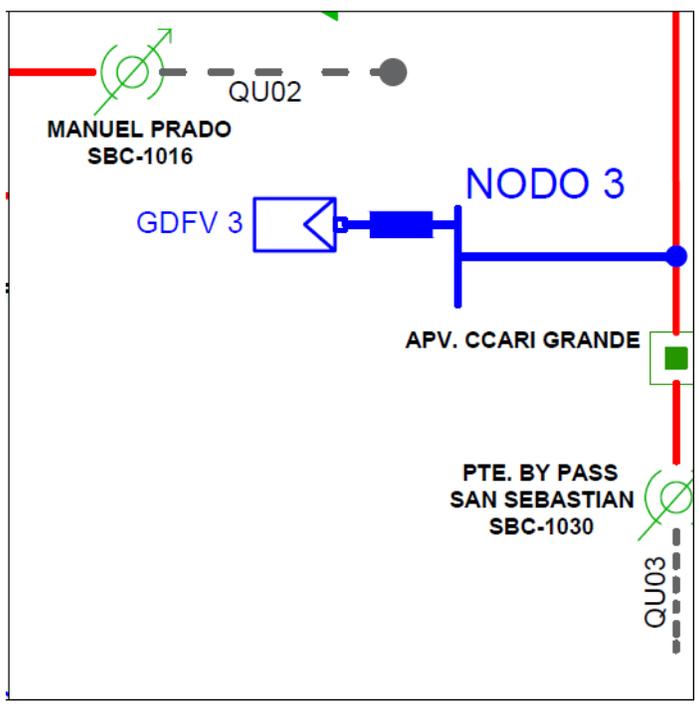
Propuesta de generación distribuida en el nodo 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 32

Propuesta de generación distribuida en el nodo 3



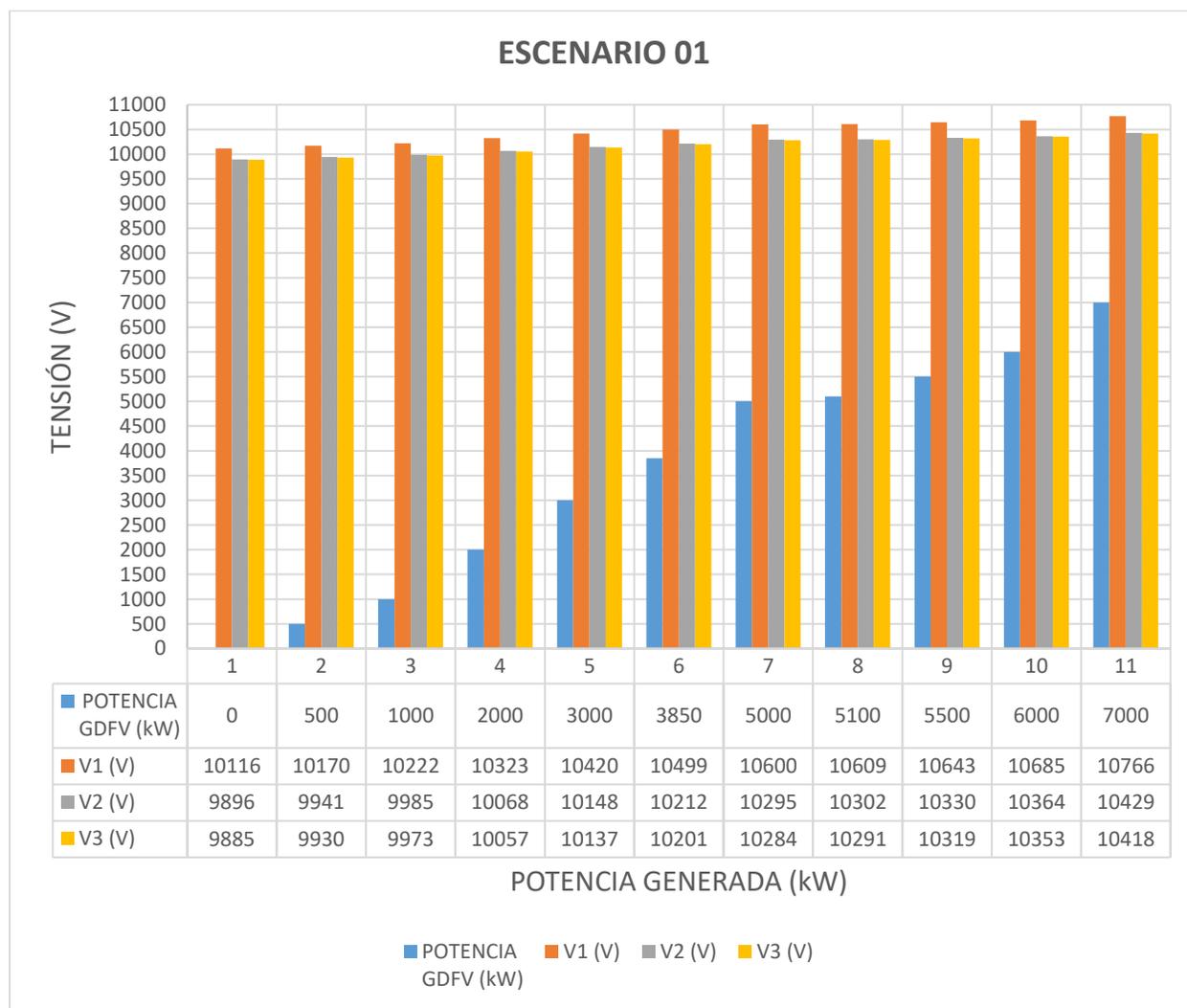
Fuente: Elaboración propia

a) *Escenario con un generador distribuido fotovoltaico al inicio.*

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en el nodo 1, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 70 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 33.

Figura 33

Gráfica de tensión en el Escenario 01



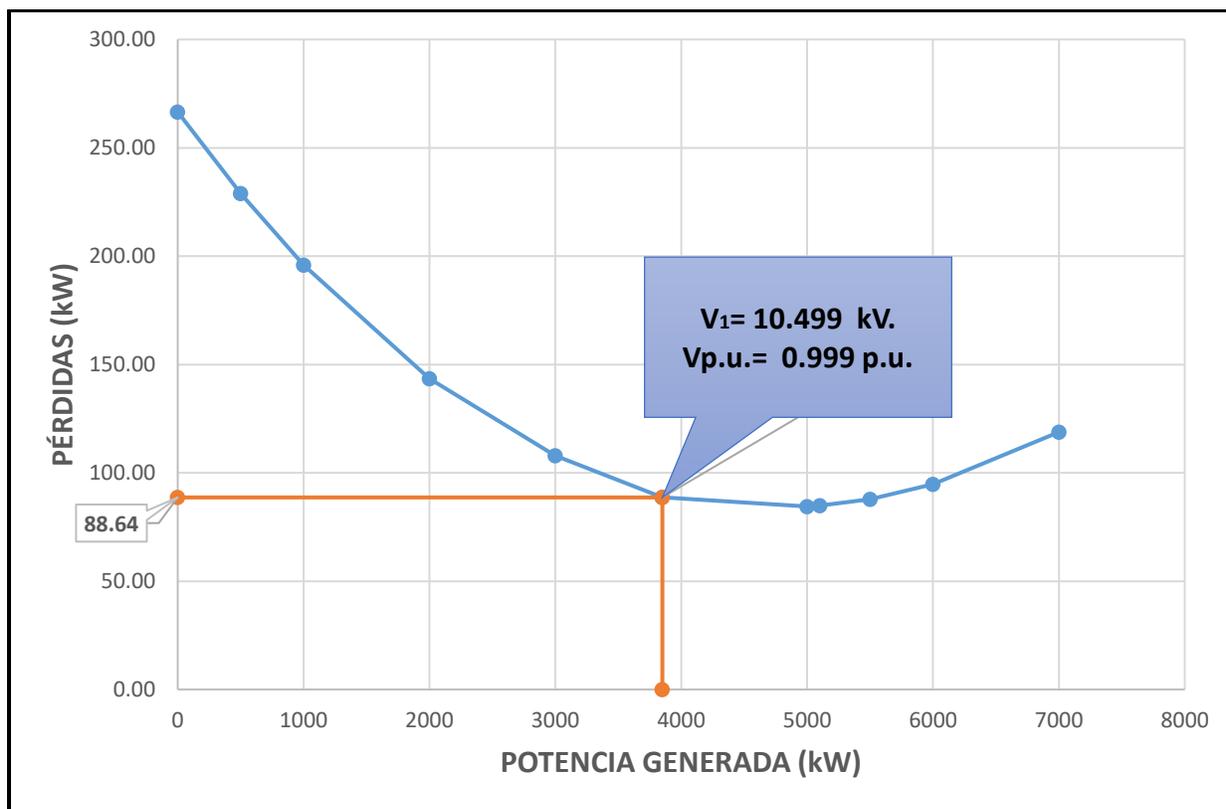
Fuente: Elaboración propia

En el “**ESCENARIO 01**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en el nodo identificado como **Nodo 1**, según se ilustra en la figura 34. Tras realizar diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia generada de 3 850

kW, la tensión en el nodo 1 (V1) alcanzó los 10.499 kV. Además, se logró una reducción de las pérdidas en un 67%, como se muestra en las tablas 19 y 20.

Figura 34

Gráfica del Escenario 01



Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 1

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	3 850.00	0.00	0.00	3 850.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 01.

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	10 499	10 212	10 201	88.64

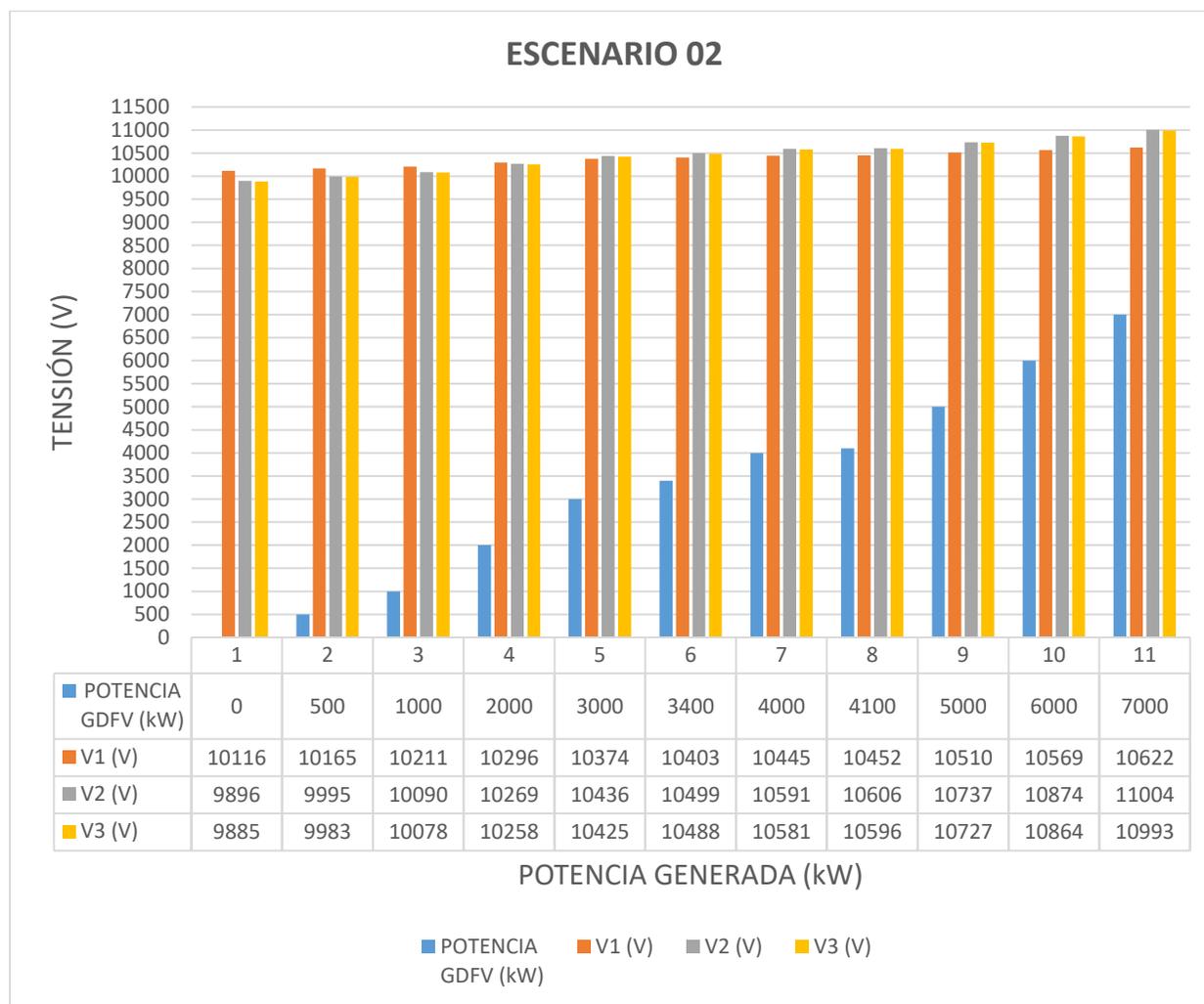
Fuente: Elaboración propia

b) Escenario con un generador distribuido fotovoltaico al medio.

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en el Nodo 2, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 62 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 35.

Figura 35

Gráfica de tensión en el Escenario 02



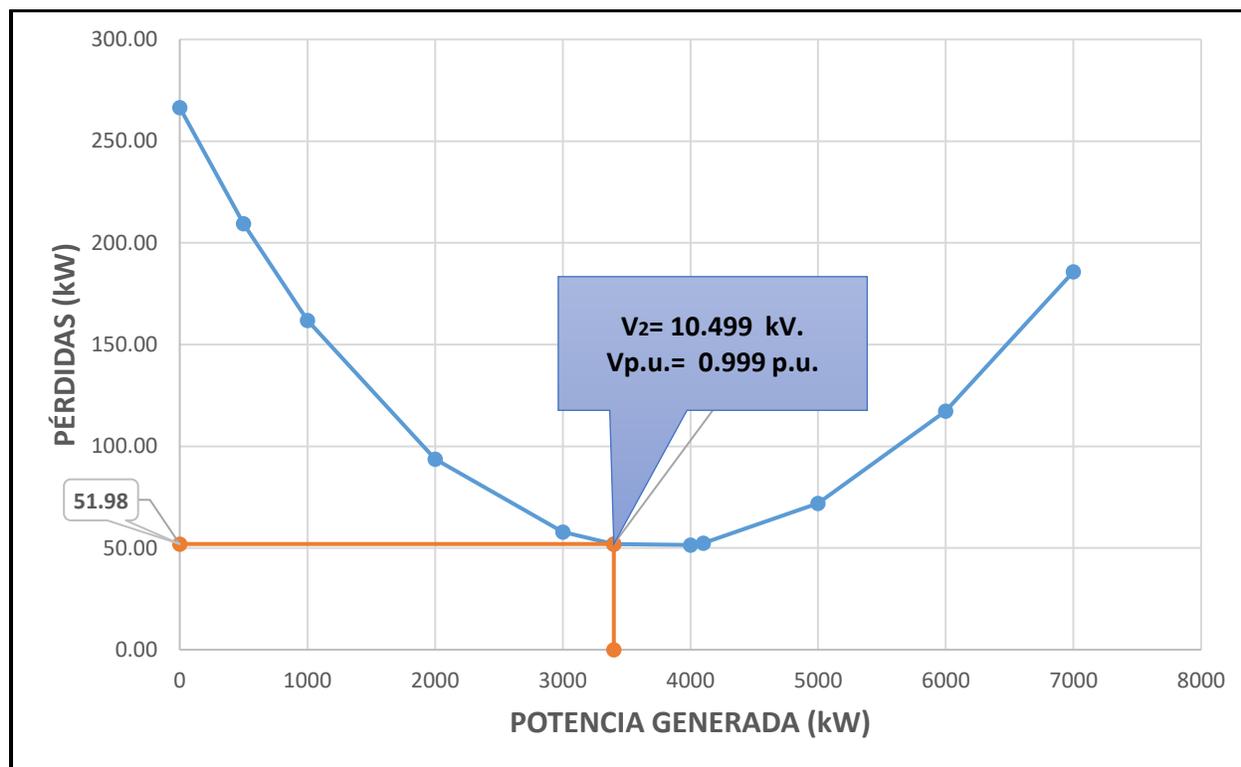
Fuente: Elaboración propia

En el “**ESCENARIO 02**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en el nodo identificado como **Nodo 2**, según se ilustra en la figura 36. Tras realizar diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia generada de 3 400

kW, la tensión en el nodo 2 (V2) alcanzó los 10.499 kV. Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **81%**, como se muestra en las tablas 21 y 22.

Figura 36

Gráfica del Escenario 02



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 2

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	0.00	3 400.00	0.00	3 400.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22*Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 02*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	10 403	10 499	10 488	51.98

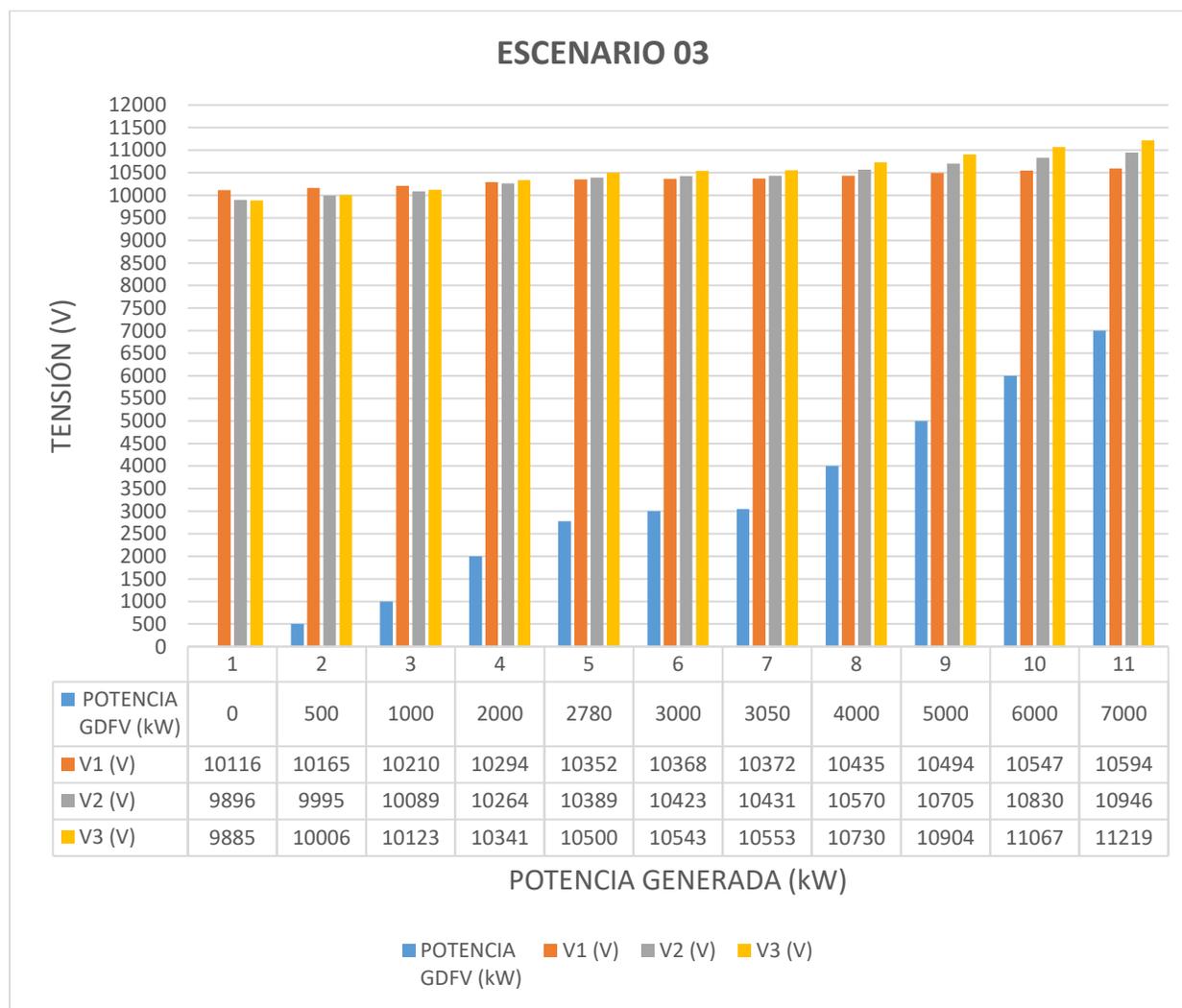
Fuente: Elaboración propia

c) Escenario con un Generador Distribuido Fotovoltaico al final.

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en el Nodo 3, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 51 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 37.

Figura 37

Gráfica de tensión en el Escenario 03



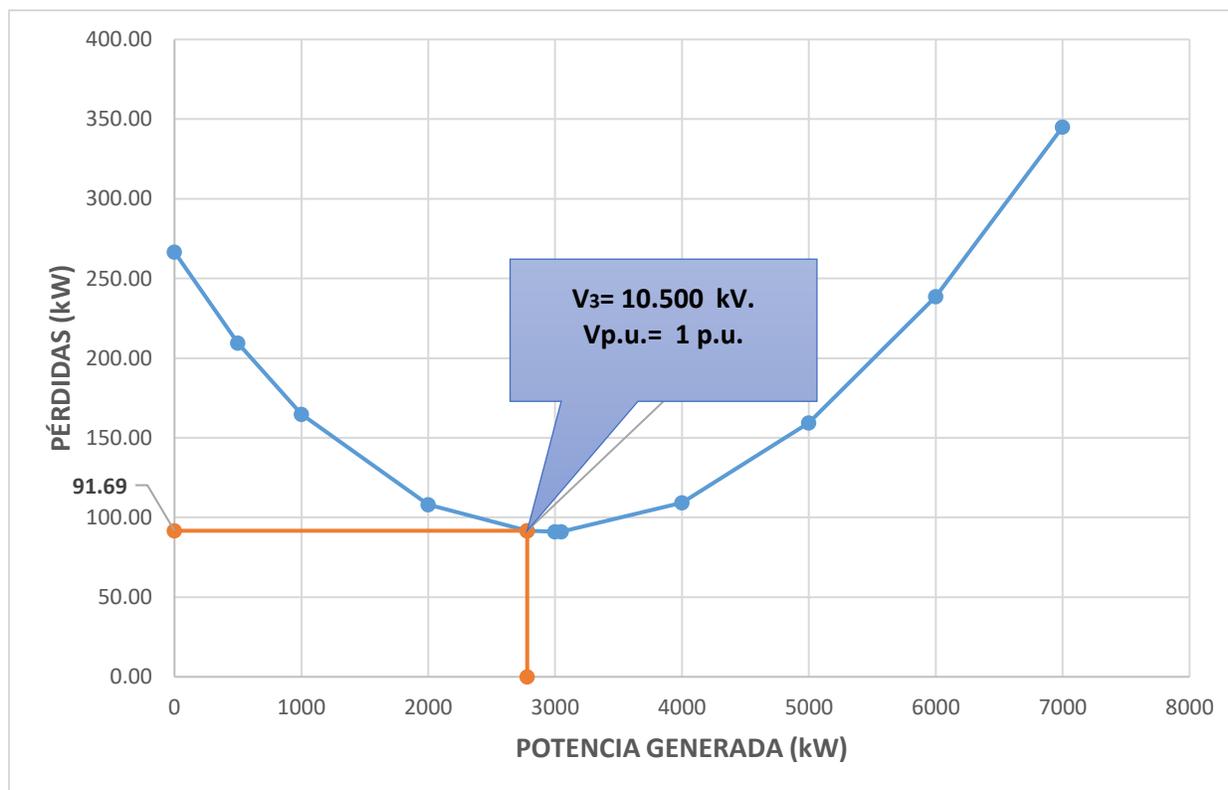
Fuente: Elaboración propia

En “**ESCENARIO 03**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en el nodo identificado como **Nodo 3**, según se ilustra en la figura 38. Tras realizar diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia generada de 2 780

kW, la tensión en el nodo 3 (V3) alcanzó los 10.500 kV. Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **66 %**, como se muestra en las tablas 23 y 24.

