

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Análisis de la generación distribuida para
mejorar los niveles de tensión en el alimentador
A4211 en el sistema eléctrico Huancayo**

Fernando Jose Jimenez Romero

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	es.wikipedia.org Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	ar.scribd.com Fuente de Internet	<1%
9	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	

<1 %

10

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

13

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

Isidoro Segura Heras. "Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica", Universitat Politecnica de Valencia, 2005

Publicación

<1 %

15

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

16

apolo.creg.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

17

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

18

JOSÉ LUIS PICARD LÓPEZ. "Contribución a la planificación de sistemas avanzados de distribución de energía eléctrica incorporando

<1 %

los recursos energéticos distribuidos.",
Universitat Politecnica de Valencia, 2015

Publicación

19

documentop.com

Fuente de Internet

<1 %

20

www.citeenergia.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

biblioteca.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

Alicia Lozano Torró. "Modelo de madurez de internacionalización de las empresas consultoras de ingeniería españolas",
Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

24

Submitted to Submitted on 1685468513653

Trabajo del estudiante

<1 %

25

Claudia Conesa Domínguez. "DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA LA MEJORA Y CONTROL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS",
Universitat Politecnica de Valencia, 2017

Publicación

<1 %

26

repositorio.unasam.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

Submitted to Pennsylvania College of Technology

Trabajo del estudiante

<1 %

29

fdocuments.es

Fuente de Internet

<1 %

30

repositorio.uileam.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

31

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

33

"Simulación como herramienta para identificar y comprender las operaciones críticas en el ciclo de desarrollos horizontales", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020

Publicación

<1 %

34

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

<1 %

35

catalonica.bnc.cat

Fuente de Internet

<1 %

36	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
37	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	revistaenergia.pe Fuente de Internet	<1 %
40	1library.co Fuente de Internet	<1 %
41	alexandria.tue.nl Fuente de Internet	<1 %
42	fliphtml5.com Fuente de Internet	<1 %
43	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
44	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
46	www.inkcups.com Fuente de Internet	<1 %
47	www.mundohvacr.com.mx Fuente de Internet	<1 %

48	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
50	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	"Applied Computer Sciences in Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2018 Publicación	<1 %
52	Edgar Lorenzo Sáez. "Desarrollo de una herramienta integral de gestión de gases de efecto invernadero para la toma de decisión contra el cambio climático a nivel regional y local en la Comunitat Valenciana", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 Publicación	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Activo

ASESOR
Mg. JOEL COLONIO LLACUA

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Leo y Elia, que siempre estuvieron a mi lado, además de nunca dejar de confiar en mí ni en mis proyectos, asimismo, por brindarme un amor incondicional que siempre me acompañó a lo largo de mi carrera profesional, así como en mi vida diaria.

A mis hermanos mayores, Eduardo, Patricia y Leonardo, por siempre estar a mi lado cuando los necesité y ser pilares de mi vida cuando llegué a tener dificultades.

Agradezco a mi asesor, el Ing. Joel Colonio, por acompañarme en este largo camino, no solo con el presente trabajo, sino también con los consejos, con su tiempo y paciencia a lo largo de la elaboración de la investigación.

A mis docentes, que me acompañaron desde la educación inicial hasta la universitaria, por brindarme no solo las enseñanzas que necesité en mi vida tanto profesional, sino también las enseñanzas que necesité como persona.

A mi familia en general, por siempre estar a mi lado y mostrarme su apoyo constante en mi vida personal y profesional.

A mis amigos, Juan Luis, Miguel, Anderson, Juan, Cesar, Kevin y Walter, que me acompañaron no solo toda mi carrera, sino también desde el colegio.

Por último, agradezco a aquellos que ya no me acompañan físicamente, pero su recuerdo y apoyo siempre está conmigo, en especial a mi mamá, Elena, que nada de esto sería posible sin el apoyo que me mostró antes de partir.