Figura 38

Gráfica del Escenario 03



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en el nodo 3

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	0.00	0.00	2 780.00	2 780.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24*Tensión en los tres nodos con 01 GDFV en el escenario 03*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 01 GENERADOR	10 352	10 389	10 500	91.69

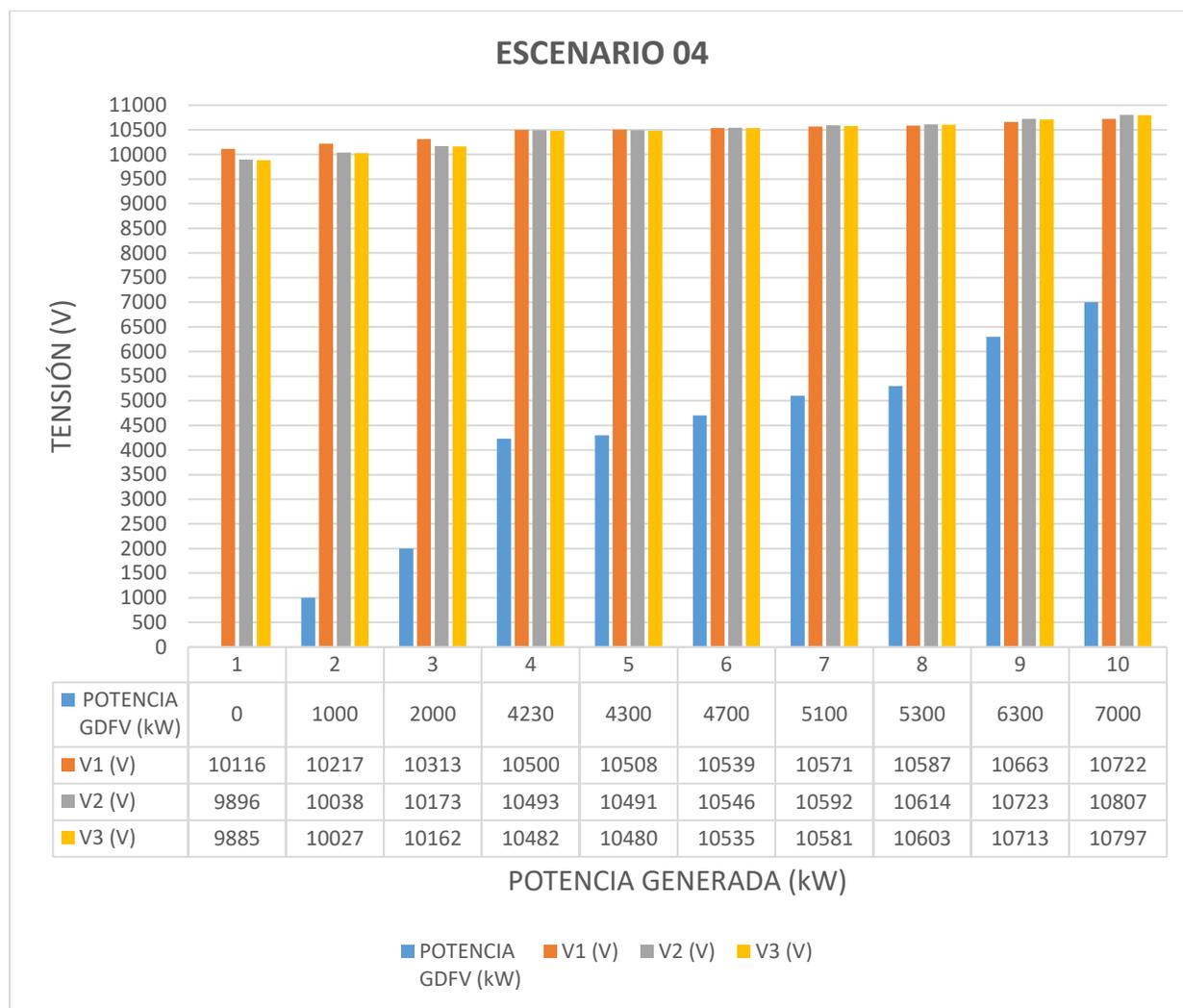
Fuente: Elaboración propia

d) Escenario con un Generador Distribuido Fotovoltaico al inicio y medio.

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en los Nodos 1 y 2, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 77 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 39.

Figura 39

Gráfica de tensión en el Escenario 04



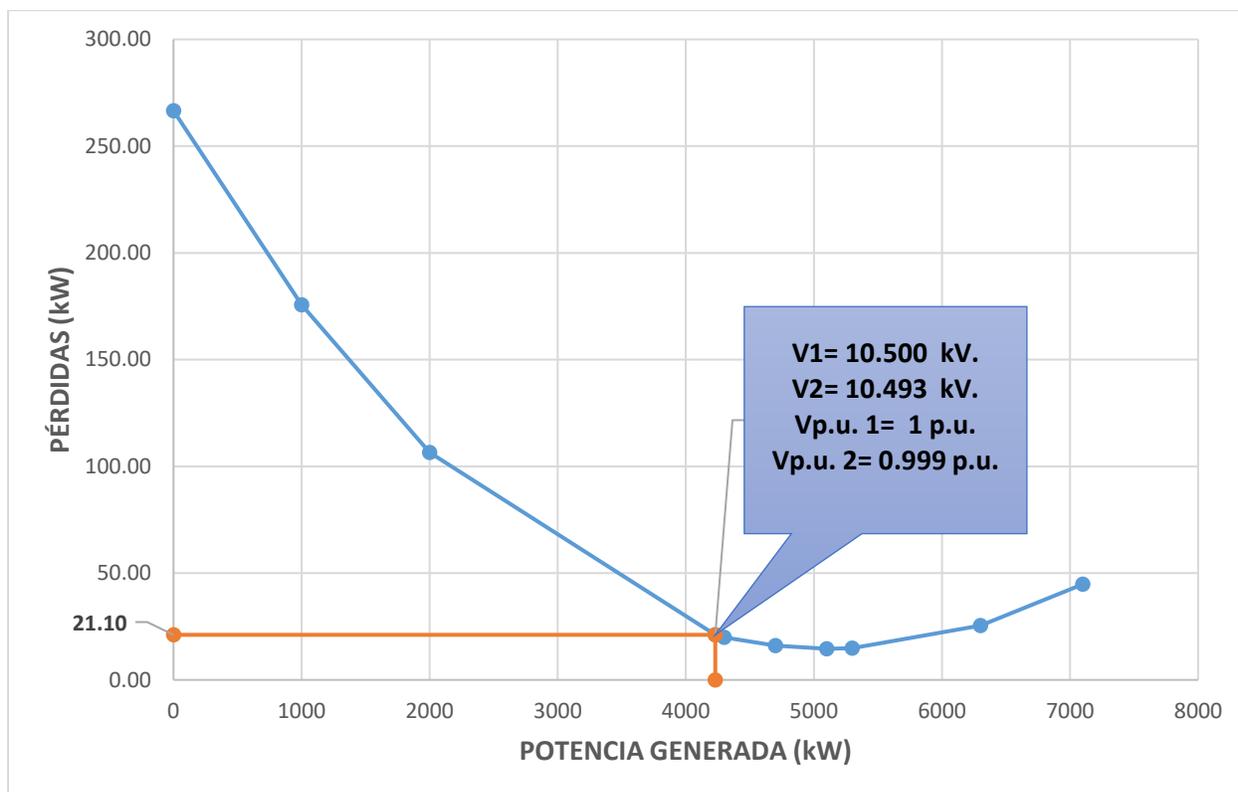
Fuente: Elaboración propia

En “**ESCENARIO 04**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en dos nodos identificados como **Nodo 1** y **Nodo 2**, según se ilustra en la figura 40. Tras realizar diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia

total generada de 4 230 kW, la tensión en el nodo 1 (V1) alcanzó los 10.500 kV y la tensión en el nodo 2 (V2) alcanzó los 10.493 kV; Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **92 %**, como se muestra en las tablas 25 y 26.

Figura 40

Gráfica del Escenario 04



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1 y 2

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	1 650.00	2 580.00	0.00	4 230.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26*Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 04*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	10 500	10 493	10 482	21.10

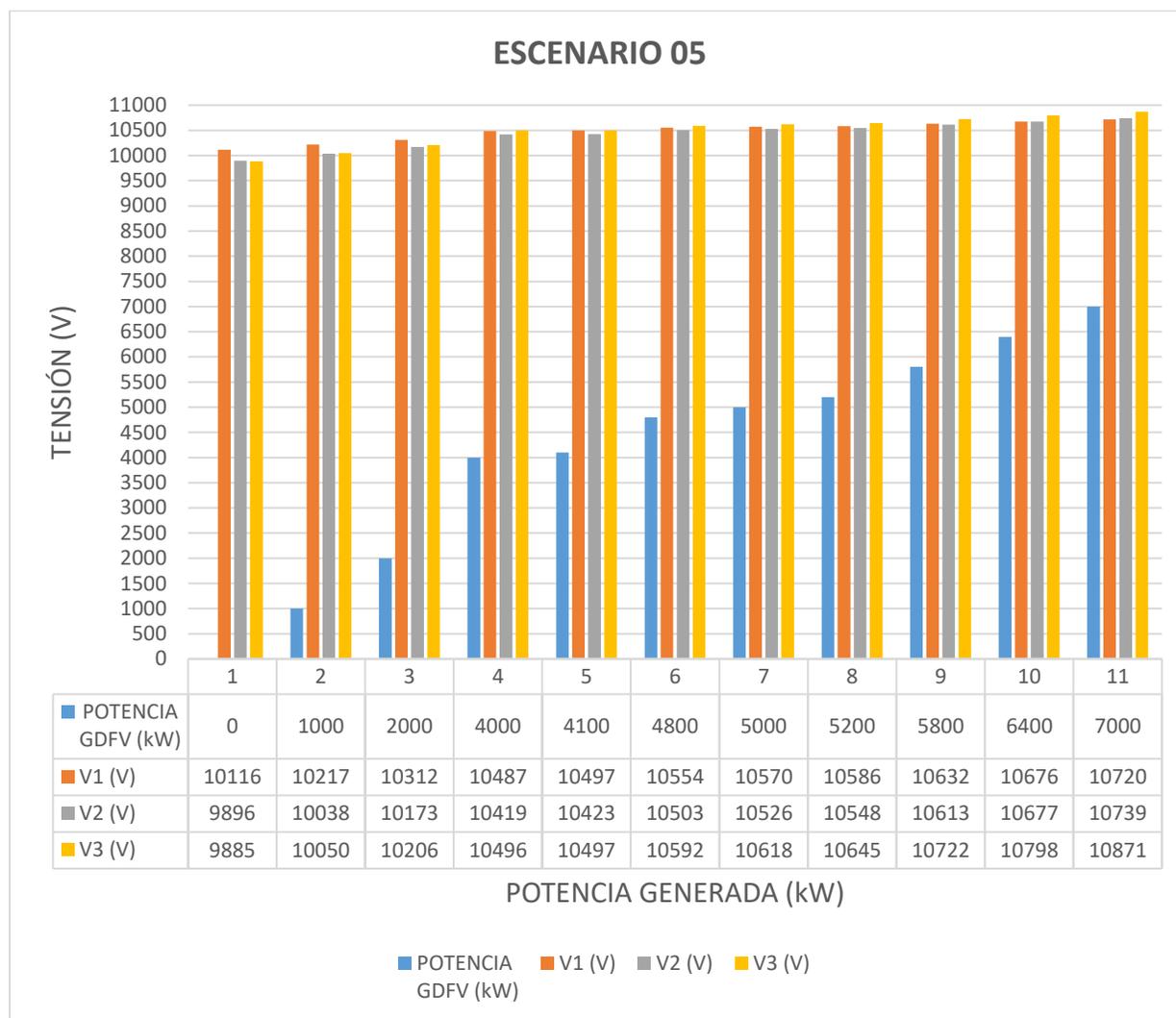
Fuente: Elaboración propia

e) *Escenario con dos Generadores Distribuidos Fotovoltaicos al inicio y final.*

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en los Nodos 1 y 3, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 75 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 41.

Figura 41

Gráfica de tensión en el Escenario 05



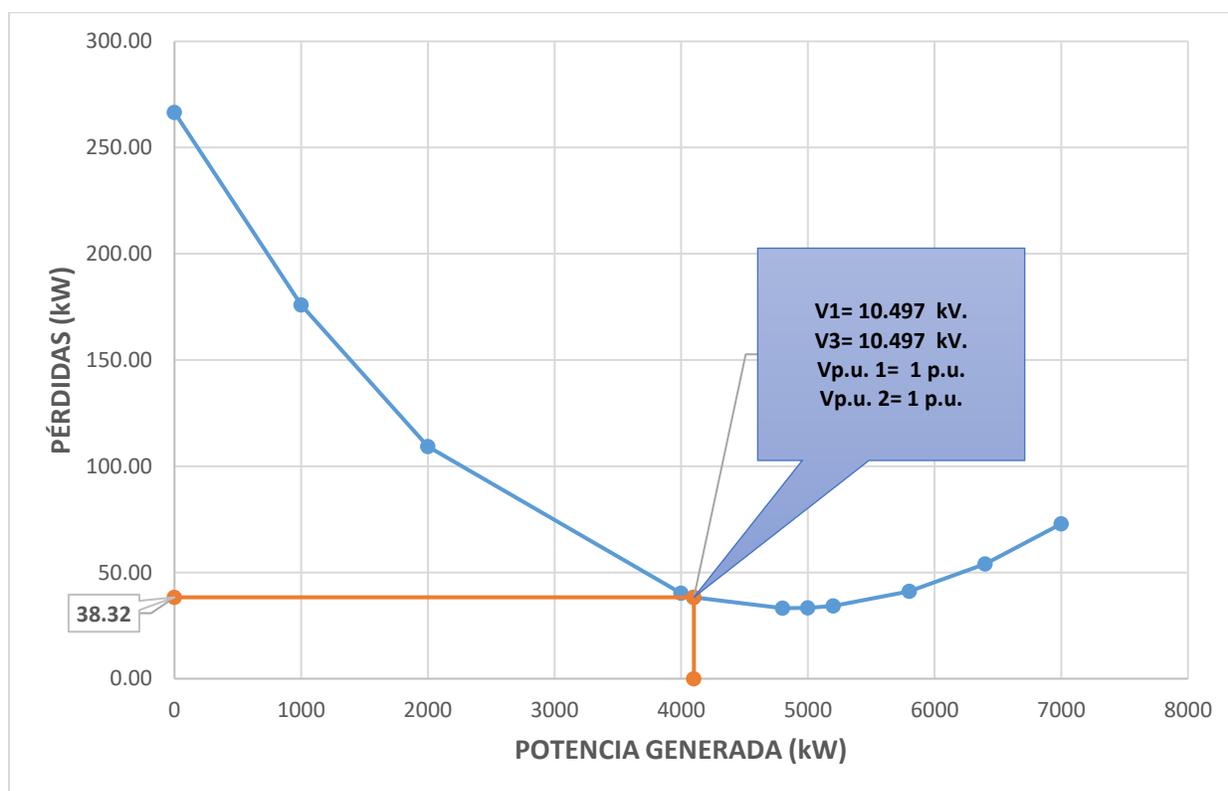
Fuente: Elaboración propia

En “**ESCENARIO 05**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en dos nodos identificados como **Nodo 1** y **Nodo 3**, según se ilustra en la figura 42. Tras realizar diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia

total generada de 4 100 kW, la tensión en el nodo 1 (V1) alcanzó los 10.497 kV y la tensión en el nodo 3 (V3) alcanzó los 10.497 kV; Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **86 %**, como se muestra en las tablas 27 y 28.

Figura 42

Gráfica del Escenario 05



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1 y 3

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	2 150.00	0.00	1 950.00	4 100.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28*Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 05*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	10 497	10 423	10 497	38.32

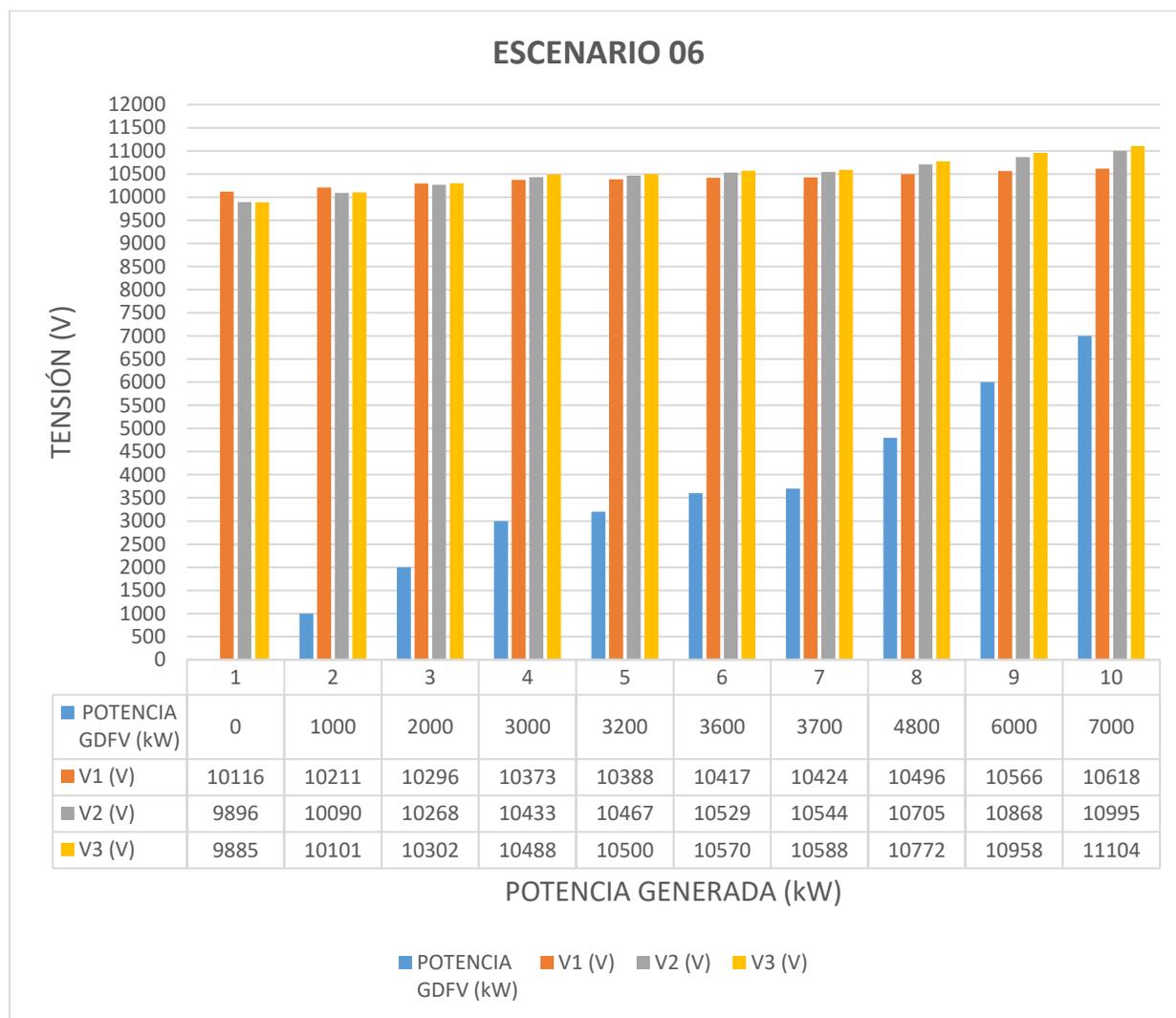
Fuente: Elaboración propia

f) Escenario con dos Generadores Distribuidos Fotovoltaicos al medio y final.

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en los Nodos 2 y 3, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 58 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 43.

Figura 43

Gráfica de tensión en el Escenario 06



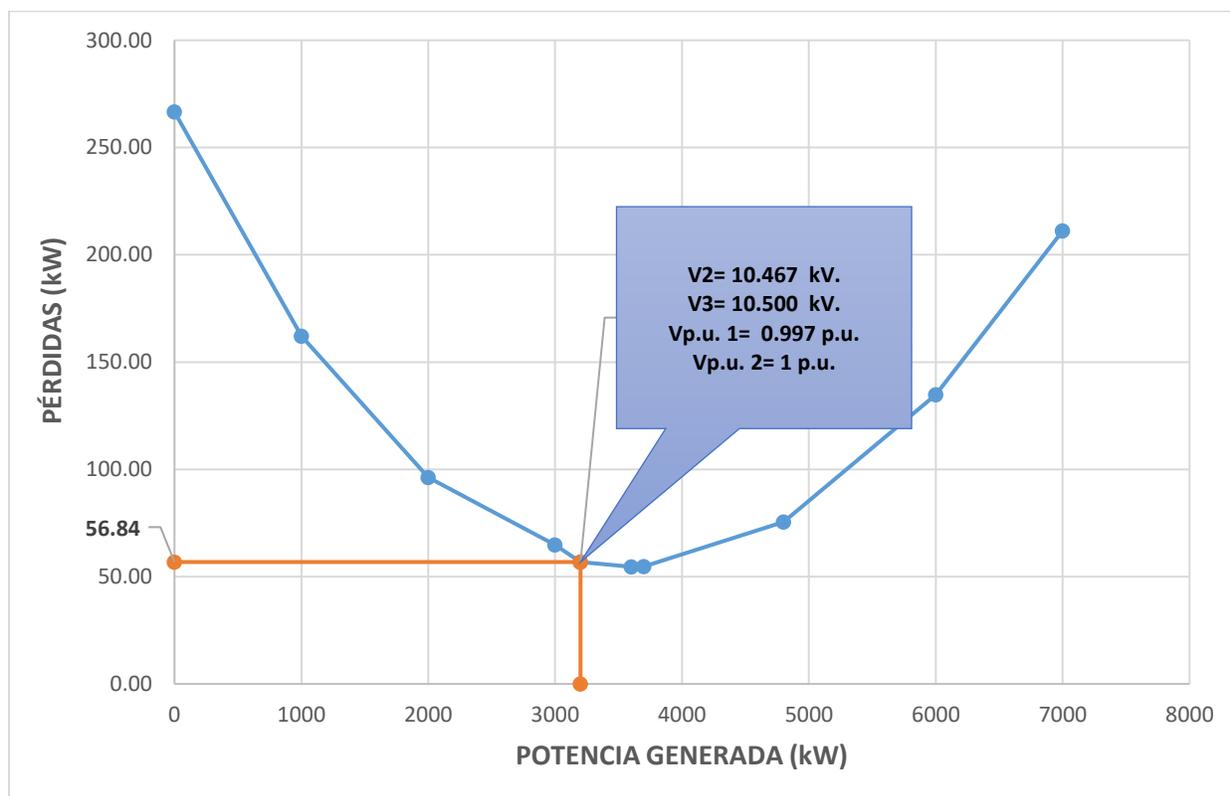
Fuente: Elaboración propia

En “**ESCENARIO 06**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en dos nodos identificados como **Nodo 2** y **Nodo 3**, según se ilustra en la figura 44. Tras realizar diversas

simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia total generada de 3 200 kW, la tensión en el nodo 2 (V2) alcanzó los 10.467 kV y la tensión en el nodo 3 (V3) alcanzó los 10.500 kV; Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **79 %**, como se muestra en las tablas 29 y 30.

Figura 44

Gráfica del Escenario 06



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 2 y 3

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	0.00	2 200.00	1 000.00	3 200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30*Tensión en los tres nodos con 02 GDFV en el escenario 06*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 02 GENERADORES	10 388	10 467	10 500	56.84

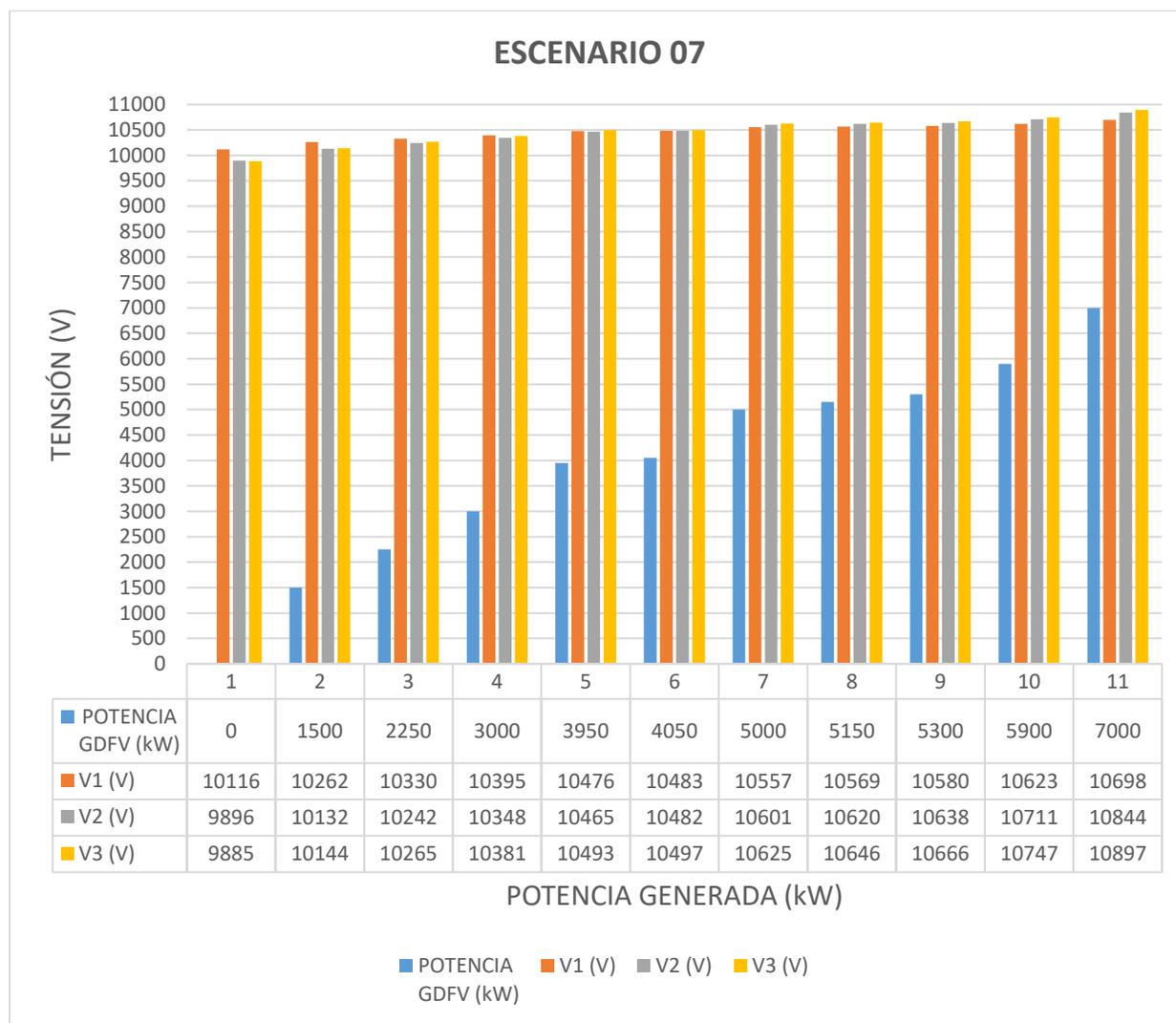
Fuente: Elaboración propia

g) Escenario con tres Generadores Distribuidos Fotovoltaicos al inicio, medio y final.

Se llevaron a cabo diversas simulaciones variando el nivel de penetración de la GDFV (%NivelGD) en los Nodos 1, 2 y 3, lo que permitió determinar que la tensión más óptima se alcanzó con un 74 % de nivel de penetración, en los tres nodos indicados en la figura 45.

Figura 45

Gráfica de tensión en el Escenario 07



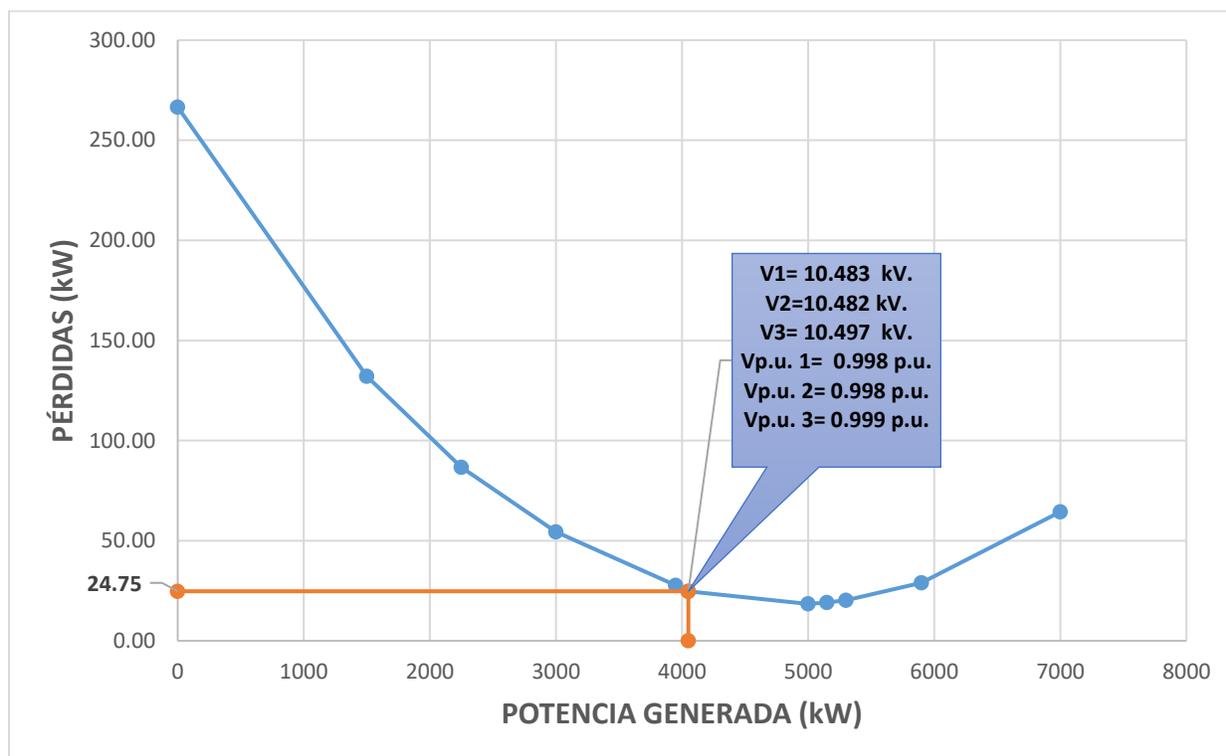
Fuente: Elaboración propia

En “**ESCENARIO 07**”, se propone la incorporación de la generación distribuida en dos nodos identificados como **Nodo 1**, **Nodo 2** y **Nodo 3**, según se ilustra en la figura 46. Tras realizar

diversas simulaciones con el fin de optimizar los niveles de tensión, se determinó que, con una potencia total generada de 4 050 kW; la tensión en el nodo 1 (V1) alcanzó los 10.483 kV, la tensión en el nodo 2 (V2) alcanzó los 10.482 kV y la tensión en el nodo 3 (V3) alcanzó los 10.497 kV; Además, se logró una reducción de las pérdidas en un **91 %**, como se muestra en las tablas 31 y 32.

Figura 46

Gráfica del Escenario 07



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Potencia inyectada del Generador Fotovoltaico en los nodos 1, 2 y 3

	POTENCIA DEL GENERADOR FOTVOLTAICO (kW)			POTENCIA TOTAL (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 03 GENERADORES	1 450.00	2 000.00	600.00	4 050.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Tensión en los tres nodos con 03 GDFV en el escenario 07*

	TENSIÓN (V)			PÉRDIDAS EN LAS LÍNEAS (kW)
	NODO 1	NODO 2	NODO 3	
CON 03 GENERADORES	10 483	10 482	10 497	24.75

Fuente: Elaboración propia

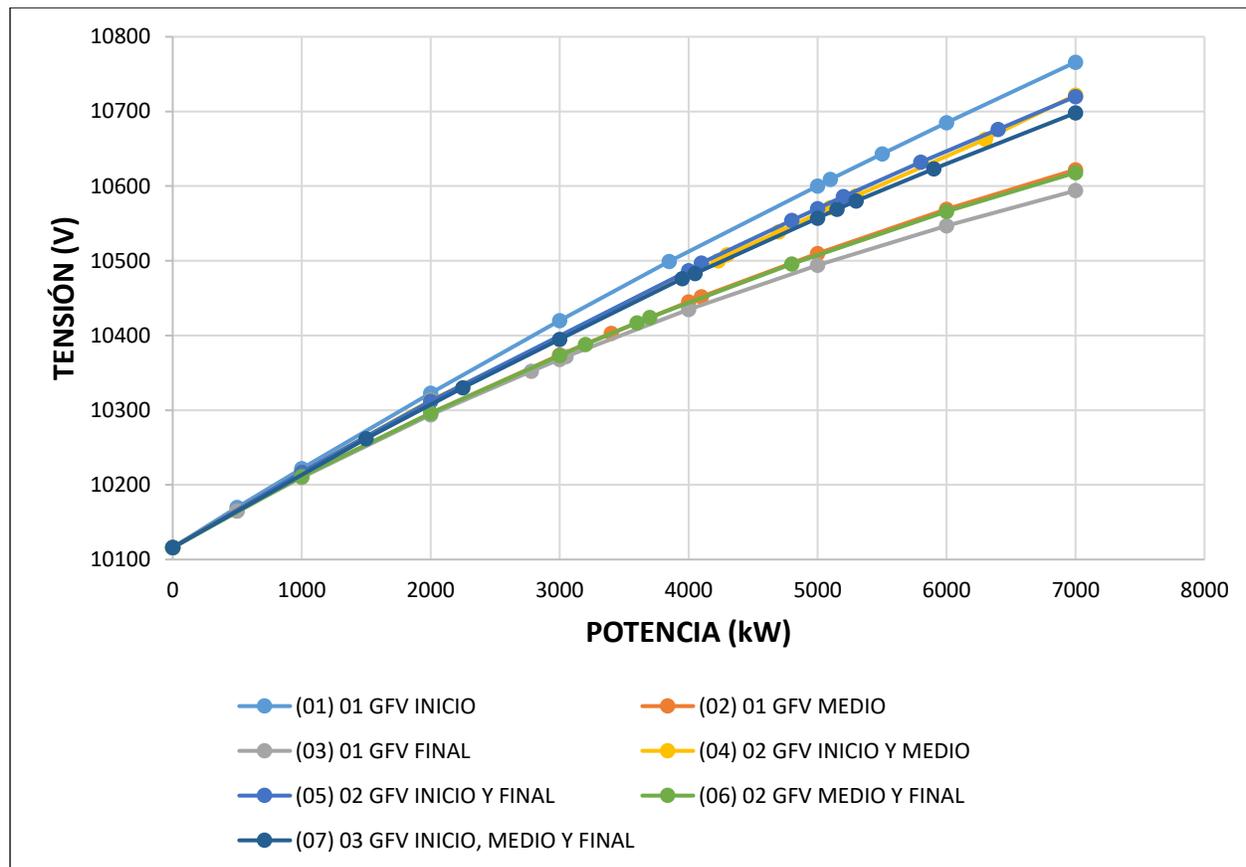
4.2.3. Calidad de tensión en escenario optimo.

4.2.3.1. *Análisis de selección del escenario más optimo.* Se realizó el análisis en tres nodos del alimentador (Nodo 1, Nodo 2 y Nodo 3), a partir del cual se determinó la ubicación óptima para los generadores distribuidos fotovoltaicos.

- En el Nodo “01” del alimentador se observa que en los 7 escenarios los valores de la tensión se aproximan a 10.5 kV para una potencia total inyectada de 4 000 kW de GDFV, como se muestra en la figura 47.

Figura 47

Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 1 del alimentador

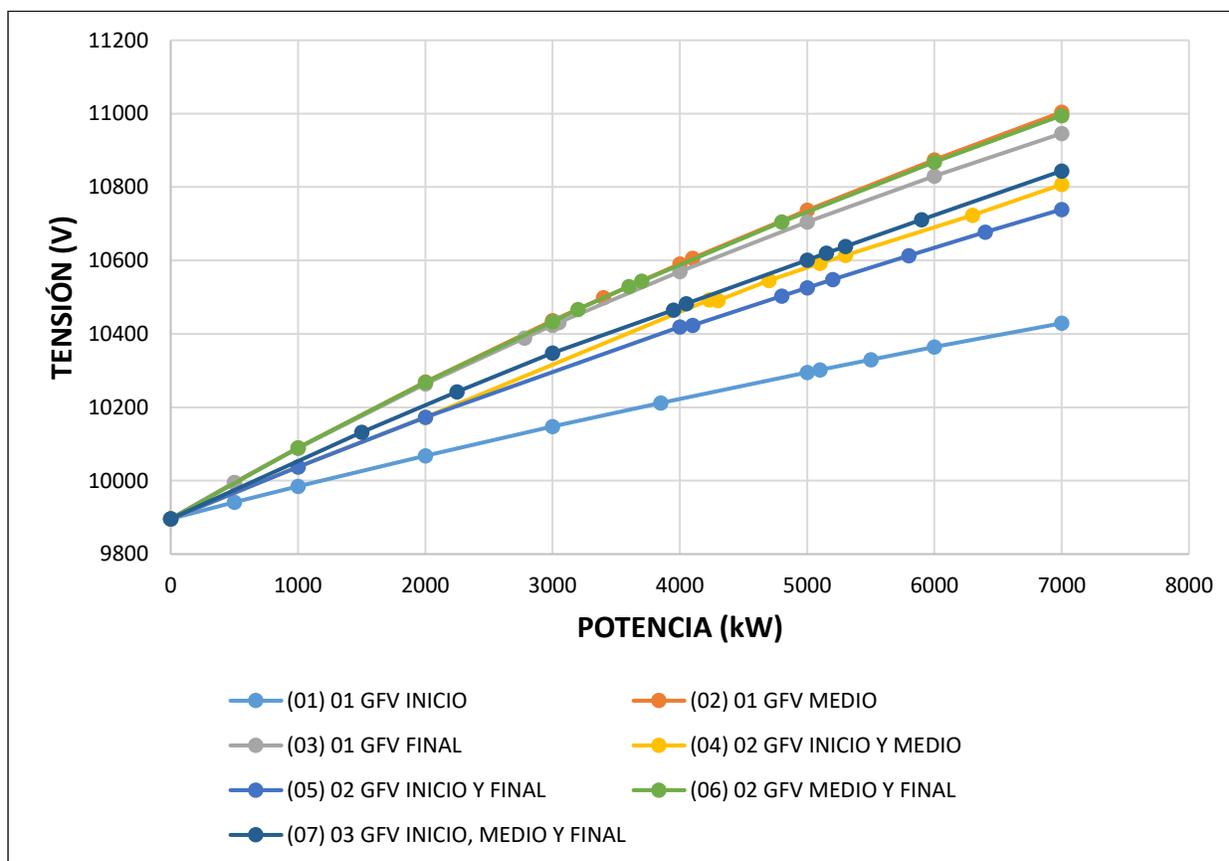


Fuente: Elaboración propia

• En el Nodo “02”, los valores de la tensión obtenidos son dispersos en los 7 escenarios. Para 4 000 kW de GDFV, los escenarios 01, 04, 05 y 07 los valores de tensión no superan la tensión de 10.5 kV; mientras que en los escenarios 02, 03 y 06 las tensiones se aproximan a 10.6 kV, como se muestra en la figura 48.

Figura 48

Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 2 del alimentador

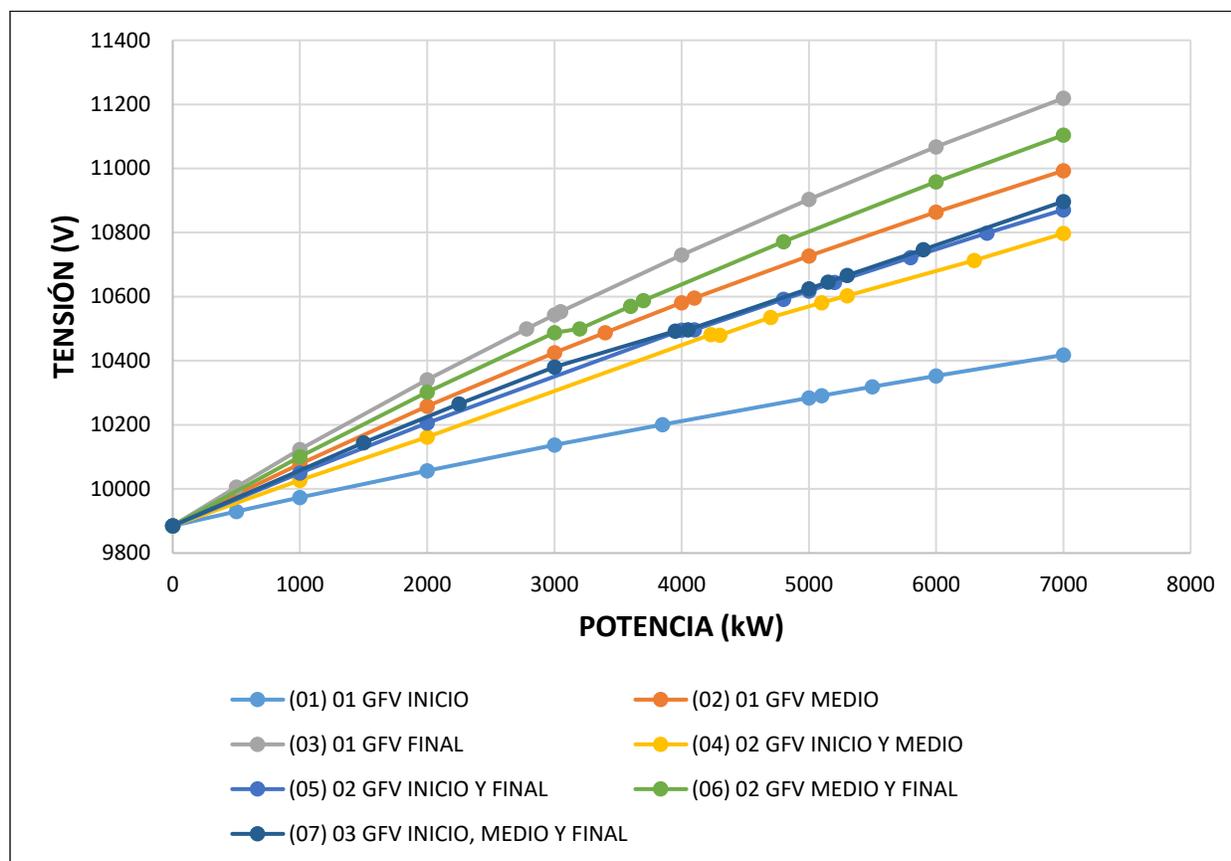


Fuente: Elaboración propia

• Para el Nodo “03”, los valores de la tensión obtenidos son dispersos en los 7 escenarios. Para el escenario 01 con 7 000 kW de GDFV apenas logramos alcanzar la tensión de 10.2 kV, mientras en los demás escenarios logramos aproximarnos al valor de tensión de 10.5 kV, como se muestra en la figura 49.

Figura 49

Tensión vs Potencia con GDFV en el nodo 3 del alimentador



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, de las figuras 47, 48 y 49, observamos que, en las tres ubicaciones, los escenarios 04, 05 y 07 nos ofrecen mejores valores de tensión muy próximos a 10.5 kV; pero es el “escenario 04” el que nos ofrece mejor calidad de tensión y menores de pérdidas tal como se aprecia en la tabla 33 que muestra el resumen de los resultados obtenidos en la simulación de flujo de potencia del sistema con GDFV en el escenario de demanda máxima.

Tabla 33*Resumen de escenarios de operación de la inserción de GDFV*

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN	POTENCIA GDFV (kW)	POTENCIA TOTAL (kW)	Nivel GD (%)	TENSIÓN (kV)			PÉRDIDAS EN LÍNEAS (kW)
					INICIO (V1)	MEDIO (V2)	FINAL (V3)	
ESCENARIO BASE	SIN GDFV	0	0	0	10.048	9.782	9.769	266.57
ESCENARIO 01	CON 1 GDFV AL INICIO	3850	3850	70	10.499	10.212	10.201	88.64
ESCENARIO 02	CON 1 GDFV AL MEDIO	3400	3400	62	10.403	10.499	10.488	51.98
ESCENARIO 03	CON 1 GDFV AL FINAL	2780	2780	51	10.352	10.289	10.500	91.69
ESCENARIO 04	CON 2 GDFV INICIO Y MEDIO	1650-2580	4230	77	10.500	10.493	10.482	21.10
ESCENARIO 05	CON 2 GDFV INICIO Y FINAL	2150-1950	4100	75	10.497	10.423	10.497	38.32
ESCENARIO 06	CON 2 GDFV MEDIO Y FINAL	2200-1000	3200	58	10.388	10.467	10.500	56.84
ESCENARIO 07	CON 3 GDFV	1450-2000-600	4050	74	10.483	10.482	10.497	24.75

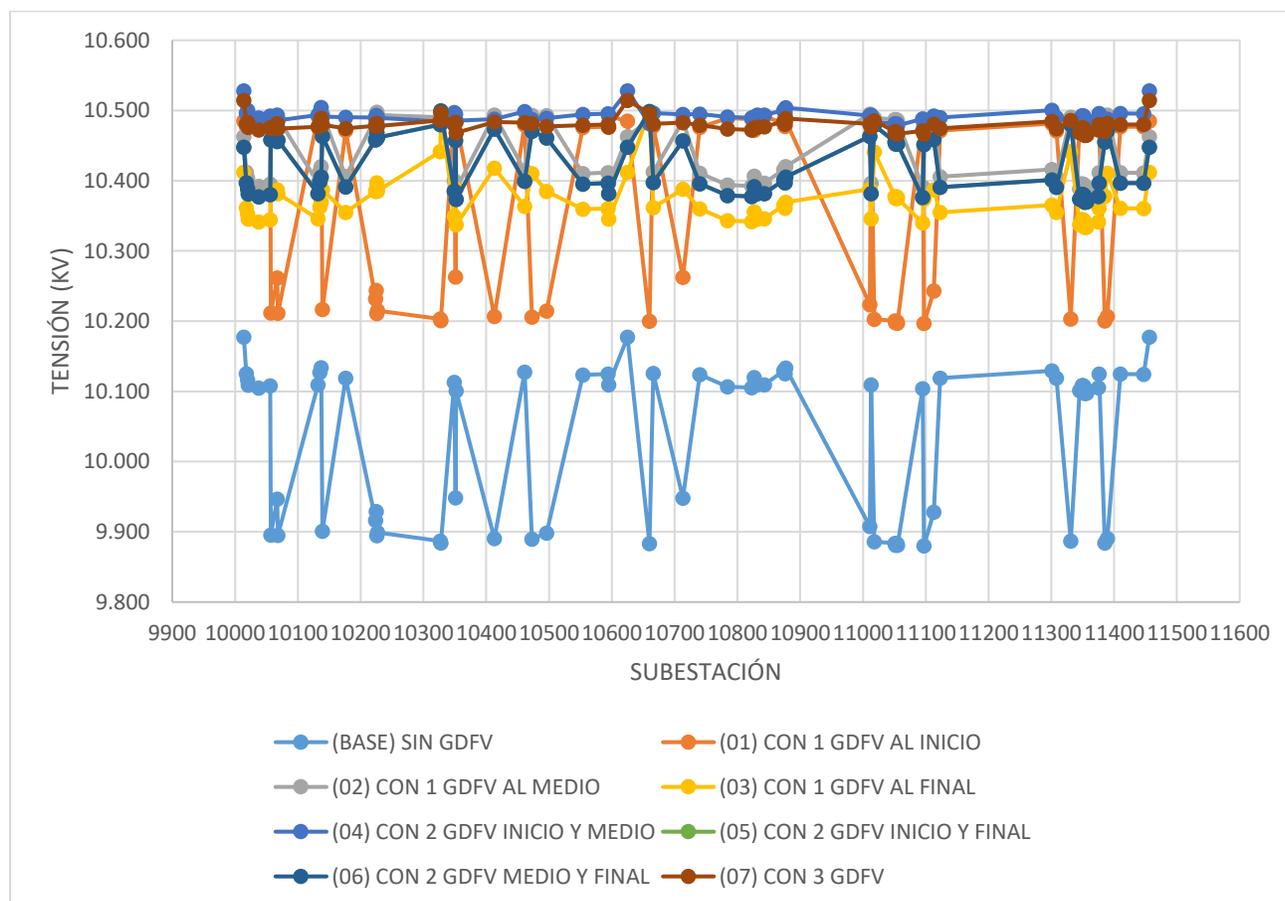
Fuente: Elaboración Propia

Para dimensionar el sistema fotovoltaico, se tomarán como referencia los valores de potencia del “Escenario 04”, ya que este presenta los niveles de tensión más óptimos y reduce más las pérdidas del sistema.

4.2.3.2. Caída de tensión por subestación en los 7 escenarios. Las caídas de tensión obtenidas en el lado primario de las subestaciones del alimentador también nos evidencian una mejora a la calidad de tensión por la incorporación de los generadores distribuidos fotovoltaicos, tal como se aprecia en la figura 50 de los valores obtenidos del anexo B.

Figura 50

Tensión en el lado primario por subestación en los 7 escenarios



Fuente: Elaboración propia

4.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En esta sección se llevará a cabo el dimensionamiento de los principales componentes de un Generador Distribuido Fotovoltaico (GDFV), como son: el panel solar, el inversor, el transformador y el sistema de almacenamiento de baterías. Este proceso es fundamental, ya que la energía a suministrar debe cubrir el escenario de máxima demanda, el cual se encuentra en horario nocturno; dado que en este periodo de tiempo no hay producción de energía solar, el dimensionamiento de la batería cobra especial importancia para garantizar un suministro continuo y estable de energía al sistema. Este cálculo se realizó con el propósito de complementar la propuesta de Generación Distribuida simulada con el software DigSILENT PowerFactory.

4.3.1. Dimensionamiento de la demanda energética del alimentador DO-06

Para dimensionar la energía a suministrar, primeramente, determinamos la cantidad de horas que vamos a cubrir con la GDFV en el escenario de máxima demanda y calculamos la energía requerida por el sistema, como sigue a continuación:

- Escenario optimo: Escenario 04, (ya que se quiere cubrir la energía demandada en estos dos nodos) se toma como referencia los valores de 1 650 kW y 2 580 kW de potencia para calcular la demanda de energía que suministrara la GDFV al sistema.
- Horas de consumo a cubrir: 5 horas, debido a que en este periodo de tiempo coincide con el horario de demanda máxima del alimentador.

4.3.1.1. *Energía diaria y anual requerida en el nodo 1:*

Energía diaria 1:

$$E_{\text{requerida diaria 1}} (\text{kWh}) = P(\text{kW}) \times t(\text{hrs.})$$

$$E_{\text{requerida diaria 1}} (\text{kWh}) = 1\,650 \text{ kW} \times 5 \text{ h} = \mathbf{8\,250 \text{ kWh}}$$

Donde:

P(kW): Potencia instalada en kilo watts.

t (hrs.): Horas de operación diarias.

Energía anual 1:

$$E_{\text{requerida anual 1}} (\text{kWh}) = 8\,250 \text{ kW} \times 365 \text{ dias} = 3\,011.25 \text{ MWh}$$

Donde:

$E_{\text{anual}}(\text{kWh})$: Energía anual requerida.

4.3.1.2. *Energía diaria y anual requerida en el nodo 2:*

Energía diaria 2:

$$E_{\text{requerida diaria 2}} (\text{kWh}) = P(\text{kW}) \times t(\text{hrs.})$$

$$E_{\text{requerida diaria 2}} (\text{kWh}) = 2\,580 \times 5h = \mathbf{12\,900\ kWh}$$

Energía anual 2:

$$E_{\text{requerida anual 2}} (\text{kWh}) = P(\text{kW}) \times t(\text{hrs.})$$

$$E_{\text{requerida anual 2}} (\text{kWh}) = 12\,900 \times 365 \text{ dias} = 4\,708.5 \text{ MWh}$$

Energía total requerida anual:

$$E_{\text{anual}}(\text{kWh}) = 3\,011.25 \text{ MWh} + 4\,708.5 \text{ MWh} = 7.72 \text{ GWh}$$

4.3.2. **Análisis del recurso solar disponible**

4.3.2.1. *Irradiación solar.* El objetivo del análisis del recurso solar es proveer una estimación de la energía solar que la planta fotovoltaica recibe en un año típico.

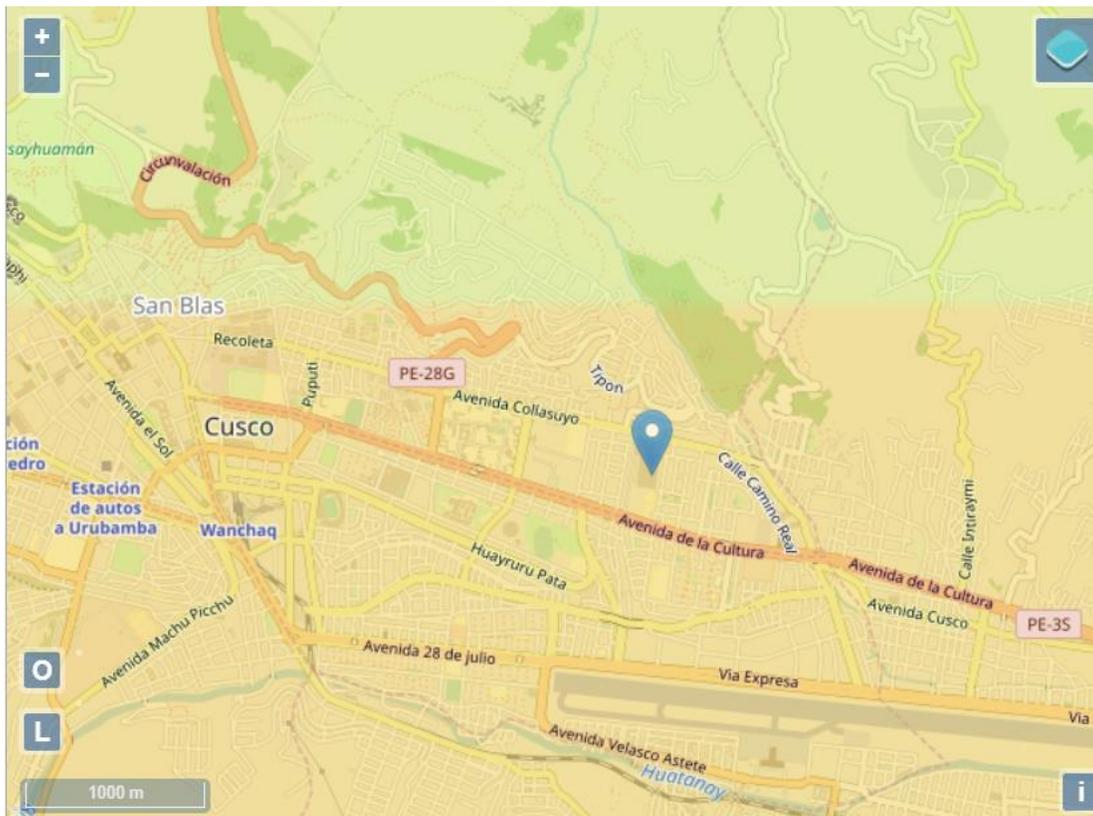
El recurso solar es dado usualmente en kWh/m², que es la cantidad de energía solar que incide sobre un metro cuadrado de superficie en el transcurso de un tiempo determinado, por lo general un año o un día.