DEDICATORIA

A mis padres, Leo Eduardo Jimenez Romero y Elia Ruvila Romero de Jimenez, cuyo apoyo constante y confianza siempre me acompañaron a lo largo de toda mi trayectoria académica.

A mis segundos padres que son mis abuelos, Enma y Felix, que siempre me apoyaron y me dieron su cariño sin importar las dificultades que se tuvieran.

A mis hermanos y hermana, por su apoyo y cariño que me brindaron siempre, además de brindarme consejos para mi vida profesional.

A mi familia en general y amigos, que fui conociendo a lo largo de mi carrera profesional por ser parte de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice de contenido	v
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	ix
Resumen	xi
Abstract	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema	15
1.1.2.1. Problema general.....	15
1.1.2.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia.....	16
1.3.1. Justificación práctica.....	16
1.3.2. Justificación metodológica.....	16
1.3.3. Justificación social	16
1.3.4. Importancia	16
1.4. Hipótesis y descripción de variables	16
1.4.1. Hipótesis general.....	16
1.4.2. Hipótesis específicas	16
1.4.3. Descripción de variables	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales	18
2.1.3. Antecedentes regionales.....	19
2.2. Bases teóricas	19
2.2.1. Generación distribuida	19

2.2.2. Las ventajas de la generación distribuida	19
2.2.3. Aplicación de la generación distribuida.....	20
2.2.3.1. El autoconsumo.....	20
2.2.3.2. Medición neta.....	20
2.2.3.3. Facturación neta	21
2.2.4. Marco normativo del sistema eléctrico en el Perú	21
2.3. Niveles de tensión	22
2.4. Norma técnica de calidad de servicios eléctricos.....	22
2.4.1. La calidad de producto eléctrico	23
2.4.1.1. Tensión.....	23
2.4.1.2. Frecuencia	23
2.4.1.3. Perturbaciones.....	23
2.4.2. La calidad de suministro eléctrico	24
2.4.3. La calidad de servicio comercial.....	25
2.4.4. Calidad de alumbrado	25
2.5. Definición de términos básicos	25
CAPÍTULO III.....	26
METODOLOGÍA	26
3.1. Método de la investigación	26
3.2. Diseño de la investigación	26
3.3. Población y muestra	27
3.3.1. Población	27
3.3.2. Muestra	27
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
3.4.1. Técnica de recolección de datos	27
3.4.2. Instrumento de recolección de datos.....	27
CAPÍTULO IV	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Resultados	28
4.1.1. Modelamiento del sistema eléctrico en estudio	28
4.1.1.1. Red equivalente.....	28
4.1.1.2. Transformador y barras de conexión.....	29
4.1.1.3. Redes y cargas.....	32
4.1.1.4. Diagrama unifilar	34
4.1.2. Cargas instaladas.....	34
4.1.3. Flujo de carga actual	36
4.1.4. Evaluación del recurso energético	43