Para el cálculo de radiación solar se utilizó datos del software PVGIS (PVGIS 5.3), el cual es una herramienta desarrollada por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea la cual brinda datos muy confiables para la realización de estimaciones de producción solar fotovoltaica, según esta herramienta los datos de irradiación solar en el lugar del proyecto planteado, muestra en la figura 51, teniendo en cuenta los ángulos de instalación óptimos para esta zona de estudio, son los siguientes:

- Irradiación anual (GHI): 2 094.8 kWh/m², teniendo en cuenta las pérdidas por sombras, reflexión de la luz, y por empolvamiento.
- Angulo de inclinación optimo: 15°
- Angulo de azimut = -179°, el panel orienta hacia el norte, ya que nos encontramos en el hemisferio sur, pero con una desviación muy ligera hacia el oeste.

Figura 51

Irradiación solar en la zona del proyecto



Fuente: Software PVGIS.

4.3.3. Descripción de la planta de generación distribuida fotovoltaica

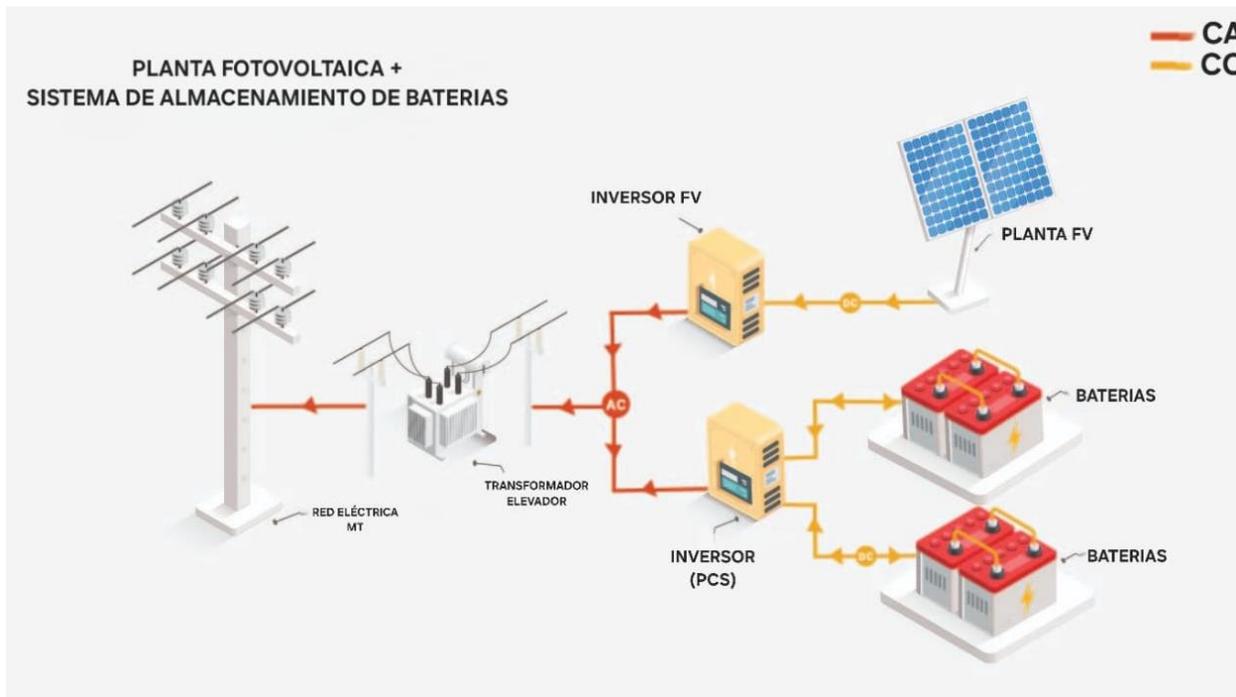
El equipo principal que se usa para convertir la energía solar en electricidad y los cuales dimensionaremos son:

- Módulos fotovoltaicos, los cuales convierten la radiación solar en corriente continua.
- Inversores, los cuales convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA).
- Transformadores, los cuales elevan o reducen el nivel de voltaje del sistema.
- Sistema de almacenamiento de baterías, el cual almacena la energía en corriente continua.

La configuración eléctrica del sistema fotovoltaico propuesto se puede ver en la figura 52.

Figura 52

Diagrama simplificado de la configuración del sistema fotovoltaico



Fuente: Traducido de www.nacleanenergy.com

4.3.4. Selección del panel solar

El panel fotovoltaico seleccionado es un panel con tecnología de celda TNC (Células Monocristalinas Tipo N), que mejoran el rendimiento y la durabilidad.

El panel seleccionado es el modelo “66HD700-720W, N-type Bifacial” de la empresa “TW Solar Co., Ltd.” de 720 W. de potencia con una eficiencia del 23.2%.

Las principales características del panel propuesto se muestran en la tabla 34 y la ficha técnica se encuentra en el anexo C.

Tabla 34*Características del módulo fotovoltaico*

CARACTERÍSTICAS DEL MODULO FOTOVOLTAICO	
Principales características:	
Modelo	66HD700-720
Fabricante	TW Solar
Tecnología	TNC (Monocristalinas Tipo N)
Dimensiones	2384 x 1303 x 33 mm
Peso	37.9 kg.
Características eléctricas (STC):	
Potencia máxima (Pmax)	720 W.
Voltaje de circuito abierto (Voc)	49.28 V.
Corriente de corto circuito (Isc)	18.55 A.
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	41.03 V.
Corriente a máxima potencia (Imp)	17.55 A.
Eficiencia	23.2 %

Fuente: Elaboración propia

Para cubrir la demanda de energía de los dos Generadores Distribuidos, es necesario que el tamaño del sistema fotovoltaico sea mayor a la demanda, ya que en todo el proceso de transformación de la energía en corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) hay pérdidas en los diversos componentes de este proceso, para lo cual se utiliza la irradiación, demanda de energía y eficiencia del sistema la cual se considerará 0.8 (debido a las pérdidas en los cables, los inversores, polvo y temperatura), para calcular el tamaño de la GDFV propuesta, como sigue a continuación:

$$\frac{\left(\frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Irradiación solar anual}} \right)}{\text{Eficiencia}} = \text{Tamaño del Sistema Fotovoltaico}$$

En el nodo 1:

$$\frac{\left(\frac{3\,011\,250}{2\,094.8} \right)}{0.8} = 1\,797 \text{ kW}$$

En el nodo 2:

$$\frac{\left(\frac{4\,708\,500}{2\,094.8} \right)}{0.8} = 2\,810 \text{ kW}$$

Numero de paneles:

En el nodo 1:

$$N_{\text{paneles } 1} = \frac{1\,796\,860\,W}{720\,W/\text{panel}} = 2\,496\, \text{paneles}$$

En el nodo 2:

$$N_{\text{paneles } 2} = \frac{2\,809\,640\,W}{720\,W/\text{panel}} = 3\,902\, \text{paneles}$$

Teniendo la cantidad de paneles por GDFV se procede a seleccionar un inversor para que pueda transformar la energía de estos paneles de CC a CA.

4.3.5. Dimensionamiento del inversor

El inversor convierte la corriente continua producida por los paneles fotovoltaicos a corriente alterna, contiene etapas de conversión de CC a CA, equipadas con un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), el cual variara la tensión de las entradas en CC para maximizar la producción en función de las condiciones de operación. Tiene componentes de protección contra sub y sobre tensiones, sub y sobre frecuencias, protección anti isla, protección contra huecos de tensión, etc. También cuenta con sistemas de monitoreo y de control.

Las principales características del inversor propuesto se muestran en la tabla 35 y la ficha técnica se encuentra en el anexo D.

Tabla 35*Características del inversor*

CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR	
Principales características:	
Modelo	SCH350KTL-DO/US-800
Fabricante	CPS AMERICA
Tipo de inversor	De cadena (String)
Dimensiones	1 057 x 810 x 400 mm
Peso	143 kg.
Eficiencia máxima	98.8%
Lado de entrada (CC):	
Voltaje máximo de entrada	1500 V.
Rango de operación de voltaje	500-1450 V.
Número de entradas de CC	2 x 15 (30, 2 por MPPT)
Corriente máxima	40 x 15 A.
Corriente máxima de corto circuito	65 x 15 A.
Lado de salida (CA):	
Potencia máxima	350 kW.
Rango de voltaje	680-880 V.
Conexión	Trifásica.
Corriente máxima	253 A.
Frecuencia nominal	60 Hz.
Factor de potencia	>0.99 (± 0.8 ajustable)

Fuente: Elaboración propia

Para dimensionar la cantidad de inversores a utilizarse para los dos GDFV, primero se dimensiona la cantidad de paneles que conforman una cadena (string) de acuerdo a las características técnicas del inversor y panel.

Configuración por inversor:**En el nodo 1:**

Voltaje por panel: 41.03 V.

Paneles por cadena (string), optamos entre 27 y 28 paneles/string:

Por 27 paneles:

 $27 \times 41.03 = 1\ 107.81$ V. (dentro del rango)

Por 28 paneles:

 $28 \times 41.03 = 1\ 148.84$ V. (dentro del rango)

Paneles por inversor:

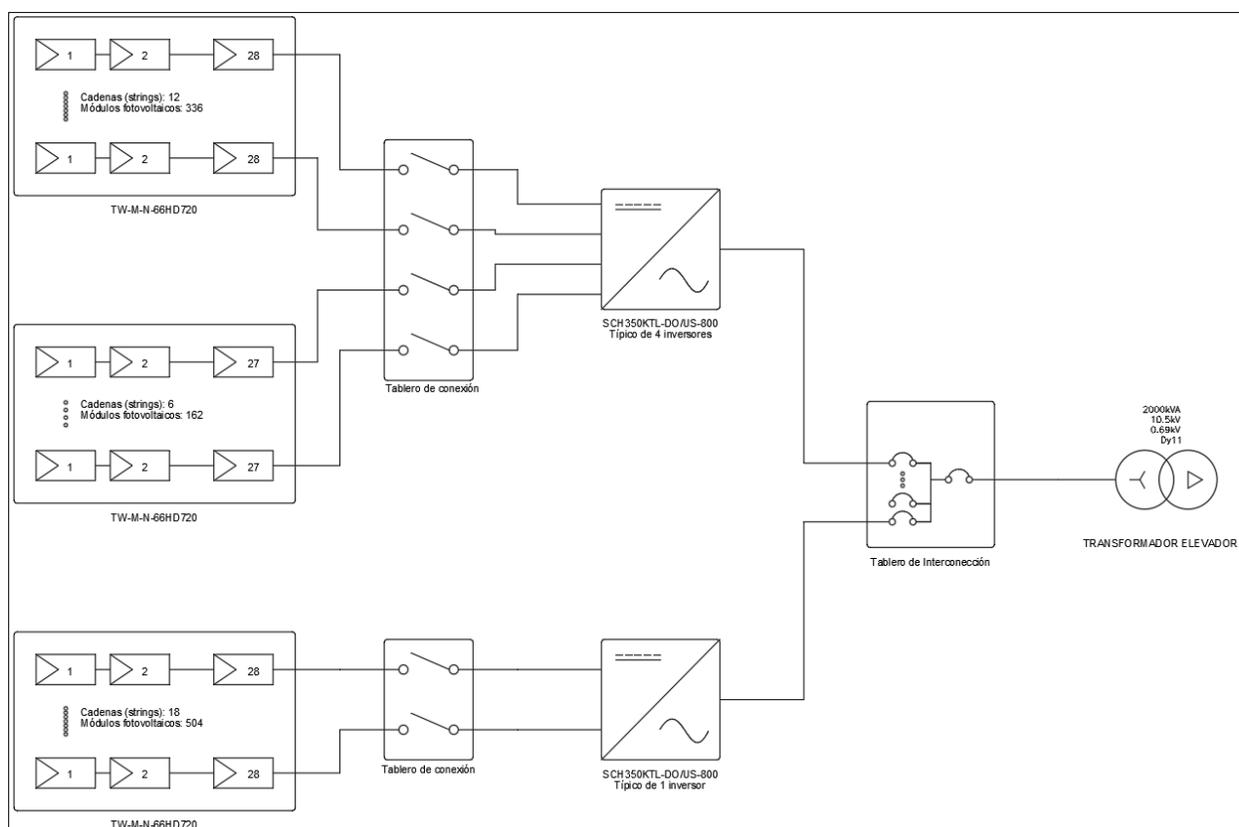
En el nodo 1 se necesitan 2 496 paneles para cubrir la demanda en esa ubicación, por lo cual serán divididos en 5 inversores, como sigue a continuación:

- 12 strings de 28 paneles + 6 strings de 27 paneles para 4 inversores y
- 18 strings de 28 paneles para 1 inversor.

Dicha configuración se muestra en la figura 53:

Figura 53

Configuración de paneles por inversor en el nodo 1



Fuente: Elaboración propia.

En el nodo 2:

Voltaje por panel: 41.03 V.

Paneles por cadena (string), optamos entre 26 y 27 paneles/string:

Por 26 paneles:

$26 \times 41.03 = 1\ 066.78$ V. (dentro del rango)

Por 27 paneles:

$27 \times 41.03 = 1\ 107.81\ \text{V}$. (dentro del rango)

Paneles por inversor:

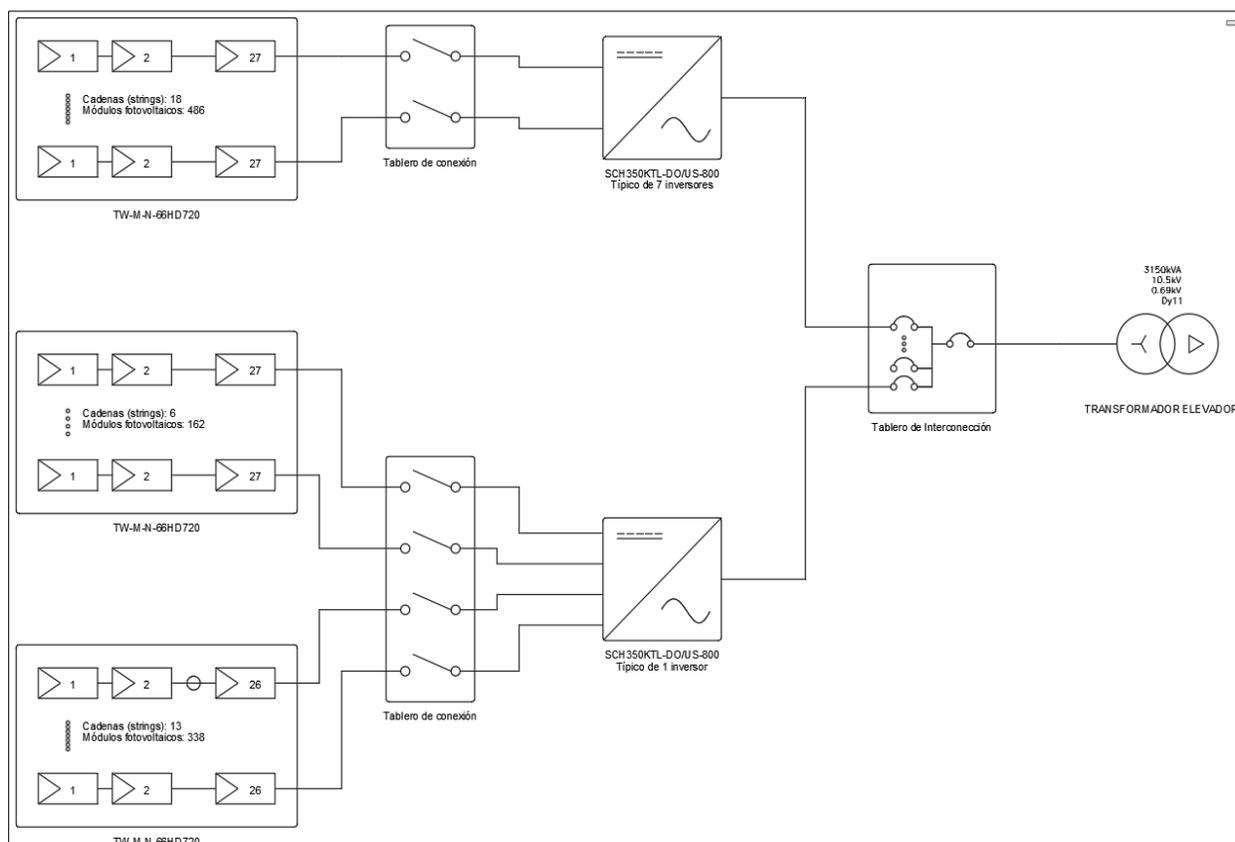
En el nodo 2 se necesitan 3 902 paneles para cubrir la demanda en esa ubicación, por lo cual serán divididos en 8 inversores, como sigue a continuación:

- 18 strings de 27 paneles para 7 inversores y
- 6 strings de 27 paneles + 13 strings de 26 paneles para 1 inversor.

Dicha configuración se muestra en la figura 54:

Figura 54

Configuración de paneles por inversor en el nodo 2



Fuente: Elaboración propia.

4.3.6. Dimensionamiento del transformador

El transformador elevador sirve para elevar el voltaje en CA de la salida de los inversores a la tensión de funcionamiento de la red, cuya relación de transformación debe ser 0.68-0.88/10.5 kV. En el nodo 1 se necesita un transformador de 2 MVA de potencia, ya que es un valor normalizado en la industria.

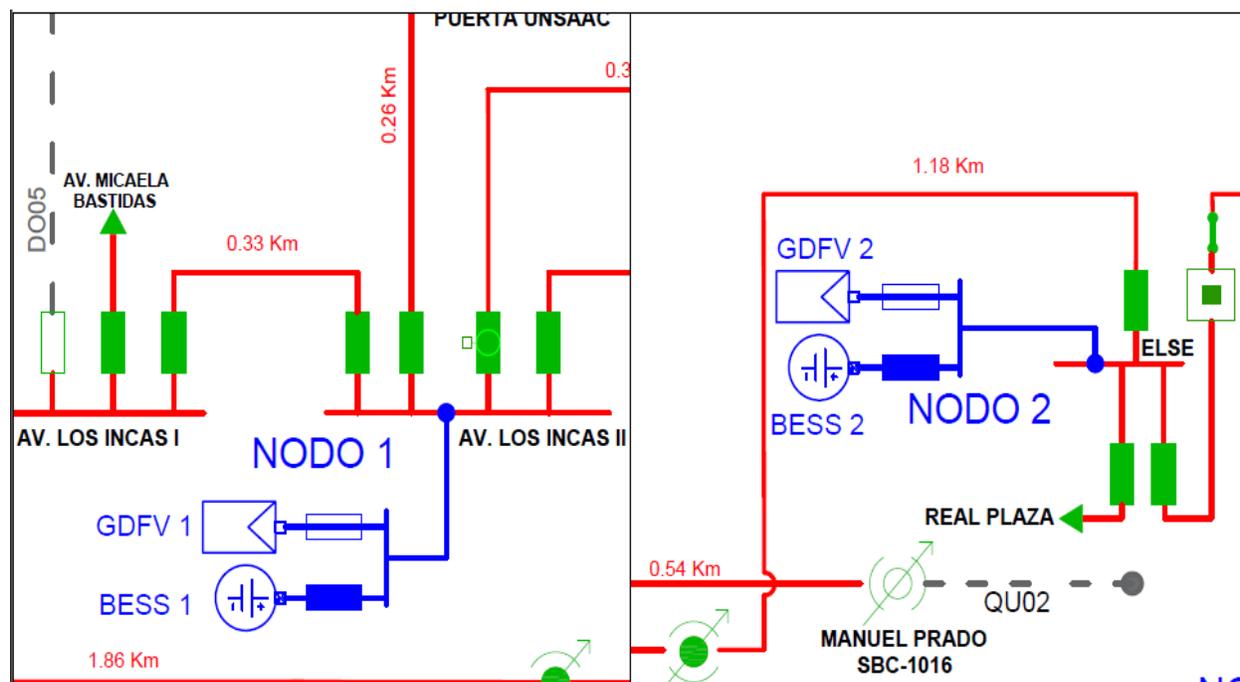
En el nodo 2 se necesita un transformador de 3.15 MVA de potencia, ya que es un valor normalizado en la industria.

4.3.7. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

En adición a la planta fotovoltaica propuesta, se necesita un sistema de almacenamiento con baterías (BESS), como se muestra en la figura 55.

Figura 55

BESS en los nodos 1 y 2



Fuente: Elaboración propia.

Para esta propuesta se dimensionó el BESS para cubrir la demanda de energía por 5 horas ya que coincide con el horario de máxima demanda del alimentador, de la siguiente manera:

En el nodo 1:

Para suplir una demanda diaria de 8 250 kWh en el transcurso de 5 horas, primero calcularemos la capacidad necesaria.

Capacidad necesaria:

Demanda diaria: **8 250 kWh.**

Profundidad de descarga (DoD): Las baterías no deben descargarse al 100% para garantizar su vida útil; tomaremos un valor típico en baterías de Li-ion, el cual es un DoD de 90%.

$$\text{Capacidad necesaria(kWh)} = \frac{\text{Demanda diaria}}{\text{DoD} \times \text{Eficiencia}} = \frac{8\,250}{0.9 \times 0.9} \approx 10\,000 \text{ kWh}$$

En el nodo 2:

Para suplir una demanda diaria de 12 900 kWh en el transcurso de 5 horas, primero calcularemos la capacidad necesaria.

Capacidad necesaria:

Demanda diaria: **12 900 kWh.**

Profundidad de descarga (DoD): Las baterías no deben descargarse al 100% para garantizar su vida útil; tomaremos un valor típico en baterías de Li-ion, el cual es un DoD de 90%.

$$\text{Capacidad necesaria(kWh)} = \frac{\text{Demanda diaria}}{\text{DoD} \times \text{Eficiencia}} = \frac{12\,900}{0.9 \times 0.9} \approx 16\,000 \text{ kWh}$$

Las principales características del módulo de almacenamiento de energía propuesto se muestran en la tabla 36 y la ficha técnica se encuentra en el anexo E.

Tabla 36*Características del módulo de almacenamiento de energía*

CARACTERÍSTICAS DEL MODULO DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	
Principales características:	
Modelo	Gridstack Pro, 5 000 series
Fabricante	FLUENCE
Celdas de batería	306 Ah - 530 Ah
Capacidad de energía	4 888 kWh – 5 644 kWh
Dimensiones	2 896 x 6 820/6 058 x 2 438 mm
Duración de descarga	2 - 6 hrs
Eficiencia de ida y vuelta	>87%

Fuente: Elaboración propia

Utilizando este módulo de almacenamiento:

En el nodo 1:Para cubrir la capacidad de 10 000 kWh calculada anteriormente, se necesitarían **2 módulos**.**En el nodo 2:**Para cubrir la capacidad de 16 000 kWh calculada anteriormente, se necesitarían **3 módulos**.

Para complementar el dimensionamiento del BESS, se necesita un Sistema de conversión de Potencia (PCS) que básicamente es un inversor bidireccional, el cual permite convertir corriente continua a corriente alterna y viceversa (CC ↔ CA), para lo cual se propone el PCS cuyas características se encuentran en la tabla 37 y la ficha técnica se encuentra en el anexo F.

Tabla 37*Características del PCS*

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CONVERSIÓN DE POTENCIA		
Principales características:		
Modelo	Multi PCSK FP2195K2	Multi PCSK FP3290K3
Fabricante	POWER ELECTRONICS	
Potencia de salida en CA	2 195 kVA	3 290 kVA
Voltaje de operación en CA	690 ±10%	
Voltaje de operación en CC	976-1500 V	
Eficiencia	98.85%	
Dimensiones	3 000 x 2 000 x 2 200 mm	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.8. Funcionamiento del generador distribuido fotovoltaico con un sistema de almacenamiento de baterías (BESS).

Este sistema está conformado por paneles solares que convierten la radiación solar en corriente continua, a través de los inversores es transformada en corriente alterna la cual es elevada mediante un transformador para ser inyectada a la red, adicionalmente cuenta con un banco de baterías que almacena esta energía para ser entregada en horas de máxima demanda a la red, la cual mejora el nivel de tensión y reduce el pico de consumo del alimentador. Los componentes propuestos en este proyecto cuentan con conexión a sistemas SCADA y de gestión de energía, que son capaces de coordinar el flujo eléctrico del generador fotovoltaico y el sistema de baterías e interactuar con la red para inyectar la energía almacenada a la potencia deseada, contribuyendo a la mejora de los niveles de tensión del alimentador.

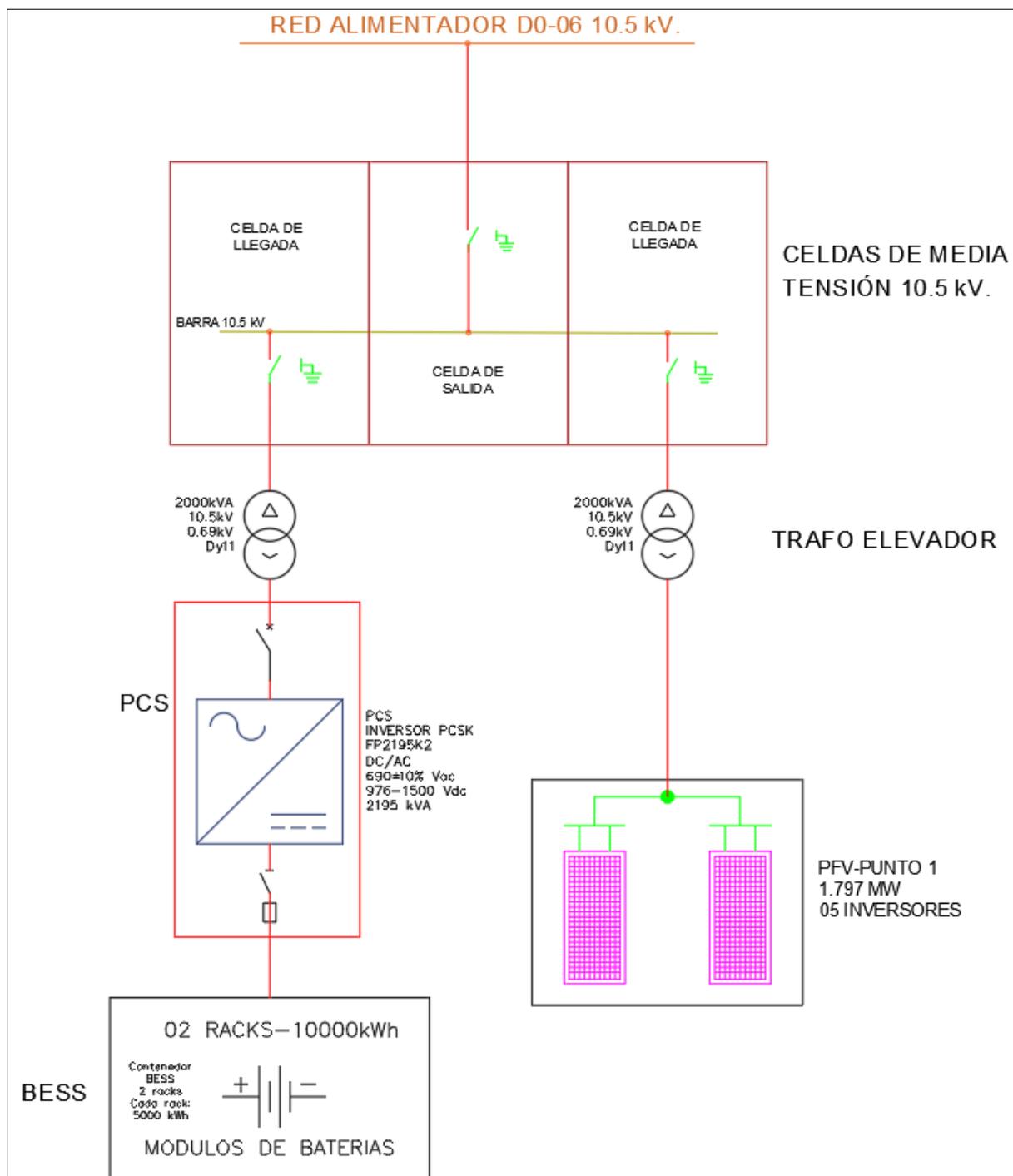
4.3.9. Esquema final del generador distribuido conectado a la red.

El esquema final en los dos nodos planteados en el escenario 04, es como se muestra en las figuras 56 y 57 respectivamente:

En el nodo 1:

Figura 56

Diagrama unifilar de la GDFV en el nodo 1

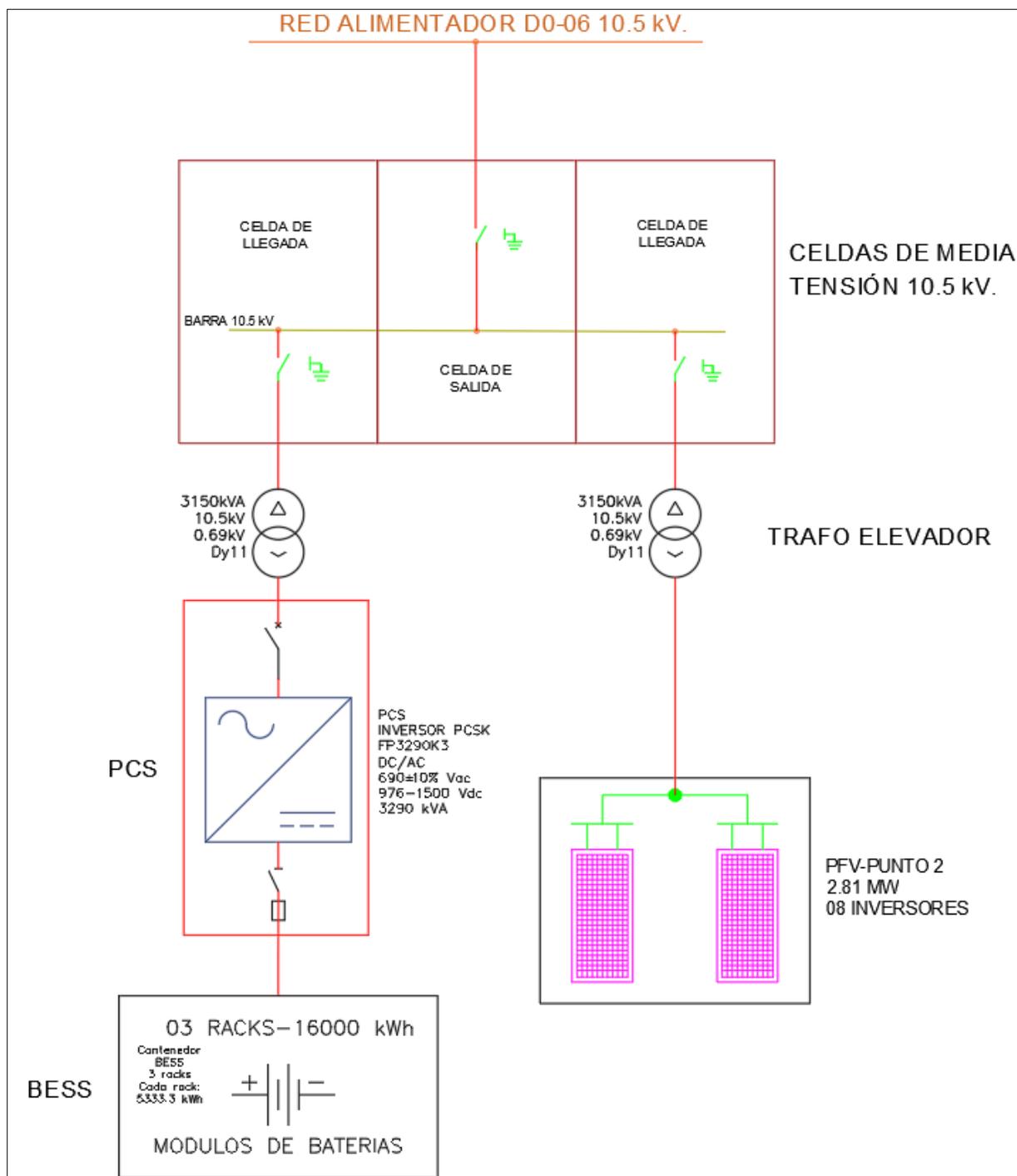


Fuente: Elaboración propia.

En el nodo 2:

Figura 57

Diagrama unifilar de la GDFV en el nodo 2



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Conclusiones del Capítulo IV

A partir del diagnóstico del alimentador DO-06 y utilizando el software DIgSILENT PowerFactory, se definieron y simularon siete escenarios para la integración de generación distribuida fotovoltaica (GDFV), con el objetivo de mejorar los perfiles de tensión y reducir las pérdidas técnicas del sistema. Los escenarios evaluaron diversas combinaciones de ubicación de la generación en tres nodos estratégicos del alimentador, tomando en cuenta criterios de demanda, condiciones críticas de tensión y proximidad a cargas relevantes.

Los resultados de las simulaciones mostraron mejoras en todos los escenarios que incluyen la presencia de GDFV. Sin embargo, el escenario 04, que contempla la instalación de GDFV en los nodos 1 y 2, ubicados al inicio y a la mitad del alimentador fue la configuración más óptima. Este escenario alcanzó un nivel de penetración del 77%, logró reducir las pérdidas técnicas a solo 21.10 kW y mejoró de forma uniforme los perfiles de tensión a lo largo del alimentador. Aunque el escenario 07, que considera generación en los tres nodos, también presentó mejoras significativas, su desempeño fue ligeramente inferior en términos de mejora del perfil de tensión y reducción de pérdidas. Por ello, se considera menos eficiente en comparación con el escenario 04.

Además, se llevó a cabo un análisis del recurso solar disponible utilizando datos del software PVGIS 5.3, herramienta validada a nivel internacional. El lugar del proyecto presenta una irradiación anual global (GHI) de 2 094.8 kWh/m², con un ángulo de inclinación óptimo de 15° y una orientación norte con azimut de -179°, condiciones que favorecen un aprovechamiento eficiente de la radiación solar disponible.

Posteriormente, se desarrolló el diseño preliminar del sistema fotovoltaico para dicho escenario óptimo, dimensionando la energía requerida para cubrir la demanda durante el periodo de máxima carga del alimentador (5 horas diarias). Se calcularon los requerimientos energéticos anuales de energía en ambas ubicaciones de inyección de GDFV, los cuales de 3.01 GWh y 4.71 GWh respectivamente en los nodos 1 y 2.

5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LA INCLUSIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA RED DEL ALIMENTADOR DO-06

5.1. Introducción

En el presente capítulo se desarrolla el análisis comparativo entre la condición operativa actual del alimentador DO-06 y el escenario con la incorporación de generación distribuida fotovoltaica (GDFV), específicamente en los nodos 1 y 2, seleccionados estratégicamente según los criterios técnicos previamente definidos. El objetivo principal es evaluar el grado de mejora en el perfil de tensión y la reducción de pérdidas técnicas del sistema, a partir de los resultados obtenidos mediante simulaciones de flujo de potencia realizadas en el software DIgSILENT PowerFactory.

En una primera sección, se presentan y analizan los resultados correspondientes al escenario base, sin GDFV, y al escenario optimizado (escenario 04), con énfasis en los niveles de tensión y las pérdidas en las líneas. En una segunda sección, se evalúa el impacto de la integración de la GDFV en términos de cumplimiento de los estándares establecidos por la normativa vigente, así como los beneficios operativos y recomendaciones para una posible implementación futura.

5.2. Análisis e interpretación de resultados.

Para el análisis definimos los criterios de evaluación de acuerdo a la NTCSE para el nivel de tensión de 10.5 kV, comparando estos niveles con respecto al escenario base, así con la cuantificación e identificación del escenario en donde se dé la mayor reducción de pérdidas.

5.2.1. Criterios de evaluación de la calidad de tensión.

Para analizar los efectos de la GDFV, nos basamos en la NTCSE, que nos establece la tolerancia admitida sobre la tensión nominal de hasta el $\pm 5\%$.

La NTCSE considera que la energía eléctrica es de mala calidad si la tensión que obtenemos se encuentra fuera del rango establecido. Por lo tanto, para nuestro alimentador con una tensión nominal de 10.5 kV consideraremos los siguientes límites de tolerancia de acuerdo la tabla 38.

Tabla 38

Límite de tolerancia de tensión del alimentador DO-06 según la NTCSE

TOLERANCIA DE TENSIÓN PARA 10500 V		
V_{nominal} (V)	TOLERANCIA (%)	TENSIÓN (V)
10 500.00	+5%	V _{máx} =11 025.00
	-5%	V _{mín} =9 975.00

Fuente: Elaboración propia según la NTCSE.

5.2.2. Evaluación de la calidad de tensión en escenario base.

Se evaluó la calidad de tensión con la que el alimentador DO-06 se encuentra operando.

5.2.2.1. Caída de Tensión en el Alimentador sin generación distribuida fotovoltaica. En el alimentador se tiene que el 35% de los transformadores exceden el 5% de caída de tensión permitido por la NTCSE en el escenario de máxima demanda, lo cual indica que el alimentador tiene problemas de tensión en horas de consumo máximo; estas tensiones se encuentran entre 9,88 kV (mínimo) y 10.18 kV (Máximo).

Tabla 39

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del alimentador DO-06 sin GDFV

Caída de Tensión	Potencia Punta sin GDFV	
(%)	SED's	Porcentaje
0-3	0	0%
3-5	51	65%
>5	27	35%
TOTAL	78	100%

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Evaluación de la calidad de tensión en el escenario 04.

5.2.3.1. *Caída de Tensión en el Alimentador con generación distribuida fotovoltaica.* Con la inyección de generación distribuida fotovoltaica, se logra una mejora significativa, donde el 100% de las subestaciones presentan una caída de tensión inferior al 3%. Esto garantiza el cumplimiento de la Norma Técnica de Caída de Tensión, que establece un límite máximo del 5% tal como se puede visualizar en la tabla 40.

Tabla 40

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 con GDFV

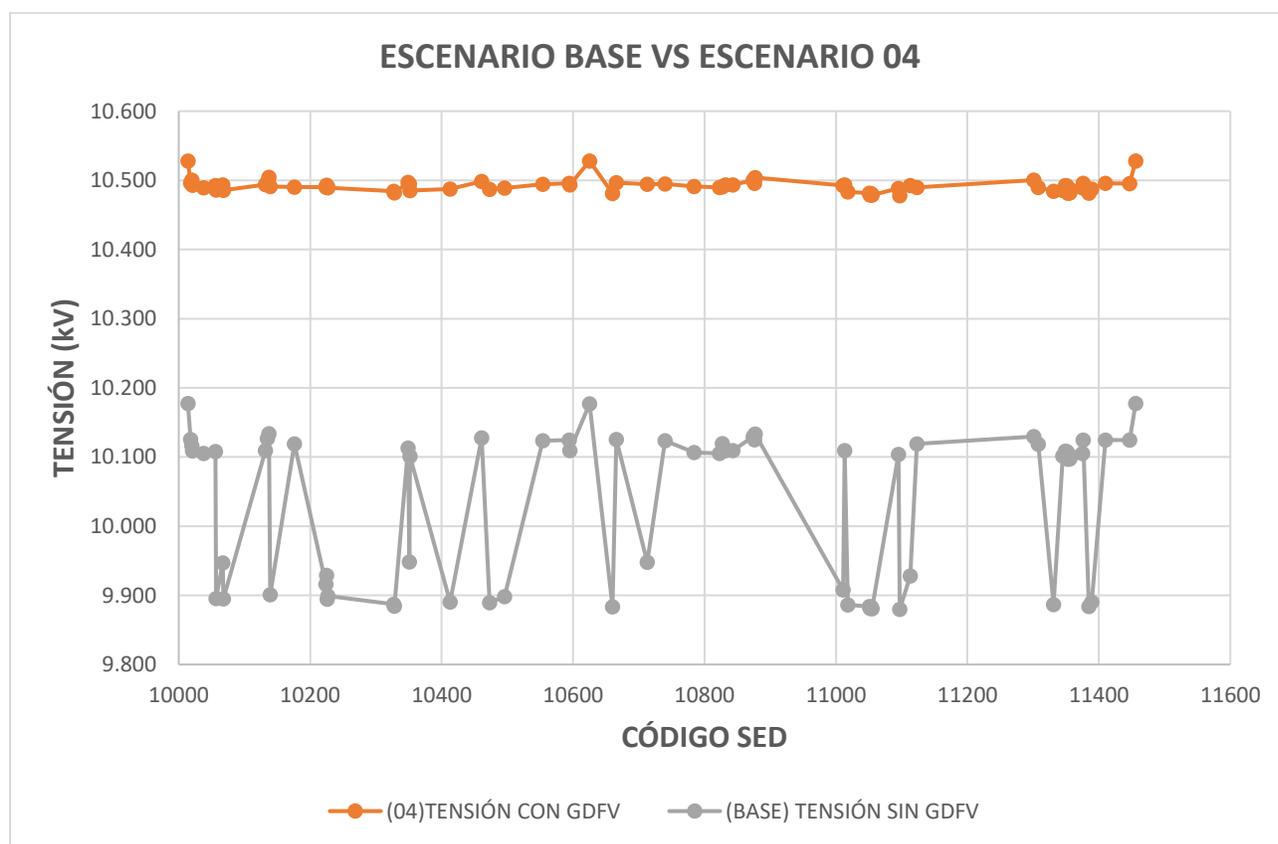
Caída de Tensión (%)	Potencia Punta con GDFV	
	SED's	Porcentaje
0-3	78	100%
3-5	0	0%
>5	0	0%
TOTAL	78	100%

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2. Comparación de la calidad de Tensión: Con y sin GDFV. Sin la incorporación de GDFV, los valores de tensión del alimentador fluctuaban entre 9.88 kV (mínimo) y 10.18 kV (máximo). Con su incorporación, se logró una mejora en la tensión, alcanzando valores entre 10.48 kV (mínimo) y 10.53 kV (máximo), como se muestra en la figura 58. Esto demuestra que un adecuado estudio del nivel de penetración de un GDFV, junto con la correcta ubicación de los dos generadores propuestos, permite mejorar la calidad de tensión del alimentador “DO-06”.

Figura 58

Tensión por subestación del Alimentador DO-06 sin GDFV vs con GDFV



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 sin GDFV y con GDFV.

CÓDIGO SED	Potencia Nominal (kVA)	TENSIÓN SIN GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN	TENSIÓN CON GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN
		kV	P.U.	%	kV	P.U.	%
11456	160	10.177	0.969	3.074	10.528	1.003	0.266
11447	125	10.125	0.964	3.576	10.495	1.000	0.043
11410	400	10.125	0.964	3.574	10.496	1.000	0.042
11389	160	9.890	0.942	5.806	10.488	0.999	0.118
11385	400	9.884	0.941	5.866	10.482	0.998	0.175
11376	500	10.125	0.964	3.574	10.496	1.000	0.042
11375	250	10.105	0.962	3.760	10.490	0.999	0.100
11357	400	10.101	0.962	3.796	10.486	0.999	0.134
11356	160	10.098	0.962	3.833	10.482	0.998	0.170
11355	160	10.098	0.962	3.831	10.482	0.998	0.169
11354	320	10.098	0.962	3.829	10.482	0.998	0.167
11353	300	10.097	0.962	3.838	10.482	0.998	0.175
11352	300	10.107	0.963	3.747	10.491	0.999	0.087
11351	200	10.108	0.963	3.735	10.492	0.999	0.075
11350	250	10.108	0.963	3.734	10.492	0.999	0.075
11349	250	10.109	0.963	3.728	10.493	0.999	0.069
11348	300	10.102	0.962	3.789	10.487	0.999	0.128
11347	200	10.101	0.962	3.797	10.486	0.999	0.135
11346	300	10.101	0.962	3.796	10.486	0.999	0.134
11345	500	10.101	0.962	3.797	10.486	0.999	0.135
11331	125	9.887	0.942	5.839	10.484	0.999	0.149
11308	400	10.119	0.964	3.631	10.490	0.999	0.096
11301	400	10.130	0.965	3.528	10.500	1.000	0.003
11123	250	10.119	0.964	3.629	10.490	0.999	0.095
11113	460	9.928	0.946	5.447	10.492	0.999	0.072
11097	640	9.880	0.941	5.905	10.478	0.998	0.211
11095	160	10.104	0.962	3.773	10.488	0.999	0.112
11055	1000	9.881	0.941	5.897	10.479	0.998	0.204
11054	630	9.883	0.941	5.875	10.481	0.998	0.183
11052	1250	9.881	0.941	5.894	10.479	0.998	0.202
11051	1600	9.884	0.941	5.868	10.481	0.998	0.177
11018	160	9.886	0.942	5.847	10.484	0.998	0.156
11013	550	10.109	0.963	3.719	10.494	0.999	0.060
11011	50	9.908	0.944	5.640	10.492	0.999	0.071
10877	150	10.133	0.965	3.491	10.504	1.000	0.039
10876	75	10.125	0.964	3.571	10.496	1.000	0.038

Tabla 41

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 sin GDFV y con GDFV.

CÓDIGO SED	Potencia Nominal (kVA)	TENSIÓN SIN GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN	TENSIÓN CON GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN
		kV	P.U.	%	kV	P.U.	%
10875	100	10.128	0.965	3.542	10.499	1.000	0.010
10874	100	10.130	0.965	3.528	10.500	1.000	0.003
10843	300	10.110	0.963	3.719	10.494	0.999	0.060
10832	250	10.109	0.963	3.720	10.494	0.999	0.061
10827	100	10.120	0.964	3.622	10.491	0.999	0.088
10823	640	10.105	0.962	3.759	10.490	0.999	0.099
10784	160	10.107	0.963	3.746	10.491	0.999	0.086
10740	160	10.124	0.964	3.583	10.495	1.000	0.050
10713	250	9.948	0.947	5.258	10.494	0.999	0.053
10666	100	10.126	0.964	3.566	10.496	1.000	0.033
10660	50	9.884	0.941	5.871	10.481	0.998	0.180
10625	160	10.177	0.969	3.074	10.528	1.003	0.266
10595	50	10.109	0.963	3.720	10.494	0.999	0.061
10594	160	10.125	0.964	3.575	10.496	1.000	0.042
10554	250	10.124	0.964	3.585	10.495	0.999	0.052
10496	50	9.898	0.943	5.730	10.489	0.999	0.107
10473	50	9.890	0.942	5.812	10.487	0.999	0.124
10461	320	10.128	0.965	3.546	10.498	1.000	0.014
10413	100	9.890	0.942	5.806	10.488	0.999	0.117
10352	160	10.101	0.962	3.801	10.485	0.999	0.139
10351	100	9.949	0.947	5.252	10.495	1.000	0.047
10349	1200	10.113	0.963	3.684	10.497	1.000	0.026
10328	150	9.884	0.941	5.864	10.482	0.998	0.173
10327	160	9.887	0.942	5.838	10.484	0.999	0.148
10227	50	9.899	0.943	5.724	10.489	0.999	0.101
10226	100	9.895	0.942	5.766	10.492	0.999	0.080
10225	160	9.929	0.946	5.440	10.493	0.999	0.065
10224	160	9.916	0.944	5.560	10.490	0.999	0.095
10176	250	10.119	0.964	3.628	10.490	0.999	0.093
10139	100	9.901	0.943	5.706	10.491	0.999	0.084
10137	400	10.134	0.965	3.488	10.504	1.000	0.042
10135	250	10.127	0.964	3.553	10.498	1.000	0.021
10132	320	10.110	0.963	3.719	10.494	0.999	0.060
10068	100	9.895	0.942	5.761	10.486	0.999	0.136
10067	50	9.947	0.947	5.268	10.493	0.999	0.062
10057	100	9.896	0.942	5.757	10.486	0.999	0.132

Tabla 41

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones del Alimentador DO-06 sin GDFV y con GDFV.

CÓDIGO SED	Potencia Nominal (kVA)	TENSIÓN SIN GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN %	TENSIÓN CON GDFV		CAÍDA DE TENSIÓN %
		kV	P.U.		kV	P.U.	
10056	75	10.108	0.963	3.732	10.492	0.999	0.072
10038	160	10.105	0.962	3.762	10.489	0.999	0.101
10021	550	10.109	0.963	3.724	10.493	0.999	0.064
10020	200	10.116	0.963	3.654	10.500	1.000	0.003
10018	250	10.125	0.964	3.568	10.496	1.000	0.035
10014	400	10.177	0.969	3.074	10.528	1.003	0.266

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 42 se observa que, sin la incorporación de la GDFV, el 35% de las subestaciones superó el 5% de caída de tensión. Por el contrario, al integrar la GDFV en los nodos denominados “nodo 1” y “nodo 2”, el 100% de las subestaciones registró una caída de tensión inferior al 3%. Esto evidencia una mejora significativa, no solo reduciendo la caída de tensión, sino también garantizando que se mantenga por debajo del 5% permitido por la NTCSE.

Tabla 42

Caída de tensión en el lado primario de las subestaciones sin GDFV y con GDFV.

Caída de Tensión (%)	Potencia Punta sin GDFV		Potencia Punta con GDFV	
	SED's	Porcentaje	SED's	Porcentaje
0-3	0	0%	78	100%
3-5	51	65%	0	0%
>5	27	35%	0	0%
TOTAL	78	100%	78	100%

Fuente: Elaboración propia

5.3. Análisis del impacto de la generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06

5.3.1. Análisis de la mejora de caída de tensión

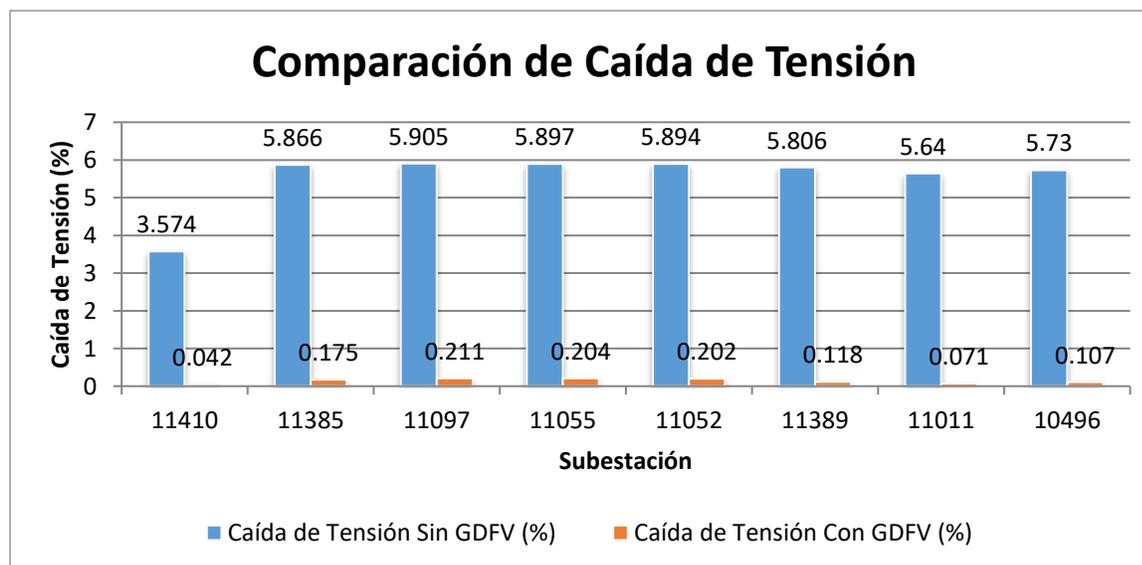
Con base en los resultados obtenidos, se puede observar una mejora sustancial en los niveles de tensión a lo largo del alimentador DO-06, posterior a la integración de generación distribuida fotovoltaica (GDFV). Esta mejora se evidencia al comparar los valores de caída de tensión antes y después de la inserción de GDFV, expresados en porcentaje (%), donde se parte de un rango inicial de 3.0 % a 5.9 %, reduciéndose hasta niveles mínimos de 0.003 % a 0.26 %, todos dentro del límite permitido por la NTCSE (0-5 %).