4.1.5. Modelamiento de los generadores.....	51
4.1.6. Ubicación de los generadores fotovoltaicos.....	58
4.1.7. Flujo de carga con la propuesta de generación distribuida	63
4.2. Prueba de hipótesis.....	70
4.3. Discusión de resultados.....	70
Conclusiones	72
Recomendaciones	73
Lista de referencias	74
Anexos	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.....	17
Tabla 2. Niveles de tensión normalizadas.....	22
Tabla 3. Tolerancias de armónicas.....	24
Tabla 4. Potencia de las cargas instaladas.....	34
Tabla 5. Potencia total de las cargas instaladas	36
Tabla 6. Resultados de flujo de carga actual.....	40
Tabla 7. Resumen de los generadores	58
Tabla 8. Resultados de flujo de carga con la propuesta	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación distribuida.....	19
Figura 2. Autoconsumo.....	20
Figura 3. Medición neta.....	21
Figura 4. Línea de tiempo del marco normativo de la GD.....	21
Figura 5. Características de la generación distribuida	22
Figura 6. Red equivalente	28
Figura 7. Parámetros de voltaje de la red equivalente	29
Figura 8. Parámetros de potencia y corriente cortocircuito de la red equivalente	29
Figura 9. Representación de transformador y barras (60,10 kV).....	30
Figura 10. Niveles de tensión del transformador	30
Figura 11. Parámetros del transformador.....	31
Figura 12. Barra de 60 kV.....	31
Figura 13. Barra de 10 kV.....	32
Figura 14. Redes y cargas	32
Figura 15. Modelamiento de las cargas	33
Figura 16. Modelamiento de las redes	33
Figura 17. Diagrama unifilar.....	34
Figura 18. AC Load Flow, unbalance 3 phase (ABC).....	36
Figura 19. Resultados de la simulación del flujo de carga.....	37
Figura 20. Resultados de flujos de carga en la subestación E404339.....	38
Figura 21. Resultados de flujos de carga en la subestación E404394.....	38
Figura 22. Resultados de flujos de carga en la subestación E404350 y E404777	39
Figura 23. Resultados de flujos de carga en la subestación E430154 y E404818	39
Figura 24. Resultados de flujos de carga en la subestación E404395.....	40
Figura 25. Resultados de flujos de carga en la subestaciones del circuito alimentador A4211	42
Figura 26. Resultados de los niveles de tensión en los terminales del circuito alimentador A4211.....	42
Figura 27. Resultados de los niveles de cargabilidad en las redes eléctricas del circuito alimentador A4211.....	43
Figura 28. Recurso energético del generador fotovoltaico 1	44
Figura 29. Recurso energético del generador fotovoltaico 2	45
Figura 30. Recurso energético del generador fotovoltaico 3	46
Figura 31. Recurso energético del generador fotovoltaico 4	47
Figura 32. Recurso energético del generador fotovoltaico 5	48

Figura 33. Recurso energético del generador fotovoltaico 6	49
Figura 34. Recurso energético del generador fotovoltaico 7	50
Figura 35. Modelamiento generador 1- potencia instalada.....	51
Figura 36. Modelamiento generador 1 - despacho de la potencia instalada	51
Figura 37. Modelamiento del generador 2 - potencia instalada.....	52
Figura 38. Modelamiento del generador 2 - despacho de la potencia instalada.....	52
Figura 39. Modelamiento del generador 3 - potencia instalada.....	53
Figura 40. Modelamiento del generador 3 - despacho de la potencia instalada.....	53
Figura 41. Modelamiento del generador 4 - potencia instalada.....	54
Figura 42. Modelamiento del generador 4 - despacho de la potencia instalada.....	54
Figura 43. Modelamiento del generador 5 - potencia instalada.....	55
Figura 44. Modelamiento del generador 5 - despacho de la potencia instalada.....	55
Figura 45. Modelamiento del generador 6 - potencia instalada.....	56
Figura 46. Modelamiento del generador 6 - despacho de la potencia instalada.....	56
Figura 47. Modelamiento del generador 7 - potencia instalada.....	57
Figura 48. Modelamiento del generador 7 - despacho de la potencia instalada.....	57
Figura 49. Ubicación de los generadores fotovoltaicos	59
Figura 50. Ubicación del generador 1	60
Figura 51. Ubicación del generador 2.....	60
Figura 52. Ubicación del generador 3.....	61
Figura 53. Ubicación del generador 4.....	61
Figura 54. Ubicación del generador 5.....	62
Figura 55. Ubicación del generador 6.....	62
Figura 56. Ubicación del generador 7.....	63
Figura 57. AC Load Flow, unbalance 3 phase (ABC) con la propuesta.....	63
Figura 58. Resultados de la simulación del flujo de carga.....	64
Figura 59. Resultados de flujos de carga en la subestación E404339.....	65
Figura 60. Resultados de flujos de carga en la subestación E404394.....	65
Figura 61. Resultados de flujos de carga en la subestación E404350 y E404777	66
Figura 62. Resultados de flujos de carga en la subestación E430154 y E404818	66
Figura 63. Resultados de flujos de carga en la subestación E404395.....	67
Figura 64. Resultados de flujos de carga con la propuesta en la subestación del circuito alimentador A4211.....	69
Figura 65. Resultados de los niveles de tensión en los terminales del circuito alimentador A4211 con la propuesta	69
Figura 66. Resultados de los niveles de cargabilidad en las redes eléctricas del circuito alimentador A4211 con la propuesta	70