Los casos más representativos son:

- SED 11389: Reducción de caída de tensión del 5.806 % a 0.118 %
- SED 11385: De 5.866 % a 0.175 %
- SED 11097: De 5.905 % a 0.211 %
- SED 11055: De 5.897 % a 0.204 %
- SED 11052: De 5.894 % a 0.202 %
- SED 11011: De 5.640 % a 0.071 %
- SED 10496: De 5.730 % a 0.107 %

Figura 59

Caída de tensión sin GDFV vs con GDFV



Fuente: Elaboración propia.

Estas mejoras indican una corrección efectiva de los perfiles de tensión más críticos, que se encontraban próximos o incluso ligeramente por encima del umbral normativo.

Por otro lado, en las subestaciones que inicialmente ya cumplían con los estándares (por ejemplo, SED 10875 con una caída de 3.54 %), la inyección de GDFV no provocó sobrecompensaciones ni aumentos perjudiciales de tensión, sino que permitió una estabilización más cercana al nivel nominal de 10.5 kV, con caídas finales menores al 0.05 %, como se aprecia en los casos de:

- SED 10875: Reducción de 3.54 % a 0.01 %.
- SED 10020: De 3.65 % a 0.003 %.
- SED 10014: De 3.07 % a 0.26 %.

Esto demuestra que la GDFV no solo mejora los nodos más críticos, sino que también contribuye a la homogeneización de los perfiles de tensión, manteniéndose dentro de límites seguros y técnicamente aceptables tan como se aprecia en la figura 58.

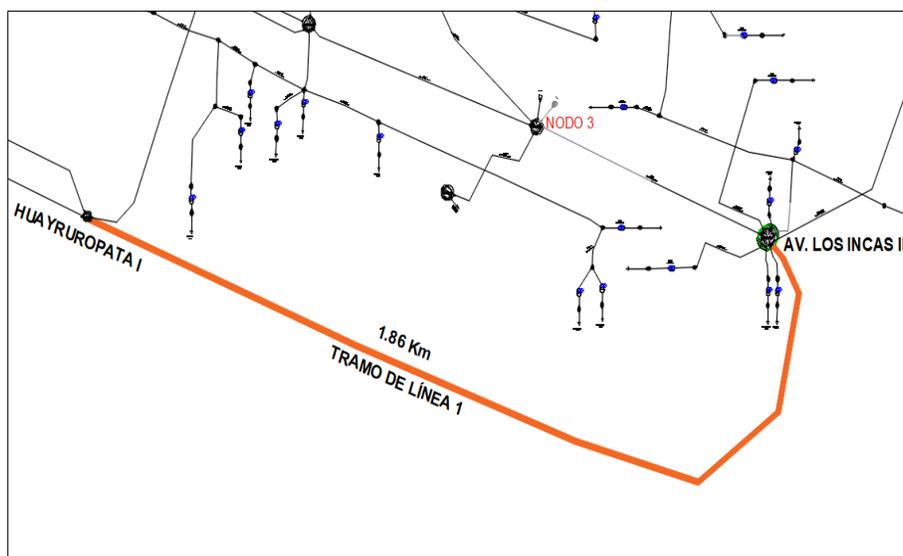
5.3.2. Pérdidas en los tramos de línea del alimentador

En el anexo G se observa que algunos tramos de líneas tienen pérdidas considerables las cuales presentan reducciones drásticas con la incorporación de GDFV, entre las que tenemos:

- Tramo de línea 1: De 39.1132 kW a 0.548 kW.

Figura 60

Tramo de línea 1

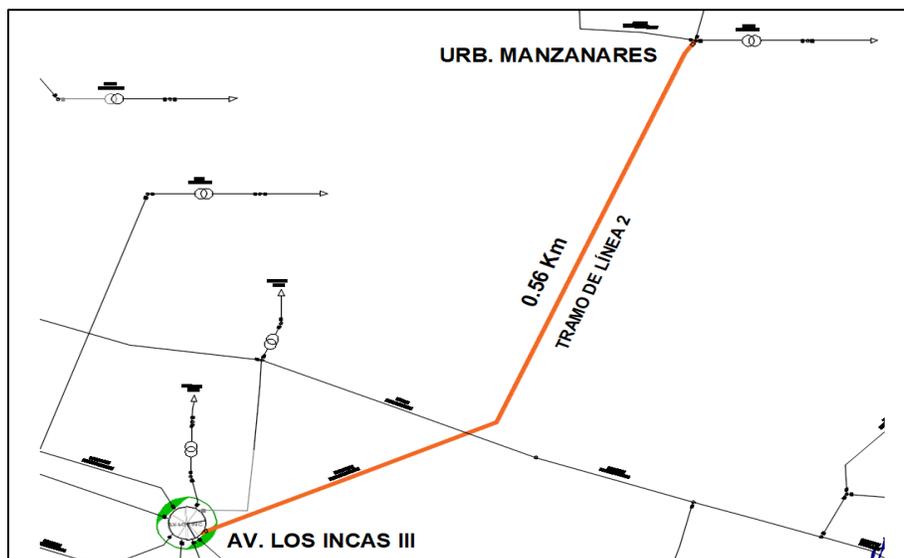


Fuente: Elaboración propia.

- Tramo de línea 2: De 11.78264 kW a 0.165 kW.

Figura 61

Tramo de línea 2

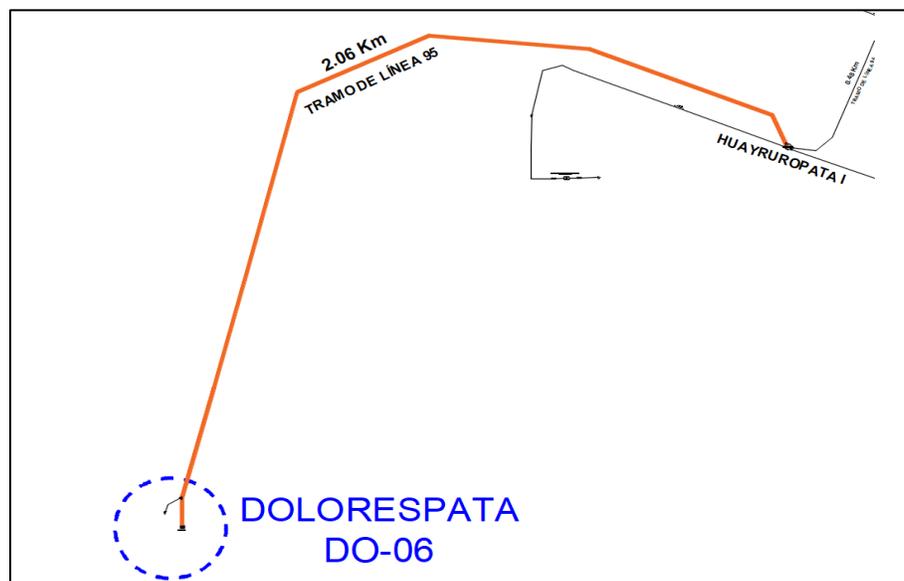


Fuente: Elaboración propia.

- Tramo de línea 95: De 190.015 kW a 14.218 kW.

Figura 62

Tramo de línea 95

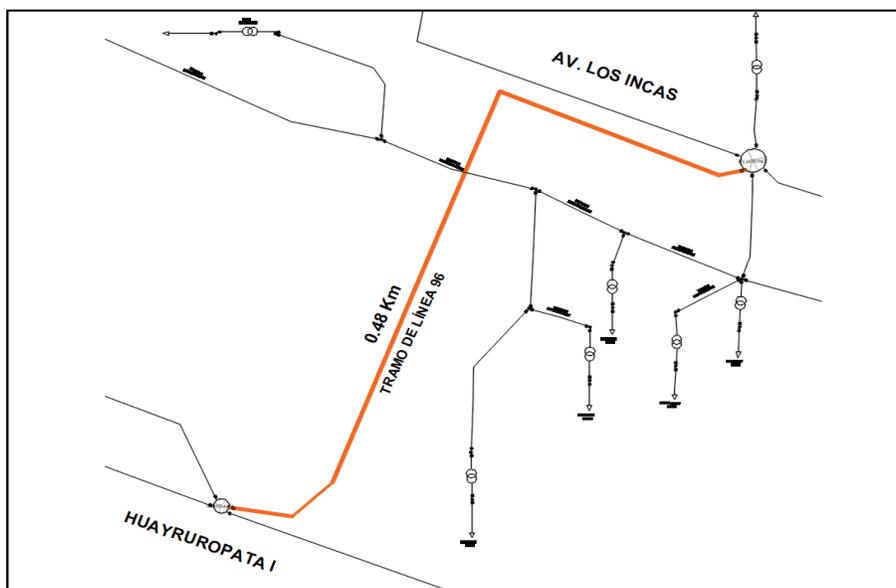


Fuente: Elaboración propia.

- Tramo de línea 96: De 8.702 kW a 1.563 kW

Figura 63

Tramo de línea 96



Fuente: Elaboración propia.

Las líneas con mayores reducciones están próximas a los nodos 1 y 2 donde se conectaron los dos sistemas GDFV, lo que evidencia un impacto positivo de la GDFV en la red de distribución, con una reducción significativa de pérdidas técnicas.

$$\begin{aligned}
 \text{Reducción de pérdidas} &= \text{sin GDFV (kW)} - \text{con GDFV (kW)} \\
 &= 266.573 \text{ kW} - 21.095 \text{ kW} \\
 &= \mathbf{245.477 \text{ kW}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Reducción porcentual} = \mathbf{92.086 \%}$$

Tabla 43

Análisis comparativo de la calidad tensión y pérdidas del Alimentador DO-06.

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN DEL GDFV	POTENCIA DEL GDFV (kW)	POTENCIA TOTAL (kW)	%NivelGD (%)	TENSIÓN (kV)			PÉRDIDAS EN LÍNEAS (kW)
					(V1)	(V2)	(V3)	
BASE	SIN GDFV	0	0	0	10.048	9.782	9.769	266.57
04	CON 2 GDFV	G1-1650 G2-2580	4230.00	77	10.500	10.493	10.482	21.096

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Nivel de Penetración

En la figura 64 podemos observar el nivel de penetración (%NivelGD) que nos indica la proporción de generación distribuida fotovoltaica (GDFV) respecto a la demanda total del alimentador DO-06.

$$\%Nivel\ GDFV = \frac{4\ 230.00}{5\ 500.00} \times 100\%$$

$$\%Nivel\ GDFV = 77\ \%$$

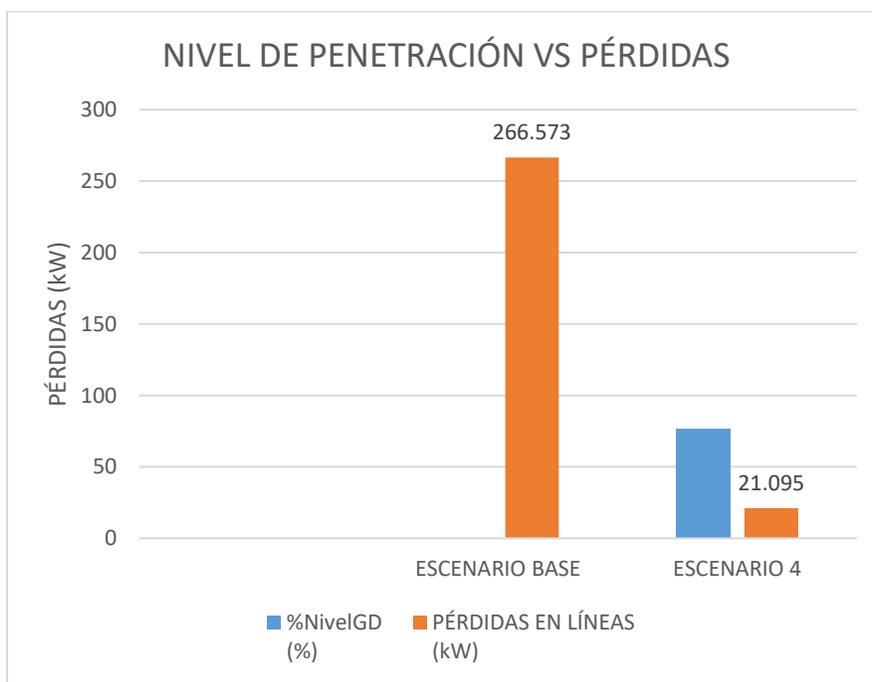
Donde:

P_{GD} : Potencia producida por la generación distribuida.

P_{Carga} : Potencia total de la carga.

Figura 64

Nivel de penetración vs pérdidas.



Fuente: Elaboración propia.

Con el nivel de penetración obtenido de 77%, considerado un nivel alto de acuerdo a la Tabla 6.

5.3.4. Dispersión

La relación del número de nodos 1 y 2 con generación distribuida fotovoltaica y el número de nodos, en los cuales existe consumo que son 78.

$$\% \text{Dispersión GDFV} = \frac{2}{78} \times 100\%$$

$$\% \text{Dispersión GDFV} = 2.564 \%$$

Donde:

#BusGD: Numero de nodos con GD.

#BusLoad: Número total de nodos.

Con el nivel de dispersión obtenido de 2.564 %, considerado un nivel muy bajo de acuerdo a la Tabla 7.

5.4. Recomendaciones técnicas para la implementación óptima de generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06

Teniendo como base nuestros resultados obtenidos mediante la simulación de los 07 escenarios de integración de generación distribuida fotovoltaica en el alimentador DO-06 de la Subestación Dolorespata, proponemos las siguientes recomendaciones técnicas a fin de garantizar una implementación eficiente y segura, que permita mejorar la calidad de tensión eléctrica del sistema de distribución.

a) Ubicación estratégica de los sistemas fotovoltaicos. La ubicación de las plantas fotovoltaicas tiene un gran impacto en el nivel de penetración de la energía fotovoltaica.

Los análisis realizados demostraron que la instalación de sistemas de generación distribuida al inicio (nodo 1) y al medio (nodo 2) del alimentador DO-06 tiene un impacto positivo significativo en la mejora del perfil de tensión.

b) Dimensionamiento adecuado de la generación. Para evitar problemas de sobretensión y garantizar un aporte eficiente de energía, se sugiere dimensionar los sistemas fotovoltaicos considerando la ubicación cerca de la máxima demanda y la cantidad de energía que se va inyectar.

c) Implementación de estrategias de control Volt/Var. De acuerdo a lo establecido por la norma IEEE 1547-2018, el cual nos establece que los generadores distribuidos deben tener la capacidad para regular su potencia reactiva como función de la tensión (control Volt/Var), lo cual permite soportar la red eléctrica local y mejorar el perfil de tensión, especialmente en alimentadores con alta penetración fotovoltaica que es el caso de nuestro alimentador DO-06 con un nivel de penetración del 76.91 %. Por lo que planteamos el uso de inversores configurados con estrategias de control Volt/VAr.

d) Estabilidad del sistema y coordinación de protecciones. Para la integración efectiva del generador distribuido fotovoltaico, se recomienda realizar estudios complementarios orientados a garantizar la estabilidad y seguridad operativa de la red. En primer lugar, es fundamental desarrollar un análisis de estabilidad transitoria y dinámica, que permita evaluar el comportamiento del sistema ante perturbaciones como fallas eléctricas, desconexiones súbitas o fluctuaciones de carga. Dicho estudio debe considerar la capacidad de los inversores y del sistema de almacenamiento para aportar soporte a la red, evitando desconexiones intempestivas y contribuyendo a mantener la continuidad operativa del sistema eléctrico ante perturbaciones. Adicionalmente, se debe efectuar un estudio de coordinación de protecciones, el cual permita ajustar adecuadamente los dispositivos de protección existentes. En conjunto, estos estudios son esenciales para garantizar una integración segura, eficiente y confiable de sistemas fotovoltaicos en el alimentador.

e) Cumplimiento normativo. En vista de que solo se tiene una prepublicación “Proyecto de Decreto Supremo que aprueba el reglamento de Generación Distribuida”, el cual tiene como objetivo regular la actividad de generación distribuida; por lo que nuestro proyecto de tesis podría sugerir ciertos lineamientos para la incorporación de la generación distribuida al sistema.

f) Supervisión y monitoreo en tiempo real. Para garantizar un funcionamiento adecuado y detectar anomalías a tiempo, se recomienda implementar sistemas de monitoreo remoto y en tiempo real. Estos sistemas permiten supervisar variables como potencia inyectada, tensión, corriente y factor de potencia. Asimismo, facilitan la toma de decisiones operativas y el mantenimiento preventivo.

5.5. Beneficios de la integración de generación distribuida fotovoltaica

La generación distribuida fotovoltaica (GDFV) inyectada al alimentador durante el horario de máxima demanda nos ofrece múltiples beneficios tanto técnicos como económicos y ambientales. A continuación, se detallan los principales:

5.5.1. Beneficios técnicos

a) *Mejora de la Regulación de Voltaje.* La generación local puede contribuir a estabilizar el voltaje en la red, reduciendo fluctuaciones y mejorando la calidad del servicio eléctrico.

b) *Reducción de Pérdidas en la Red.* Al generar energía cerca del consumo, se disminuyen las pérdidas en la distribución y mejora la eficiencia del sistema eléctrico.

c) *Alivio de la Carga del Alimentador.* La inyección de energía solar reduce la demanda sobre el alimentador de 10.5 kV, evitando sobrecargas y mejorando su capacidad operativa.

d) *Aplazamiento de Inversiones en Infraestructura.* Menor demanda en las subestaciones y líneas de distribución puede retrasar la necesidad de inversiones en ampliaciones y refuerzos de la red.

5.5.2. Beneficios económicos

a) *Reducción del Costo de la Energía en Horas Punta.* La energía solar generada inyectada en horario de máxima demanda puede reducir la compra de energía a tarifas elevadas en el mercado mayorista.

b) *Disminución de la Dependencia de Combustibles Fósiles.* Reduce la necesidad de generación con combustibles fósiles, lo que mitiga la volatilidad de los precios energéticos.

5.5.3. Beneficios ambientales

a) *Reducción de emisiones de CO₂*. La generación fotovoltaica no emite gases de efecto invernadero (GEIs) ni otros contaminantes durante su operación por lo que, al sustituir con energía solar, se disminuyen emisiones de gases de efecto invernadero.

Cada fuente de energía tiene diferentes factores de emisión. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) tenemos:

Tabla 44

Emisión de CO₂ por tipo de generación

Tipo de Generación	Emisión de CO ₂ (kg/MWh)
Carbón	900
Diésel	700
Gas Natural	400
Hidroeléctrica	10
Energía Solar	0

Fuente: Agencia Internacional de Energía

Calculando la emisión de CO₂ evitado, el cual obtendremos de la multiplicación de la energía generada por los factores de cada fuente:

Un factor de capacidad típico en Cusco para energía solar fotovoltaica está entre **18%** y **22%**, por lo que tomaremos un factor promedio de **20 %**.

El año tiene 8,760 horas.

$$E = 4\,230 \times 0.20 \times 8\,760$$

$$E = 7\,408\,560 \text{ kWh/año} = 7\,408.56 \text{ MWh/año}$$

Si se reemplaza el carbón:

$$7\,408.56 \times 900 = 6\,667\,704 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 6\,668 \text{ toneladas CO}_2/\text{año}$$

Si se reemplaza diésel:

$$7\,408.56 \times 700 = 5\,185\,992 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 5\,186 \text{ toneladas CO}_2/\text{año}$$

Si se reemplaza gas natural:

$$7\,408.56 \times 400 = 2\,963\,424 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 2\,963 \text{ toneladas CO}_2/\text{año}$$

Si se reemplaza hidroeléctrica:

$$7\,408.56 \times 10 = 74\,085.6 \text{ kg CO}_2/\text{año} = 74.1 \text{ toneladas CO}_2/\text{año}$$

Al usar generación fotovoltaica en Cusco, evitas la emisión anual de:

- 6 668 toneladas de CO₂ si reemplaza carbón.
- 5 186 toneladas de CO₂ si reemplaza diésel.
- 2 963 toneladas de CO₂ si reemplaza gas natural.
- 74 toneladas de CO₂ si reemplaza hidroeléctrica.

5.6. Conclusiones del Capítulo V

Del análisis comparativo de los resultados obtenidos tras la incorporación de la generación distribuida fotovoltaica (GDFV), en los nodos 1 y 2 (escenario 04) demuestra una mejora sustancial en el desempeño técnico del alimentador DO-06 en condiciones de máxima demanda. Se evidenció una significativa reducción en las caídas de tensión, con valores que pasaron de un rango de 3.0 % - 5.9 % a un intervalo entre 0.003 % y 0.26 %. Entre las subestaciones más relevantes tenemos las siguientes reducciones en la caída de tensión:

- SED 11389: De 5.806 % a 0.118 %
- SED 11385: De 5.866 % a 0.175 %
- SED 11097: De 5.905 % a 0.211 %
- SED 11055: De 5.897 % a 0.204 %
- SED 11052: De 5.894 % a 0.202 %
- SED 11011: De 5.640 % a 0.071 %
- SED 10496: De 5.730 % a 0.107 %

Todos dentro del margen establecido por la NTCSE, además las pérdidas de energía en las líneas se redujeron en un 92.09 %, pasando de 266.57 kW a 21.096 kW. Estos resultados destacan la relevancia de un diseño óptimo y una ubicación estratégica de los GDFV para mejorar la calidad del servicio eléctrico y la eficiencia de la red de distribución.

CONCLUSIONES

1. Con base en la información proporcionada por la concesionaria Electro Sur Este S.A.A. y mediante el uso del software DIgSILENT PowerFactory, se llevó a cabo un diagnóstico detallado del estado operativo del alimentador DO-06. Permitiendo identificar condiciones críticas en la calidad del producto en tensión, especialmente en los nodos 1, 2 y 3, ubicados en zonas de alta demanda como EsSalud, UNSAAC y Real Plaza. En estos nodos, las caídas de tensión alcanzaron hasta un 5.9 %, superando el límite máximo permitido del 5 % según la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE). Adicionalmente, se determinaron pérdidas técnicas significativas en las líneas, cuantificadas en 266.57 kW, lo cual evidencia una operación ineficiente del sistema.

2. A partir de los resultados del diagnóstico del alimentador DO-06 y utilizando el software DIgSILENT PowerFactory, se identificaron y evaluaron estratégicamente siete escenarios para la inserción de generación distribuida fotovoltaica (GDFV). Las ubicaciones propuestas en los nodos 1, 2 y 3 fueron seleccionadas considerando su cercanía a zonas de alta demanda y las condiciones críticas de tensión detectadas. Cada escenario fue simulado para analizar su impacto en los perfiles de tensión y las pérdidas técnicas del sistema. Los resultados evidenciaron mejoras en todos los escenarios; sin embargo, el escenario 04, con GDFV ubicados en los nodos 1 y 2 presentó el desempeño más favorable. Este permitió una reducción significativa en las caídas de tensión y una disminución notable de las pérdidas técnicas, lo que demuestra la efectividad de una correcta selección y ubicación de los nodos de inyección.

3. La comparación entre el estado actual de operatividad del alimentador DO-06 en condiciones de máxima demanda y el escenario 04, que incorpora dos Generadores Distribuidos Fotovoltaicos (GDFV) ubicados estratégicamente en los nodos 1 y 2 permitió evaluar el cumplimiento de los estándares de tensión y la reducción de pérdidas técnicas en el sistema. Los resultados muestran una mejora sustancial en los perfiles de tensión a lo largo del alimentador, con reducciones significativas en las subestaciones más críticas:

- SED 11389: de 5.806 % a 0.118 %
- SED 11385: de 5.866 % a 0.175 %
- SED 11097: de 5.905 % a 0.211 %
- SED 11055: de 5.897 % a 0.204 %

- SED 11052: de 5.894 % a 0.202 %
- SED 11011: de 5.640 % a 0.071 %
- SED 10496: de 5.730 % a 0.107 %

Con esta intervención, el rango de caída de tensión se redujo de un intervalo inicial entre 3.0 % y 5.9 % a valores entre 0.003 % y 0.260 %, todos ellos dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE), que exige un rango entre 0 % y 5 %.

Además, se logró una disminución significativa de las pérdidas técnicas, pasando de 226.57 kW a 21.096 kW, lo que representa una reducción del 92.086 %. Estos resultados confirman que la inyección de GDFV adecuadamente dimensionados y ubicados estratégicamente permite cumplir con los estándares de calidad de tensión.

SUGERENCIAS

En función de los resultados obtenidos en el presente estudio y con el objetivo de continuar mejorando la calidad de tensión del alimentador DO-06, se proponen las siguientes recomendaciones para la incorporación de generación distribuida fotovoltaica (GDFV):

- Seleccionar ubicaciones estratégicas para la conexión de GDFV, priorizando zonas del alimentador donde se presentan caídas de tensión significativas o donde se concentran cargas importantes. Esto permitirá maximizar el impacto positivo sobre los valores de tensión.
- Optar por la conexión en MT, ya que esta ofrece ventajas técnicas como una mayor capacidad de inyección y una mejor distribución del voltaje a lo largo del alimentador, reduciendo las pérdidas eléctricas y evitando la sobrecarga de transformadores.
- Promover normativas técnicas relacionadas con la conexión de generación distribuida en media tensión, incorporando criterios específicos de calidad de producto.