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar la generación distribuida para mejorar los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

El sistema eléctrico Parque Industrial evidenció que en los extremos del circuito alimentador en media tensión A4211, son niveles de tensión por debajo que exige la normatividad peruana, dentro de ese contexto se planteó analizar la implementación de GD en el sistema.

La tesis se justifica en lo práctico porque el análisis de la GD permitiría solucionar el problema de la investigación y se tendrá una mejor calidad de energía eléctrica en la zona de estudio. También se justifica en lo metodológico porque la tesis se realizó mediante un procedimiento de análisis de la implementación de generación distribuida para solucionar el problema de la investigación. Además, presenta una justificación social, al proponer la implementación de GD en el sistema eléctrico y beneficiar en la calidad de producto eléctrico.

La investigación logra una mejora en los niveles de tensión en las 350 terminales en el circuito alimentador A4211 del sistema eléctrico Huancayo. El tipo de generación distribuida seleccionada es el tipo fotovoltaico teniendo como recurso energético solar en la zona de los valores de 5,5 a 6,5 kWh/m². La ubicación de los generadores fotovoltaicos se realizó de acuerdo con la necesidad de carga en la zona donde se simuló su implementación.

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze distributed generation to improve the voltage levels in the A4211 feeder in the Huancayo electrical system.

The Parque Industrial electrical system evidenced that at the ends of the medium voltage feeder circuit A4211 voltage levels below that required by Peruvian regulations, within this context it was proposed to analyze the implementation of DG in the system.

The thesis is justified in practice because the analysis of the DG would allow solving the research problem and there will be a better quality of electrical energy in the study area. It is also methodologically justified because in the thesis it was carried out through an analysis procedure of the implementation of distributed generation to solve the research problem. In addition, it presents a social justification of the thesis because when proposing the implementation of DG in the electrical system and benefiting the quality of the electrical product.

The investigation achieves an improvement in the voltage levels in the 350 terminals in the A4211 feeder circuit of the Huancayo electrical system. The type of distributed generation selected is the photovoltaic type, with values from 5.5 to 6.5 kWh/m² as a solar energy resource in the area. The location of the photovoltaic generators was carried out according to the need for charging in the area in which its implementation was simulated.

INTRODUCCIÓN

La GD es la generación de energía eléctrica cercana al consumo o cargas, esta tecnología se desarrolló en las últimas décadas en los países desarrollados, proyectándolos como alternativa dentro del suministro de energía en un sistema eléctrico, esto debido a que su inclusión a los sistemas eléctricos tiene muchas ventajas económicas y técnicas.

En los países desarrollados como Estados Unidos ya son una realidad estos tipos de generación por ser soluciones viables tanto en lo técnico y en lo económico, beneficiando al consumidor final, reduciendo las interrupciones del servicio eléctrico, mejorando la confiabilidad del suministro y aumentando la calidad de energía eléctrica.

En Perú, actualmente, el tema de generación distribuida está pasando por un proceso de implementación de la norma para su posterior implementación en los sistemas eléctricos.

La finalidad de la investigación es facilitar la comprensión de la implementación de la generación distribuida en los sistemas eléctricos de distribución, dada la futura importancia para los sistemas eléctricos.