Finalmente, se resalta que la inyección de generación distribuida fotovoltaica como estrategia para mejorar la calidad de tensión no debe limitarse a la simple instalación de paneles solares. Es fundamental planificar adecuadamente la ubicación, el nivel de potencia inyectada y la coordinación con la infraestructura existente, de modo que se garantice un impacto positivo sostenido sobre la operación del alimentador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

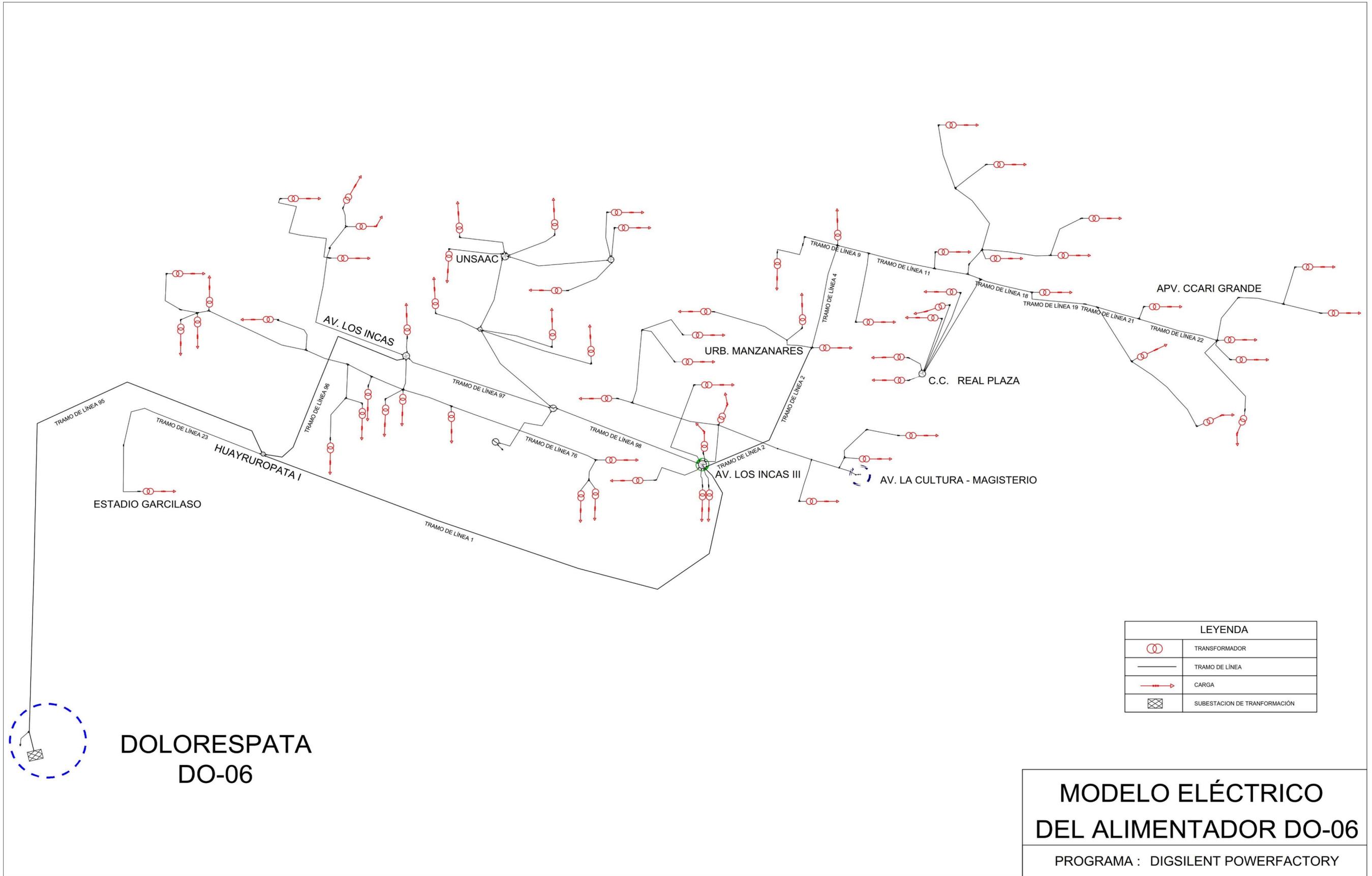
- González Longatt, F. (2008). Impacto de la Generación Distribuida en el Comportamiento de los Sistemas de Potencia. (*Tesis Doctoral*). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Stufflebeam, D., & Shinkfield, A. (1987). Evaluación Sistemática (guía teórica y práctica) Temas de educación. Barcelona: Editorial Paidós.
- Pérez Juste, Ramón; García Ramos, José Manuel. (1989). Diagnóstico, Evaluación y toma de decisiones. Serie: Tratado de educación personalizada. Ediciones Rialp, S.A., Madrid.
- Torres Pacheco, S., Lozano Luna, A. (2018). Eficiencia en paneles solares. Revista del Diseño Innovativo. México.
- LABEIN TECNALIA. (2007). Guía Básica de la Generación Distribuida. Madrid: Graficas Elisa. S.A.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. (2018). IEEE std 1547-2018. Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces. USA, New York, 3 Park Avenue.
- DTI, Department of Trade and Industry. (2005) “Microgeneration Strategy and Low Carbon buildings Programme Consultation”, Londres, Inglaterra.
- WIKIPEDIA. (2021). Energía Solar Fotovoltaica. Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica
- AUTOSOLAR. (2023). ¿Qué es el factor de potencia o cos phi? Obtenido de: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-el-factor-de-potencia-o-coseno-de-phi#:~:text=El%20coseno%20de%20phi%20se,ser%C3%A1n%20iguales%20en%20cargas%20lineales.>
- MINEM-DGE. (2002). NORMA DGE - TERMINOLOGÍA EN ELECTRICIDAD. Perú.
- Código Nacional de Electricidad-Utilización. (2006). Lima, Perú.
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. New York: McGrawHill.
- Dulău, L. I., Abrudean, M. y Bica, D. (2014). Effects of distributed generation on electric power systems. *Procedia Technology*, 12, 681-686.

- Norma EC.010 (2011). Redes de distribución de energía eléctrica. Subtítulo II.4. Obras de suministro de energía y comunicaciones. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366436/27%20EC.%20010%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA.pdf>
- IEEE Standards Coordinating Committee 21. (2019). IEEE Guide for Design, Operation, and Maintenance of Battery Energy Storage Systems, both Stationary and Mobile, and Applications Integrated with Electric Power Systems. IEEE SA Standards Board.
- Gusnanda, A., Sarjiya, Putranto, L. (2019). Effect of Distributed Photovoltaic Generation Installation on Voltage Profile: A Case Study of Rural Distribution System in Yogyakarta Indonesia. IEEE
- Gaudereto de Freitas, R., Flora, R., Ramos, D., Leal, S. (2020). Photovoltaic Distributed Use to Reduce Technical Losses in Areas with Overloaded Feeders. IEEE

RELACIÓN DE ANEXOS

ANEXO A:	Modelo eléctrico del alimentador DO-06
ANEXO B:	Tabla de Tensión de los Siete Escenarios Propuestos
ANEXO C:	Ficha Técnica de Panel Solar de 720 W. de Potencia.
ANEXO D:	Ficha Técnica de Inversor de 350 kW. de Potencia.
ANEXO E:	Ficha Técnica del Módulo de Almacenamiento de Energía.
ANEXO F:	Ficha Técnica del Sistema de Control de Potencia - PCS
ANEXO G:	Tabla de pérdidas en las líneas del alimentador DO-06
ANEXO H:	Flujograma de GDFV en alimentador DO-06 con el software DIgSILENT PowerFactory

ANEXO A
MODELO ELÉCTRICO DEL ALIMENTADOR DO-06 EN DIGSILENT
POWERFACTORY



**DOLORESPATA
DO-06**

**MODELO ELÉCTRICO
DEL ALIMENTADOR DO-06**
PROGRAMA : DIGSILENT POWERFACTORY

ANEXO B
TABLA DE TENSIÓN DE LOS SIETE ESCENARIOS PROPUESTOS

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO BASE	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.177	3.074
2	11447	125	10.125	3.576
3	11410	400	10.125	3.574
4	11389	160	9.890	5.806
5	11385	400	9.884	5.866
6	11376	500	10.125	3.574
7	11375	250	10.105	3.760
8	11357	400	10.101	3.796
9	11356	160	10.098	3.833
10	11355	160	10.098	3.831
11	11354	320	10.098	3.829
12	11353	300	10.097	3.838
13	11352	300	10.107	3.747
14	11351	200	10.108	3.735
15	11350	250	10.108	3.734
16	11349	250	10.109	3.728
17	11348	300	10.102	3.789
18	11347	200	10.101	3.797
19	11346	300	10.101	3.796
20	11345	500	10.101	3.797
21	11331	125	9.887	5.839
22	11308	400	10.119	3.631
23	11301	400	10.130	3.528
24	11123	250	10.119	3.629
25	11113	460	9.928	5.447
26	11097	640	9.880	5.905
27	11095	160	10.104	3.773
28	11055	1000	9.881	5.897
29	11054	630	9.883	5.875
30	11052	1250	9.881	5.894
31	11051	1600	9.884	5.868
32	11018	160	9.886	5.847
33	11013	550	10.109	3.719
34	11011	50	9.908	5.640
35	10877	150	10.133	3.491
36	10876	75	10.125	3.571
37	10875	100	10.128	3.542
38	10874	100	10.130	3.528
39	10843	300	10.110	3.719

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO BASE	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
40	10832	250	10.109	3.720
41	10827	100	10.120	3.622
42	10823	640	10.105	3.759
43	10784	160	10.107	3.746
44	10740	160	10.124	3.583
45	10713	250	9.948	5.258
46	10666	100	10.126	3.566
47	10660	50	9.884	5.871
48	10625	160	10.177	3.074
49	10595	50	10.109	3.720
50	10594	160	10.125	3.575
51	10554	250	10.124	3.585
52	10496	50	9.898	5.730
53	10473	50	9.890	5.812
54	10461	320	10.128	3.546
55	10413	100	9.890	5.806
56	10352	160	10.101	3.801
57	10351	100	9.949	5.252
58	10349	1200	10.113	3.684
59	10328	150	9.884	5.864
60	10327	160	9.887	5.838
61	10227	50	9.899	5.724
62	10226	100	9.895	5.766
63	10225	160	9.929	5.440
64	10224	160	9.916	5.560
65	10176	250	10.119	3.628
66	10139	100	9.901	5.706
67	10137	400	10.134	3.488
68	10135	250	10.127	3.553
69	10132	320	10.110	3.719
70	10068	100	9.895	5.761
71	10067	50	9.947	5.268
72	10057	100	9.896	5.757
73	10056	75	10.108	3.732
74	10038	160	10.105	3.762
75	10021	550	10.109	3.724
76	10020	200	10.116	3.654
77	10018	250	10.125	3.568
78	10014	400	10.177	3.074

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 01	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.485	0.144
2	11447	125	10.477	0.222
3	11410	400	10.477	0.221
4	11389	160	10.207	2.794
5	11385	400	10.201	2.852
6	11376	500	10.477	0.221
7	11375	250	10.488	0.117
8	11357	400	10.484	0.151
9	11356	160	10.480	0.187
10	11355	160	10.481	0.186
11	11354	320	10.481	0.184
12	11353	300	10.480	0.192
13	11352	300	10.489	0.103
14	11351	200	10.490	0.092
15	11350	250	10.490	0.091
16	11349	250	10.491	0.086
17	11348	300	10.485	0.145
18	11347	200	10.484	0.152
19	11346	300	10.484	0.151
20	11345	500	10.484	0.152
21	11331	125	10.203	2.826
22	11308	400	10.471	0.275
23	11301	400	10.481	0.176
24	11123	250	10.471	0.274
25	11113	460	10.243	2.445
26	11097	640	10.197	2.890
27	11095	160	10.486	0.129
28	11055	1000	10.197	2.882
29	11054	630	10.200	2.861
30	11052	1250	10.198	2.880
31	11051	1600	10.200	2.854
32	11018	160	10.202	2.833
33	11013	550	10.492	0.077
34	11011	50	10.224	2.633
35	10877	150	10.485	0.140
36	10876	75	10.477	0.217
37	10875	100	10.480	0.189
38	10874	100	10.482	0.176
39	10843	300	10.492	0.077
40	10832	250	10.492	0.078

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 01	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.472	0.267
42	10823	640	10.488	0.116
43	10784	160	10.489	0.103
44	10740	160	10.476	0.229
45	10713	250	10.263	2.262
46	10666	100	10.478	0.212
47	10660	50	10.200	2.857
48	10625	160	10.485	0.145
49	10595	50	10.492	0.078
50	10594	160	10.477	0.221
51	10554	250	10.476	0.231
52	10496	50	10.214	2.720
53	10473	50	10.206	2.800
54	10461	320	10.480	0.193
55	10413	100	10.207	2.793
56	10352	160	10.484	0.156
57	10351	100	10.263	2.256
58	10349	1200	10.496	0.042
59	10328	150	10.201	2.850
60	10327	160	10.203	2.825
61	10227	50	10.215	2.714
62	10226	100	10.211	2.755
63	10225	160	10.244	2.438
64	10224	160	10.232	2.555
65	10176	250	10.471	0.272
66	10139	100	10.217	2.697
67	10137	400	10.486	0.137
68	10135	250	10.479	0.200
69	10132	320	10.492	0.077
70	10068	100	10.211	2.750
71	10067	50	10.261	2.272
72	10057	100	10.212	2.746
73	10056	75	10.491	0.089
74	10038	160	10.488	0.118
75	10021	550	10.491	0.081
76	10020	200	10.499	0.014
77	10018	250	10.477	0.214
78	10014	400	10.485	0.144

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 02	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.463	0.356
2	11447	125	10.411	0.845
3	11410	400	10.411	0.844
4	11389	160	10.494	0.061
5	11385	400	10.488	0.117
6	11376	500	10.411	0.844
7	11375	250	10.392	1.025
8	11357	400	10.389	1.060
9	11356	160	10.385	1.096
10	11355	160	10.385	1.095
11	11354	320	10.385	1.093
12	11353	300	10.384	1.101
13	11352	300	10.394	1.012
14	11351	200	10.395	1.001
15	11350	250	10.395	1.000
16	11349	250	10.396	0.994
17	11348	300	10.389	1.054
18	11347	200	10.389	1.061
19	11346	300	10.389	1.060
20	11345	500	10.389	1.061
21	11331	125	10.490	0.092
22	11308	400	10.406	0.899
23	11301	400	10.416	0.799
24	11123	250	10.406	0.898
25	11113	460	10.489	0.108
26	11097	640	10.484	0.154
27	11095	160	10.391	1.038
28	11055	1000	10.485	0.146
29	11054	630	10.487	0.126
30	11052	1250	10.485	0.144
31	11051	1600	10.487	0.120
32	11018	160	10.490	0.099
33	11013	550	10.397	0.985
34	11011	50	10.495	0.049
35	10877	150	10.420	0.762
36	10876	75	10.412	0.841
37	10875	100	10.415	0.812
38	10874	100	10.416	0.799
39	10843	300	10.397	0.985
40	10832	250	10.396	0.986

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 02	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.407	0.890
42	10823	640	10.392	1.024
43	10784	160	10.394	1.011
44	10740	160	10.411	0.852
45	10713	250	10.485	0.139
46	10666	100	10.412	0.835
47	10660	50	10.487	0.122
48	10625	160	10.463	0.356
49	10595	50	10.396	0.986
50	10594	160	10.411	0.844
51	10554	250	10.410	0.854
52	10496	50	10.493	0.069
53	10473	50	10.493	0.067
54	10461	320	10.414	0.816
55	10413	100	10.494	0.060
56	10352	160	10.388	1.065
57	10351	100	10.486	0.133
58	10349	1200	10.400	0.951
59	10328	150	10.488	0.115
60	10327	160	10.490	0.091
61	10227	50	10.493	0.063
62	10226	100	10.498	0.023
63	10225	160	10.489	0.101
64	10224	160	10.489	0.104
65	10176	250	10.406	0.896
66	10139	100	10.495	0.046
67	10137	400	10.420	0.760
68	10135	250	10.414	0.823
69	10132	320	10.397	0.985
70	10068	100	10.490	0.098
71	10067	50	10.484	0.148
72	10057	100	10.490	0.094
73	10056	75	10.395	0.998
74	10038	160	10.392	1.027
75	10021	550	10.396	0.990
76	10020	200	10.403	0.922
77	10018	250	10.412	0.838
78	10014	400	10.463	0.356

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 03	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.412	0.837
2	11447	125	10.360	1.329
3	11410	400	10.361	1.328
4	11389	160	10.411	0.850
5	11385	400	10.378	1.164
6	11376	500	10.361	1.328
7	11375	250	10.341	1.510
8	11357	400	10.338	1.544
9	11356	160	10.334	1.581
10	11355	160	10.334	1.579
11	11354	320	10.334	1.577
12	11353	300	10.334	1.586
13	11352	300	10.343	1.496
14	11351	200	10.344	1.485
15	11350	250	10.344	1.484
16	11349	250	10.345	1.478
17	11348	300	10.338	1.538
18	11347	200	10.338	1.546
19	11346	300	10.338	1.545
20	11345	500	10.338	1.545
21	11331	125	10.442	0.556
22	11308	400	10.355	1.383
23	11301	400	10.365	1.283
24	11123	250	10.355	1.381
25	11113	460	10.387	1.077
26	11097	640	10.374	1.201
27	11095	160	10.340	1.522
28	11055	1000	10.375	1.193
29	11054	630	10.377	1.172
30	11052	1250	10.375	1.191
31	11051	1600	10.378	1.166
32	11018	160	10.441	0.563
33	11013	550	10.346	1.470
34	11011	50	10.388	1.066
35	10877	150	10.369	1.246
36	10876	75	10.361	1.324
37	10875	100	10.364	1.295
38	10874	100	10.365	1.282
39	10843	300	10.346	1.469
40	10832	250	10.346	1.470

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 03	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.356	1.374
42	10823	640	10.342	1.509
43	10784	160	10.343	1.496
44	10740	160	10.360	1.336
45	10713	250	10.388	1.066
46	10666	100	10.362	1.319
47	10660	50	10.499	0.012
48	10625	160	10.412	0.838
49	10595	50	10.346	1.470
50	10594	160	10.361	1.328
51	10554	250	10.360	1.338
52	10496	50	10.385	1.098
53	10473	50	10.410	0.856
54	10461	320	10.364	1.300
55	10413	100	10.418	0.782
56	10352	160	10.337	1.549
57	10351	100	10.389	1.060
58	10349	1200	10.349	1.435
59	10328	150	10.499	0.005
60	10327	160	10.442	0.556
61	10227	50	10.385	1.093
62	10226	100	10.397	0.980
63	10225	160	10.388	1.070
64	10224	160	10.385	1.095
65	10176	250	10.355	1.380
66	10139	100	10.387	1.076
67	10137	400	10.370	1.243
68	10135	250	10.363	1.306
69	10132	320	10.346	1.469
70	10068	100	10.382	1.128
71	10067	50	10.387	1.075
72	10057	100	10.382	1.124
73	10056	75	10.344	1.482
74	10038	160	10.341	1.511
75	10021	550	10.345	1.474
76	10020	200	10.352	1.406
77	10018	250	10.361	1.321
78	10014	400	10.412	0.837

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 04	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.528	0.266
2	11447	125	10.495	0.043
3	11410	400	10.496	0.042
4	11389	160	10.488	0.118
5	11385	400	10.482	0.175
6	11376	500	10.496	0.042
7	11375	250	10.490	0.100
8	11357	400	10.486	0.134
9	11356	160	10.482	0.170
10	11355	160	10.482	0.169
11	11354	320	10.482	0.167
12	11353	300	10.482	0.175
13	11352	300	10.491	0.087
14	11351	200	10.492	0.075
15	11350	250	10.492	0.075
16	11349	250	10.493	0.069
17	11348	300	10.487	0.128
18	11347	200	10.486	0.135
19	11346	300	10.486	0.134
20	11345	500	10.486	0.135
21	11331	125	10.484	0.149
22	11308	400	10.490	0.096
23	11301	400	10.500	0.003
24	11123	250	10.490	0.095
25	11113	460	10.492	0.072
26	11097	640	10.478	0.211
27	11095	160	10.488	0.112
28	11055	1000	10.479	0.204
29	11054	630	10.481	0.183
30	11052	1250	10.479	0.202
31	11051	1600	10.481	0.177
32	11018	160	10.484	0.156
33	11013	550	10.494	0.060
34	11011	50	10.492	0.071
35	10877	150	10.504	0.039
36	10876	75	10.496	0.038
37	10875	100	10.499	0.010
38	10874	100	10.500	0.003
39	10843	300	10.494	0.060
40	10832	250	10.494	0.061

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 04	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.491	0.088
42	10823	640	10.490	0.099
43	10784	160	10.491	0.086
44	10740	160	10.495	0.050
45	10713	250	10.494	0.053
46	10666	100	10.496	0.033
47	10660	50	10.481	0.180
48	10625	160	10.528	0.266
49	10595	50	10.494	0.061
50	10594	160	10.496	0.042
51	10554	250	10.495	0.052
52	10496	50	10.489	0.107
53	10473	50	10.487	0.124
54	10461	320	10.498	0.014
55	10413	100	10.488	0.117
56	10352	160	10.485	0.139
57	10351	100	10.495	0.047
58	10349	1200	10.497	0.026
59	10328	150	10.482	0.173
60	10327	160	10.484	0.148
61	10227	50	10.489	0.101
62	10226	100	10.492	0.080
63	10225	160	10.493	0.065
64	10224	160	10.490	0.095
65	10176	250	10.490	0.093
66	10139	100	10.491	0.084
67	10137	400	10.504	0.042
68	10135	250	10.498	0.021
69	10132	320	10.494	0.060
70	10068	100	10.486	0.136
71	10067	50	10.493	0.062
72	10057	100	10.486	0.132
73	10056	75	10.492	0.072
74	10038	160	10.489	0.101
75	10021	550	10.493	0.064
76	10020	200	10.500	0.003
77	10018	250	10.496	0.035
78	10014	400	10.528	0.266

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 05	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.516	0.150
2	11447	125	10.489	0.107
3	11410	400	10.489	0.106
4	11389	160	10.436	0.610
5	11385	400	10.411	0.848
6	11376	500	10.489	0.106
7	11375	250	10.487	0.127
8	11357	400	10.483	0.161
9	11356	160	10.479	0.197
10	11355	160	10.479	0.195
11	11354	320	10.480	0.194
12	11353	300	10.479	0.202
13	11352	300	10.488	0.113
14	11351	200	10.489	0.102
15	11350	250	10.489	0.101
16	11349	250	10.490	0.096
17	11348	300	10.484	0.155
18	11347	200	10.483	0.162
19	11346	300	10.483	0.161
20	11345	500	10.483	0.162
21	11331	125	10.457	0.412
22	11308	400	10.483	0.160
23	11301	400	10.494	0.061
24	11123	250	10.483	0.159
25	11113	460	10.430	0.670
26	11097	640	10.407	0.885
27	11095	160	10.485	0.139
28	11055	1000	10.408	0.877
29	11054	630	10.410	0.856
30	11052	1250	10.408	0.875
31	11051	1600	10.411	0.850
32	11018	160	10.456	0.420
33	11013	550	10.491	0.087
34	11011	50	10.425	0.716
35	10877	150	10.497	0.024
36	10876	75	10.489	0.102
37	10875	100	10.492	0.074
38	10874	100	10.494	0.061
39	10843	300	10.491	0.087
40	10832	250	10.491	0.087

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 05	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.484	0.152
42	10823	640	10.487	0.126
43	10784	160	10.488	0.113
44	10740	160	10.488	0.114
45	10713	250	10.436	0.609
46	10666	100	10.490	0.097
47	10660	50	10.496	0.040
48	10625	160	10.516	0.149
49	10595	50	10.491	0.088
50	10594	160	10.489	0.106
51	10554	250	10.488	0.116
52	10496	50	10.420	0.764
53	10473	50	10.435	0.616
54	10461	320	10.492	0.078
55	10413	100	10.441	0.562
56	10352	160	10.483	0.166
57	10351	100	10.437	0.604
58	10349	1200	10.495	0.052
59	10328	150	10.497	0.033
60	10327	160	10.457	0.412
61	10227	50	10.420	0.758
62	10226	100	10.427	0.691
63	10225	160	10.430	0.663
64	10224	160	10.425	0.714
65	10176	250	10.483	0.157
66	10139	100	10.422	0.741
67	10137	400	10.498	0.022
68	10135	250	10.491	0.085
69	10132	320	10.491	0.087
70	10068	100	10.417	0.793
71	10067	50	10.435	0.619
72	10057	100	10.417	0.789
73	10056	75	10.490	0.099
74	10038	160	10.487	0.128
75	10021	550	10.490	0.091
76	10020	200	10.497	0.024
77	10018	250	10.490	0.099
78	10014	400	10.516	0.150

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 06	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.448	0.497
2	11447	125	10.396	0.987
3	11410	400	10.397	0.985
4	11389	160	10.471	0.276
5	11385	400	10.455	0.426
6	11376	500	10.397	0.985
7	11375	250	10.377	1.167
8	11357	400	10.374	1.201
9	11356	160	10.370	1.238
10	11355	160	10.370	1.236
11	11354	320	10.370	1.234
12	11353	300	10.370	1.243
13	11352	300	10.379	1.154
14	11351	200	10.380	1.142
15	11350	250	10.380	1.141
16	11349	250	10.381	1.136
17	11348	300	10.374	1.195
18	11347	200	10.374	1.203
19	11346	300	10.374	1.202
20	11345	500	10.374	1.203
21	11331	125	10.480	0.190
22	11308	400	10.391	1.040
23	11301	400	10.401	0.940
24	11123	250	10.391	1.039
25	11113	460	10.459	0.394
26	11097	640	10.451	0.463
27	11095	160	10.376	1.179
28	11055	1000	10.452	0.455
29	11054	630	10.454	0.434
30	11052	1250	10.452	0.453
31	11051	1600	10.455	0.428
32	11018	160	10.479	0.197
33	11013	550	10.382	1.127
34	11011	50	10.463	0.349
35	10877	150	10.405	0.904
36	10876	75	10.397	0.982
37	10875	100	10.400	0.953
38	10874	100	10.401	0.940
39	10843	300	10.382	1.127
40	10832	250	10.382	1.127