La presente investigación presenta principalmente cuatro capítulos: el primer capítulo muestra la caracterización del problema de investigación. El segundo capítulo presenta el marco teórico de la investigación. En el tercer capítulo está la metodología de la investigación y, por último, en el cuarto capítulo se presentan los datos y los resultados de la investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones, lista de referencias y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

El sistema eléctrico peruano, en la actualidad, se divide en tres subsistemas: la generación, transmisión y distribución. La generación esta encargada de transformar cualquier tipo de energía eléctrica, la transmisión se encarga de transportar la energía eléctrica a los centros de transformación de las empresas concesionarias quienes son las encargadas de distribuir y comercializar la energía eléctrica.

Las empresas concesionarias de distribución de la energía eléctrica son supervisadas a su vez por un ente regulador tomando como referencia a la norma técnica de calidad de servicios eléctricos, en donde se les exige el cumplimiento de cuatro aspectos de calidad de energía eléctrica. El aspecto de calidad de producto eléctrico exige un nivel de tensión adecuado.

En la ciudad de Huancayo existen varios sistemas eléctricos en cargados de suministro de la energía eléctrica a los pobladores del valle del Mantaro, uno de ellos es el sistema eléctrico de la subestación de Parque Industrial, donde se evidenció que en los extremos del circuito alimentador en media tensión A4211 se presentaban niveles de tensión por debajo que exige la normatividad peruana. Estos niveles de tensión por debajo de lo que establece la norma técnica de calidad de servicios eléctricos traen como consecuencia penalidades por no cumplir la norma.

Por lo tanto, en la presente tesis se tiene como finalidad analizar la implementación de la generación distribuida para mejorar los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

1.1.2. Formulación del problema

El planteamiento del problema permitió la formulación:

1.1.2.1. Problema general

El problema general se identificó de acuerdo con el planteamiento, teniendo como problema general:

¿Cómo mejorar los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo?

1.1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el tipo de generación distribuida a implementar en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo?

¿Cuáles son las ubicaciones de los generadores en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo?

1.2. Objetivos

Teniendo identificado los problemas de la investigación se plantearon los objetivos:

1.2.1. Objetivo general

Analizar la generación distribuida para mejorar los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el tipo de generación distribuida a implementar en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

Ubicar la generación distribuida para mejorar los niveles de tensión en el generador en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

1.3. Justificación e importancia

La justificación e importancia de la tesis menciona las razones del por qué se llevó a cabo la investigación.

1.3.1. Justificación práctica

La tesis se justifica en lo práctico porque el análisis de la generación distribuida permitiría solucionar el problema de la investigación y se tendrá una mejor calidad de energía eléctrica en la zona de estudio.

1.3.2. Justificación metodológica

La investigación se justifica en lo metodológico porque la tesis se realizó mediante un procedimiento de análisis de la implementación de generación distribuida para solucionar el problema de la investigación.

1.3.3. Justificación social

La investigación social de la tesis se da al proponer la implementación de generación distribuida en el sistema eléctrico y beneficiar en la calidad de producto eléctrico.

1.3.4. Importancia

La presente tesis adquiere la importancia porque permitió realizar el análisis de la implementación de la generación distribuida y esto permitirá, en el tiempo, tener como referencia el comportamiento del sistema.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

En cuanto a las hipótesis, son aseveraciones de la relación de las variables que reflejan la realidad de un hecho. Para ello también se identifica y se presenta la descripción de las variables de la investigación.

1.4.1. Hipótesis general

El análisis de la generación distribuida mejora los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

1.4.2. Hipótesis específicas

La generación fotovoltaica mejora los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

La ubicación de la generación distribuida mejora los niveles de tensión en el generador en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

1.4.3. Descripción de variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variables		Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Análisis de la generación distribuida	Es la simulación de la instalación de la generación de energía eléctrica cerca a la carga.	Generación fotovoltaica	kW
			Ubicación de la generación fotovoltaica	Ubicación en el plano
Variable dependiente	Niveles de tensión	Es una medida estandarizada del voltaje eléctrico	Nivel de voltaje	+/- 5 Vn

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Castillo (1) con su tesis «Análisis de estabilidad de tensión en redes de distribución con generación distribuida».