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 06	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.392	1.032
42	10823	640	10.378	1.166
43	10784	160	10.379	1.153
44	10740	160	10.396	0.993
45	10713	250	10.457	0.412
46	10666	100	10.397	0.977
47	10660	50	10.499	0.014
48	10625	160	10.448	0.497
49	10595	50	10.382	1.128
50	10594	160	10.397	0.986
51	10554	250	10.395	0.996
52	10496	50	10.461	0.372
53	10473	50	10.470	0.282
54	10461	320	10.399	0.958
55	10413	100	10.474	0.252
56	10352	160	10.373	1.207
57	10351	100	10.457	0.406
58	10349	1200	10.385	1.092
59	10328	150	10.499	0.007
60	10327	160	10.480	0.189
61	10227	50	10.461	0.367
62	10226	100	10.469	0.300
63	10225	160	10.459	0.387
64	10224	160	10.458	0.396
65	10176	250	10.391	1.037
66	10139	100	10.463	0.350
67	10137	400	10.405	0.901
68	10135	250	10.399	0.964
69	10132	320	10.382	1.126
70	10068	100	10.458	0.402
71	10067	50	10.456	0.422
72	10057	100	10.458	0.398
73	10056	75	10.380	1.139
74	10038	160	10.377	1.169
75	10021	550	10.381	1.131
76	10020	200	10.388	1.063
77	10018	250	10.397	0.979
78	10014	400	10.448	0.497

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 07	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
1	11456	160	10.515	0.139
2	11447	125	10.480	0.192
3	11410	400	10.480	0.190
4	11389	160	10.482	0.173
5	11385	400	10.470	0.285
6	11376	500	10.480	0.190
7	11375	250	10.472	0.263
8	11357	400	10.469	0.297
9	11356	160	10.465	0.333
10	11355	160	10.465	0.332
11	11354	320	10.465	0.330
12	11353	300	10.464	0.338
13	11352	300	10.474	0.250
14	11351	200	10.475	0.239
15	11350	250	10.475	0.238
16	11349	250	10.476	0.232
17	11348	300	10.469	0.291
18	11347	200	10.469	0.299
19	11346	300	10.469	0.298
20	11345	500	10.469	0.298
21	11331	125	10.486	0.133
22	11308	400	10.474	0.245
23	11301	400	10.485	0.146
24	11123	250	10.474	0.244
25	11113	460	10.481	0.185
26	11097	640	10.466	0.322
27	11095	160	10.471	0.275
28	11055	1000	10.467	0.315
29	11054	630	10.469	0.294
30	11052	1250	10.467	0.312
31	11051	1600	10.470	0.288
32	11018	160	10.485	0.141
33	11013	550	10.477	0.223
34	11011	50	10.481	0.183
35	10877	150	10.489	0.109
36	10876	75	10.480	0.187
37	10875	100	10.483	0.158
38	10874	100	10.485	0.145
39	10843	300	10.477	0.223
40	10832	250	10.476	0.224

N°	CÓDIGO SED	POTENCIA NOMINAL (kVA)	ESCENARIO 07	
			TENSIÓN (kV)	CAÍDA DE TENSIÓN(%)
41	10827	100	10.475	0.236
42	10823	640	10.472	0.262
43	10784	160	10.474	0.249
44	10740	160	10.479	0.198
45	10713	250	10.482	0.167
46	10666	100	10.481	0.182
47	10660	50	10.496	0.040
48	10625	160	10.515	0.139
49	10595	50	10.476	0.224
50	10594	160	10.480	0.191
51	10554	250	10.479	0.201
52	10496	50	10.477	0.218
53	10473	50	10.481	0.179
54	10461	320	10.483	0.163
55	10413	100	10.483	0.158
56	10352	160	10.468	0.302
57	10351	100	10.483	0.161
58	10349	1200	10.480	0.189
59	10328	150	10.497	0.033
60	10327	160	10.486	0.133
61	10227	50	10.478	0.212
62	10226	100	10.482	0.172
63	10225	160	10.481	0.178
64	10224	160	10.478	0.207
65	10176	250	10.475	0.242
66	10139	100	10.479	0.195
67	10137	400	10.489	0.106
68	10135	250	10.482	0.169
69	10132	320	10.477	0.223
70	10068	100	10.474	0.247
71	10067	50	10.481	0.177
72	10057	100	10.474	0.243
73	10056	75	10.475	0.236
74	10038	160	10.472	0.265
75	10021	550	10.476	0.228
76	10020	200	10.483	0.160
77	10018	250	10.481	0.184
78	10014	400	10.515	0.139

ANEXO C
FICHA TÉCNICA PANEL SOLAR DE 720 W DE POTENCIA



High Power Output
Low LCOE

Maximum Power
720W+

TWMNF

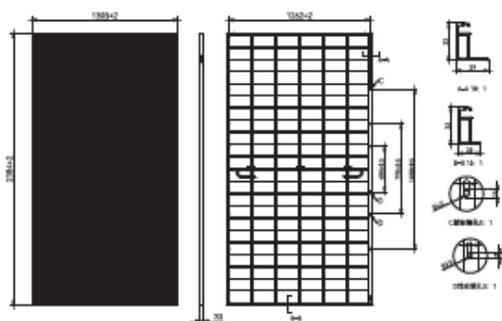
N-type Half-cell
Bifacial Module(66)

66HD700-720W

www.tongwei.com.cn



Learn More

DRAWINGS (Unit: mm)

MECHANICAL PARAMETERS

Cells	TNC(N Type Monocrystal)line Cell
Cell Orientation	132(6×22)
Dimension	2384±2×1303±2×33mm
Weight	37.9kg
Front Glass	2.0mm AR coated heat strengthened glass
Rear Glass	2.0mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Junction Box	IP68, 3 diodes
Output Cable	4.0mm ²
Cable Length	+400mm, -200mm or±1400mm, length can be customized
Wind/Snow Load	2400Pa/5400Pa
Packaging	33pcs per pallet, 594pcs per 40'HC

Electrical Characteristics (STC)

Model type: TWMNF-66HDXXXX					
Maximum Power: P _{max} [W]	700	705	710	715	720
Open Circuit Voltage: Voc [V]	48.60	48.77	48.94	49.11	49.28
Short Circuit Current: Isc [A]	18.35	18.40	18.45	18.50	18.55
Voltage at Maximum Power: V _{mp} [V]	40.35	40.52	40.69	40.86	41.03
Current at Maximum Power: I _{mp} [A]	17.35	17.40	17.45	17.50	17.55
Module Efficiency: η [%]	22.5	22.7	22.9	23.0	23.2

* STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

Electrical Characteristics (NMOT)

Maximum Power: P _{max} [W]	526	530	534	538	541
Open Circuit Voltage: Voc [V]	46.17	46.33	46.49	46.65	46.82
Short Circuit Current: Isc [A]	14.82	14.86	14.90	14.94	14.98
Voltage at Maximum Power: V _{mp} [V]	37.55	37.73	37.90	38.08	38.18
Current at Maximum Power: I _{mp} [A]	14.01	14.05	14.09	14.13	14.17

* NMOT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Rear Power Gain)

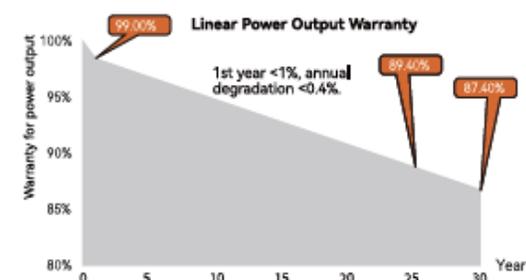
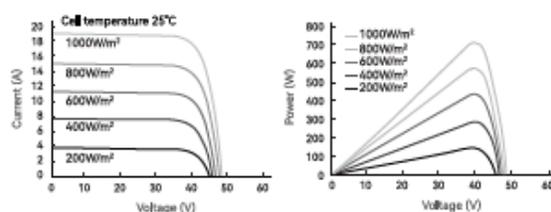
5%	Maximum Power: P _{max} [W]	735	740	745	750	756
	Module Efficiency: η [%]	23.7	23.8	24.0	24.1	24.3
15%	Maximum Power: P _{max} [W]	805	810	816	822	828
	Module Efficiency: η [%]	25.9	26.1	26.3	26.5	26.7
25%	Maximum Power: P _{max} [W]	875	881	887	893	900
	Module Efficiency: η [%]	28.2	28.4	28.6	28.7	29.0

TEMPERATURE PARAMETERS

Temperature Coefficient (P _{max})	-0.28%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.24%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	+0.046%/°C
NMOT	45±2°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500V DC
Maximum Series Fuse Rating	35A
Power Output Tolerance	0~+3%
Bifaciality	80±5%

WARRANTY

I-V CURVE

CERTIFICATIONS
Quality Management System and Product Certification

- ISO 9001: 2015/Quality management system
- ISO 14001: 2015/Environmental management system
- ISO 45001: 2018/Occupation health safety management system
- ISO 50001: 2018/Energy management system
- IEC 62941: 2019/Quality system for PV module manufacturing
- IEC 61215/61730, IEC 62804(PID), IEC 61701(Salt), IEC 62716 (Ammonia), IEC 60068-2-68(Sand)



Email: sales@tongwei.com Website: en.tongwei.com.cn Add: No.588, Middle Section Tianfu Avenue, High-Tech Zone, Chengdu, China (Sichuan) Pilot Free Trade Zone Tel: +86 02860664455

Statement: With technological process and product update, there may be deviation between the technical parameters of Tongwei's module products and the technical parameters contained in the specification, and Tongwei Solar has the right to adjust the technical parameters at any time without notifying the customer, the final interpretation of the technical specification is vested in Tongwei Solar. (Preview:20240703)

ANEXO D
FICHA TÉCNICA DE INVERSOR DE 350 KW DE POTENCIA.

350kVA, 1500 Vdc String Inverters for North America



CPS SCH350KTL-DO/US-800

The 350kVA high power CPS three-phase string inverters are designed for ground-mount applications. The units are high performance, advanced and reliable inverters designed specifically for the North American environment and grid. High efficiencies, wide operating voltages, broad temperature ranges and NEMA Type 4X enclosure enable this inverter platform to operate at high performance across many applications.

The SCH350KTL inverters are rated for 350kW. Each inverter include 15 MPPTs and is available with either 30 unfused PV string inputs. The CPS FlexOM solution enables communication, controls and remote product upgrades.

Key Features

- NFPA 70, NEC 2017/2020 compliant
- CPS FlexOM Gateway enables remote firmware upgrades
- Integrated DC disconnect switches
- Protection functions for enhanced reliability and safety
- UL 1741-SB and IEEE 1547-2018 certified
- Supported comm protocols (Modbus RTU, TCP/IP, PLC)
- 15 MPPTs with 30 unfused inputs
- Copper and Aluminum compatible AC connections
- NEMA Type 4X outdoor rated, tough tested enclosure
- Full power capacity up to 45°C
- Standard 5-year warranty with extensions to 20 years

Model No.	SCH350KTL-DO/US-800
DC Input	
Nominal input power	360 kW
Max input voltage	1500Vdc
Input operating voltage range	500-1450Vdc
MPPT input operating voltage range ⁽¹⁾	880-1300Vdc
MPPT voltage range @ PF>0.99	500-1450Vdc
Turn on voltage/Power	550V/500W
Nominal input voltage	1190 Vdc
Number of DC input channels	2 x 15
No. of DC inputs	30 Non-Fused Inputs, 2 per MPPT
Max input current	40A x 15
Max input short-circuit current	65A x 15
DC Disconnection Type	Load-rated DC switches
AC Output	
Nominal AC output power ⁽²⁾	350kW
Maximum AC output power	350kVA
Nominal AC voltage ⁽²⁾	800Vac

Output voltage range	704-880Vac
Grid connection form	3Φ (Three phase)/ PE
Maximum AC output current @800Vac	253A
Nominal power frequency	60Hz
Output frequency range	57- 63Hz
Power factor	>0.99 (±0.8 adjustable)
Current harmonic distortion	<3%
AC disconnect type	-
Max. output fault current and duration	810Apk / 33.04 ms, 133.046A @ 1 cycle, 94.808A @ 3 cycles, 73.749A @ 5 cycles
Max. output overcurrent protection (Inverter Protection Function, Peak value)	350A
System parameters	
Topology	Transformer-less
Maximum efficiency	98.8%
China efficiency	98.5%
Standby/Night loss	<30W/15W
Environmental parameters	
Protection level	NEMA TYPE 4X
Cooling method	Variable speed cooling fans
Operating temperature ⁽³⁾	-22°F to +140°F / -30°C to +60°C

	(derating from +113°F / +45°C)
Operating humidity	0-100%, No condensation
Operating altitude ⁽⁴⁾	4000m (0-2500m, No derating)
Display and communication	
Display	LED indicators, WiFi + APP
Communication	Modbus RS485/Ethernet TCP/IP/PLC
Structural parameters	
Dimensions (WxHxD) (mm)	1057x810x400
Weight (kg)	143 kg
Safety	
Safety and EMC standards	UL1741SB; CSA-22.2 NO.107.1-16; FCC CFR 47 part15.
Grid-connected specification	IEEE 1547.1-2020, IEEE 1547-2018, IEEE 1547a-2020, HECO SRD-V2.0

ANEXO E
FICHA TÉCNICA DEL MÓDULO DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA



GRIDSTACK PRO OVERVIEW

As the industry shifts from MW-sized projects to GW-scale portfolios, storage systems must meet new standards in delivery, performance, and safety. Gridstack Pro provides utilities, developers, and independent power producers with a factory-built, configurable solution that delivers higher site density, easier maintenance, and lower operating costs. With GWh of systems operating, Fluence is trusted by leading power generators to deliver safe systems and reliable grid services on the largest, most complex storage projects.

-  **Next-Level Flexibility**
Diversified supply chain and Fluence Battery Management System (BMS) enable the right-fit solution and project delivery assurance
-  **Total Intelligence**
Enhanced performance and lower operating costs through improved State of Charge (SOC) accuracy, and pre-integrated Asset Performance Management (APM)
-  **Optimized Design**
The right balance of density, speed of installation, and ease of logistics, with uncompromised safety and security



Technical Specifications

BATTERY PACK OPTIONS	2000 SERIES	5000 SERIES	1000 Series Power/Energy Matching Augmentation
Battery Cells	305 Ah – 306 Ah	306 Ah – 530 Ah	306 Ah – 530 Ah
Energy Capacity (kWh)	2436 kWh	4888 kWh -5644 kWh	1411 kWh – 1629 kWh
Battery Enclosure Dimensions (H x L x D)	2550 x 7537 x 1734 mm (8.37 x 24.73 x 5.69 ft.)	2896 x 6820/6058 x 2438 mm (9.5 x 20/22.37 x 8 ft.)	2896 x 2991 x 2438 mm (9.50 x 9.81 x 8 ft.)
Battery Enclosure Weight without coolant	~ 22,400 kg - 23,300 kg	Up to 45,000 kg	up to 14,500 kg
Aux. Peak Load (kW)	16.7 (2-hr+); 9.5 (4-hr+)	34 (2-hr+); 17 (4-hr+)	8 (2-hr+); 4 (4-hr+)
Maximum C Rate	0.5	0.5	0.5 (306AH); 0.25 (530AH)
PERFORMANCE & SAFETY SPECS			
Discharge Duration	2 hours - 4 hours - 6 hours		
DC Voltage	Up to 1500V		
System Response Time	150ms		
Round Trip Efficiency	> 87%		
Availability	> 97%		
Grid Frequency	50-60 Hz		
Seismic Rating	Compliant with IEEE693 High, meets International Building Code (IBC), California Building Code (CBC) requirements per Seismic Design Category (SDC) D, Conforms to ASCE 7-10 standard		
Operating Temp. range	-20 °C to +50 °C (-4 °F to +122 °F)		
Certifications	UL/IEC		
Battery enclosure IP Rating	IP55		
Altitude	2,000 meters (without derating)		
Thermal Management	Liquid cooled		
Certifications and Codes	UL1741, UL1741SA/IEEE1547, UL 9540A Cell, Module, Unit		
SOFTWARE			
BMS, System Control and Market Applications	Fluence OS7		
Communication Protocol	Modbus, DNP3, and OPC UA		
Analytics and Optimisation platform	Nispera		
Bidding Optimisation Software	Mosaic*		

Note: Specifications in the above table are design estimates only and are not guaranteed. Contact Fluence for a project-specific estimate as final values depend on system design, location, and use case.

**Mosaic is an add-on currently available for assets in the NEM, CAISO, and ERCOT*

Next Level Flexibility

The Fluence-designed Battery Packs combine state-of-the-art battery modules, management systems, and monitoring equipment into a unified product architecture designed to improve operations through advanced thermal and state of charge (SOC) management. The integrated design ensures consistent product performance and safety at the system level while reducing the time it takes to introduce new battery technology from a growing base of global battery manufacturers.

With flexibility and reliability in mind, Gridstack Pro incorporates advanced features allowing for grid forming capabilities. This allows for optimization of sites and systems that operate entirely or partially off-grid, supporting storage, load, solar, and other generators.



Integrated Global Supply Chain

At Fluence we invest heavily in technology, systems engineering, product development, and R&D to strengthen our market leadership and enhance customer value. Gridstack Pro is built with Fluence Module, BMS, electronics, and software, free from components from countries of concern, safeguarding against cybersecurity and mitigating policy issues.



ANEXO F
FICHA TÉCNICA DEL SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA - PCS

Multi PCSK

DS21

Modularity.

Easy maintenance.

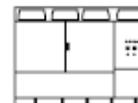
Up to 4 independent DC inputs.

Advanced grid support.

Compatible with all battery technologies.

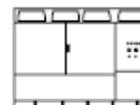


Freemaq Multi PCSK



COMMON FEATURES MULTI PCSK		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
AC	Max. AC Output Current (A) @40°C	1837	2756	3674	
	Operating Grid Frequency (Hz)	50/60Hz			
	Current Harmonic Distortion (THDI)	< 3% per IEEE519			
	Power Factor (CosPhi) ²¹	0.5 leading ... 0.5 lagging			
	Reactive Power Compensation	Four quadrant operation			
DC	DC Voltage Ripple	< 3%			
	Max. DC Continuous Current per Input (A)	1148	1148	2295	1148
	Max. DC Short Circuit Current per Input (kA)	250 kA with a time constant of 3ms			
	Battery Technology	All type of batteries (BMS required)			
CABINET	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
	Dimensions [WxDxH] (ft)	9.8 x 6.5 x 7.2			
	Dimensions [WxDxH] (m)	3.0 x 2.0 x 2.2			
	Weight (lbs)	11465	11795	12125	
	Weight (kg)	5200	5350	5500	
ENVIRONMENT	Type of Ventilation	Forced air cooling			
	Degree of Protection	NEMA 3R / IP55			
	Operating Temperature Range ²¹	From -25°C to +60°C, >40°C power derating			
	Operating Relative Humidity Range	From 4% to 100% non-condensing			
	Storage Temperature Range	From -40°C to +60°C			
CONTROL INTERFACE	Max. Altitude (above sea level)	2000m / >2000m power derating (Max. 4000m)			
	Communication Protocol	Modbus TCP			
	Power Plant Controller	Optional. Third party SCADA systems supported			
PROTECTIONS	Keyed ON/OFF Switch	Standard			
	Ground Fault Protection	Insulation monitoring device			
	Humidity Control	Active heating			
	General AC Protection & Disconn.	Circuit breaker			
	General DC Protection & Disconn. ²¹	High-speed fuses, Motorized DC disconnect switches			
CERTIFICATIONS & STANDARDS	Overvoltage Protection	Type II for AC and Type I+II for DC			
	Safety	UL 1741 / CSA 22.2 No.1071-16 / IEC 62109-1 / IEC 62109-2 / IEC 62477-1			
	Installation	NEC 2023			
	Utility Interconnect ²¹	IEEE 1547:2018 / UL 1741 SA & SB / IEC 62116:2014			

Freemaq Multi PCSK



690 V		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES		FP2195K2	FP3290K3	FP4390K2	FP4390K4
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2195	3290	4390	
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	2035	3055	4075	
		Operating Grid Voltage (VAC)			
		690V ±10%			
		DC Voltage Range ^[2]			
		976V - 1500V			
DC	Maximum DC Voltage	1500V			
	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.84%	98.87%	98.93%	
	Euroeta (η) (preliminary)	98.45%	98.48%	98.65%	
660 V		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES		FP2101K2	FP3151K3	FP4200K2	FP4200K4
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2100	3150	4200	
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1950	2925	3900	
		Operating Grid Voltage (VAC)			
		660V ±10%			
		DC Voltage Range ^[2]			
		934V - 1500V			
DC	Maximum DC Voltage	1500V			
	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.81%	98.84%	98.90%	
	Euroeta (η) (preliminary)	98.45%	98.48%	98.65%	
645 V		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES		FP2055K2	FP3080K3	FP4105K2	FP4105K4
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2055	3080	4105	
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1905	2855	3810	
		Operating Grid Voltage (VAC)			
		645V ±10%			
		DC Voltage Range ^[2]			
		913V - 1500V			
DC	Maximum DC Voltage	1500V			
	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.78%	98.87%	98.87%	
	Euroeta (η) (preliminary)	98.40%	98.60%	98.60%	
630 V		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES		FP2005K2	FP3005K3	FP4010K2	FP4010K4
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	2005	3005	4010	
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1860	2790	3720	
		Operating Grid Voltage (VAC)			
		630V ±10%			
		DC Voltage Range ^[2]			
		891V - 1500V			
DC	Maximum DC Voltage	1500V			
	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.76%	98.79%	98.85%	
	Euroeta (η) (preliminary)	98.39%	98.42%	98.59%	
615 V		FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	
REFERENCES		FP1955K2	FP2935K3	FP3915K2	FP3915K4
AC	AC Output Power (kVA/kW) @40°C ^[1]	1955	2935	3915	
	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ^[1]	1815	2725	3635	
		Operating Grid Voltage (VAC)			
		615V ±10%			
		DC Voltage Range ^[2]			
		870V - 1500V			
DC	Maximum DC Voltage	1500V			
	Number of Separate DC Inputs	2	3	2	4
EFFICIENCY	Efficiency (Max) (η) (preliminary)	98.76%	98.79%	98.84%	
	Euroeta (η) (preliminary)	98.38%	98.41%	98.57%	

NOTES

[1] Values at 1.00-Vac nom and CosPhi=1. The maximum AC output power must be limited to meet the P-Q capability requirement at the inverter level of some grid codes. Consult Power Electronics for derating curves and overload capability in grid forming mode.

[2] Consult Power Electronics for derating curves. In the event of overvoltage in the grid, the minimum DC voltage will vary proportionally with the AC voltage.

ANEXO G
TABLA DE PERDIDAS EN LAS LÍNEAS DEL ALIMENTADOR

TRAMO DE LÍNEA	PÉRDIDAS EN TAMOS DE LÍNEA (kW)	
	SIN GDFV	CON 2 GDFV
1	39.113	0.548
2	11.783	0.165
3	0.000	0.000
4	4.198	0.069
5	0.002	0.002
6	0.007	0.007
7	0.013	0.011
8	0.005	0.004
9	1.985	0.051
10	0.000	0.000
11	2.176	0.076
12	0.019	0.018
13	0.007	0.007
14	0.005	0.005
15	1.057	0.042
16	0.003	0.003
17	1.070	0.094
18	0.057	0.051
19	0.049	0.044
20	0.048	0.043
21	0.029	0.026
22	0.086	0.077
23	0.000	0.000
24	0.000	0.000
25	0.001	0.001
26	0.124	0.115
27	0.001	0.001
28	0.012	0.011
29	0.000	0.000
30	0.318	0.297
31	0.078	0.073
32	0.043	0.040
33	0.043	0.040
34	0.077	0.072
35	0.007	0.007
36	0.000	0.000
37	0.000	0.000
38	0.058	0.054
39	0.363	0.338

TRAMO DE LÍNEA	PÉRDIDAS EN TAMOS DE LÍNEA (kW)	
	SIN GDFV	CON 2 GDFV
40	0.214	0.200
41	0.059	0.055
42	0.004	0.004
43	0.000	0.000
44	0.000	0.000
45	0.001	0.001
46	0.006	0.005
47	0.004	0.003
48	0.003	0.003
49	0.002	0.002
50	0.001	0.001
51	0.001	0.001
52	0.003	0.003
53	0.021	0.019
54	0.000	0.000
55	0.004	0.004
56	0.000	0.000
57	0.003	0.003
58	0.026	0.023
59	0.051	0.046
60	0.005	0.004
61	0.011	0.010
62	0.002	0.002
63	0.002	0.001
64	1.719	1.531
65	0.070	0.063
66	0.012	0.010
67	0.103	0.092
68	0.016	0.014
69	0.089	0.080
70	0.006	0.005
71	0.002	0.002
72	0.000	0.000
73	0.000	0.000
74	0.010	0.009
75	0.032	0.030
76	0.048	0.045
77	0.003	0.003
78	0.000	0.000

TRAMO DE LÍNEA	PÉRDIDAS EN TAMOS DE LÍNEA (kW)	
	SIN GDFV	CON 2 GDFV
79	0.000	0.000
80	0.010	0.010
81	0.016	0.015
82	0.001	0.001
83	0.022	0.021
84	0.000	0.000
85	0.001	0.001
86	0.002	0.002
87	0.002	0.002
88	0.009	0.008
89	0.006	0.005
90	0.003	0.003
91	0.002	0.002
92	0.004	0.004
93	0.001	0.001
94	0.000	0.000
95	190.015	14.218
96	8.702	1.563
97	1.870	0.139
98	0.320	0.298
99	0.043	0.040
100	0.016	0.015
101	0.031	0.028
102	0.004	0.004
103	0.021	0.019
104	0.013	0.012
105	0.013	0.012
106	0.073	0.005
TOTAL	266.573	21.096

ANEXO H
FLUJOGRAMA DE GDFV EN ALIMENTADOR DO-06 CON EL SOFTWARE
DIGSILENT POWERFACTORY

FLUJOGRAMA DE GDFV EN EL ALIMENTADOR DO-06