Saldaña (2) con su tesis «Estudio y análisis de estabilidad de tensión para un sistema de generación distribuida en una red de media tensión».

Isidoro (3) con su tesis «Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica».

2.1.2. Antecedentes nacionales

Huillcas (4) con su tesis «Diseño de generación distribuida empleando paneles solares fotovoltaicos y efectos en calidad de energía sobre la red de baja tensión».

Gutiérrez (5) con su tesis «Análisis del impacto de la introducción de la generación distribuida en las redes de distribución eléctrica de la unidad de negocios Chiclayo-Electronorte S. A. de la región de Lambayeque».

Escalante (6) con su tesis «Diseño de un sistema de generación distribuida para autoconsumo en el distrito de Soritor, provincia de Moyobamba en San Martín».

2.1.3. Antecedentes regionales

Ordaya (7) con su tesis «Mejoramiento de la confiabilidad implantando un sistema de generación distribuida en los sistemas eléctricos críticos de la empresa Electrocentro S. A.».

Arauco (8) con su tesis «Energía sustentable mediante la generación distribuida basada en vórtice gravitacional para poblaciones alejadas del alimentador A4027 de la subestación San Francisco».

Araujo (9) con su tesis «Análisis de la generación distribuida y su tratamiento regulatorio en el Perú».

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Generación distribuida

La generación distribuida es conocida como generación en un lugar cercano a la carga, «se caracteriza por un sistema interconectado y requiere altas inversiones en plantas de generación de energía eléctrica y líneas de transmisión. Asimismo, la generación distribuida se caracteriza por ser de pequeña escala» (10, p. 2).



Figura 1. Generación distribuida

2.2.2. Las ventajas de la generación distribuida

Esta generación distribuida es caracterizada por conexas directamente a los sistemas de distribución y las ventajas de:

- Reducir la congestión.
- Reduce las pérdidas en el sistema eléctrico.
- Reduce la inversión de los proyectos e implementación de las líneas de transmisión.

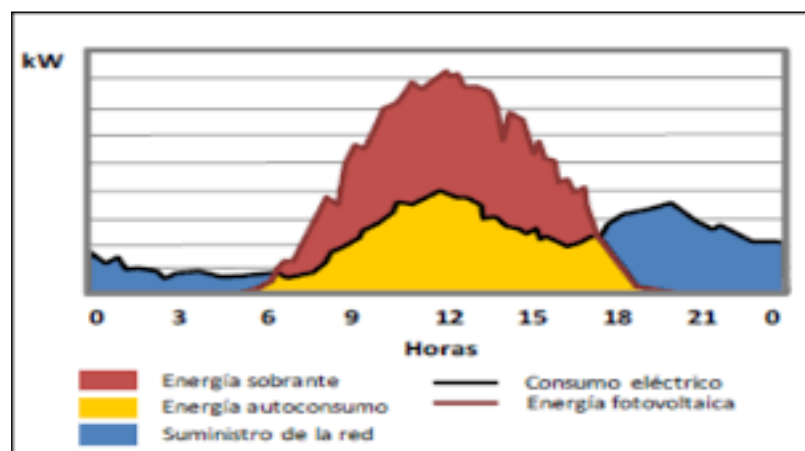
- Mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico.
- Mejora el control de la potencia.
- Disminuye la dependencia externa y crea una red más resistente.

2.2.3. Aplicación de la generación distribuida

La generación de la distribución tiene tres mecanismos: el autoconsumo, medición y facturación netas.

2.2.3.1. El autoconsumo

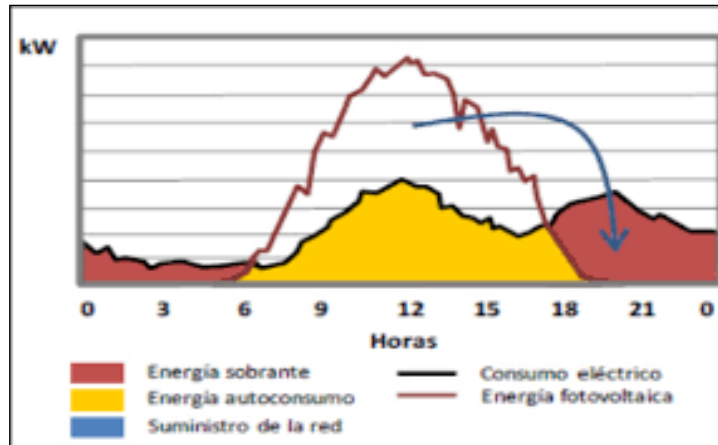
La generación de energía eléctrica es consumida en el mismo instante.



*Figura 2. Autoconsumo
Tomada de CITE Energía*

2.2.3.2. Medición neta

Se considera que los excedentes que producen los generadores distribuidos inyectados al sistema van a permitir obtener un crédito para utilizarse en un futuro. Esto se puede reflejar con las lecturas de un medidor bidireccional.



*Figura 3. Medición neta
Tomada de CITE Energía*

2.2.3.3. Facturación neta

La facturación permite los generadores distribuidos que tiene excedentes en la empresa concesionaria e inyectando la energía excedente al sistema eléctrico.

2.2.4. Marco normativo del sistema eléctrico en el Perú

El marco normativo en el Perú, desde el inicio de la promulgación con la ley de concesiones eléctricas D. L. 25844.

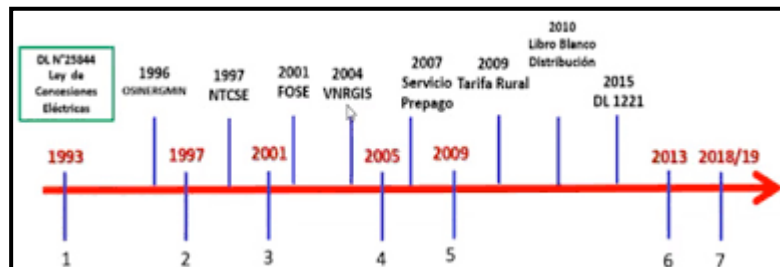


Figura 4. Línea de tiempo del marco normativo de la GD

De acuerdo con la línea de tiempo aún no existe una normativa que regule la generación distribuida. Pero si el Minem (Ministerio de Energía y Minas) tiene un proyecto de resolución N.º 292-2018-MEM/DM, que menciona a la generación distribuida.

Característica	Mediana Generación Distribuida (MGD)	Microgeneración distribuida (MCD)
Tipo de persona	Natural o jurídica	Natural o jurídica
Capacidad	Entre 200 kW y 10 MW	200 kW como máximo
Conexión a la red de distribución	En Media Tensión	En Baja Tensión o Media Tensión
Estudio de Conexión	Elaborado por el interesado o la Empresa de Distribución Eléctrica (EDE)	Elaborado por la EDE
Costos de adaptación de la red / inversiones	Financiados por el interesado	Financiados por el interesado
Comercialización para usuarios regulados	Puede vender la energía a EDE para usuarios regulados (mediante contrato de suministro)	No se permite la venta. Funciona con excedentes que generan un crédito utilizado a cargo del consumo en siguientes meses. Límite para el crédito es de un año calendario
Comercialización para usuarios libres	Sí (mediante contrato de suministro)	No

Figura 5. Características de la generación distribuida

2.3. Niveles de tensión

Los niveles de tensión eléctrica de acuerdo con la normatividad peruana son las siguientes:

Tabla 2. Niveles de tensión normalizadas

Baja tensión	Alta tensión
380/220 V	60 kV
440/220 V	138 kV
	220 kV
Media tensión	Muy alta tensión
20 kV	500 kV
22,9 kV	
33 kV	
22.9/13.2 kV	
33/19 kV	

2.4. Norma técnica de calidad de servicios eléctricos

Esta normatividad es muy importante porque en base a esta norma se fija las tolerancias máximas y mínimas de los niveles de tensión en los sistemas eléctricos de distribución.

Referente a la norma toma en consideración cuatro aspectos:

- La calidad de producto eléctrico
- La calidad de suministro eléctrico
- La calidad de servicio comercial
- La calidad de alumbrado público

2.4.1. La calidad de producto eléctrico

La norma técnica especifica que «la calidad de producto al cliente se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega. El control de la calidad de producto se lleva a cabo en períodos mensuales, denominados períodos de control» (11, p. 11).

También, la norma indica «que el lapso mínimo de medición de un parámetro es de siete días calendarios continuos, con excepción de la frecuencia cuya medición es permanente durante el período de control. A estos períodos se les denomina períodos de medición» (11, p. 11).

En el periodo de medición, los valores instantáneos son medidos y promediados por intervalos de 15 min para los voltajes y de la frecuencia de intervalos de 10 min.

La norma verifica la tensión, frecuencia y perturbaciones.

2.4.1.1. Tensión

El indicador para la evaluación de la entrega de la tensión es la diferencia entre la media de los valores eficaces entre el valor de la tensión.

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N \cdot 100\%$$

2.4.1.2. Frecuencia

El indicador de la frecuencia es la diferencia entre la entrega media de los valores instantáneos de la frecuencia, medidos en cualquier punto de la red.

$$\Delta f_k (\%) = (f_k - f_N) / f_N \cdot 100\%$$

2.4.1.3. Perturbaciones

Las perturbaciones que evalúa la NTCSE son los *flickers* y armónicas.

Flicker

El índice de severidad por *flickers* de corta duración Pst.

Armónicas

Las tensiones armónicas (V_i) y el factor de distorsión total por armónicos (THD).

$$\text{THD} = (\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i^2 / V_N^2)}) \cdot 100\%$$

V_i : es el valor eficaz (RMS) de la tensión armónica "i" (para $i = 2 \dots 40$) expresada en Voltios.

V_n : es la tensión nominal del punto de medición expresada en Voltios.

Tabla 3. Tolerancias de armónicas

Orden de la armónica	Tolerancias V_i o THD	
	Alta y muy alta tensión	Media y baja tensión
3	1.5	5.0
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
9	1.0	1.5
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
15	0.3	0.3
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
21	0.2	0.2
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5

2.4.2. La calidad de suministro eléctrico

La calidad de suministro se expresa en función a la continuidad de servicio eléctrico.

Los indicadores de la calidad de suministro son:

- Número total de interrupciones por cliente por semestre (N)
 - Clientes en muy alta tensión y alta tensión: 2 interrupciones por semestre
 - Clientes en media tensión: 4 interrupciones por semestre
 - Clientes en baja tensión: 6 interrupciones por semestre
- Duración de interrupciones por cliente (D)
 - Clientes en muy alta tensión y alta tensión: 4 horas por semestre
 - Clientes en media tensión: 7 horas por semestre
 - Clientes en baja tensión: 10 horas por semestre

2.4.3. La calidad de servicio comercial

Referente a la calidad de servicio comercial se evalúa tres aspectos:

- Trato al cliente
- Medios a disposición del cliente
- Precisión de medida de la energía facturada

2.4.4. Calidad de alumbrado

$$I(\%) = (I/L) \cdot 100\%$$

2.5. Definición de términos básicos

GD

Según EPA es diversidad de tecnología que van a generar energía eléctrica.

EPA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

Nivel de tensión

Es una medida estandarizada del voltaje eléctrico.

Alimentador

Es un circuito eléctrico que suministra energía eléctrica en el nivel de media tensión.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método de la investigación

El método de la investigación en general es el método científico, para el caso de esta investigación es el método analítico. «Este proceso cognoscitivo consiste en descomponer un objeto de estudio, separando cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual» (12).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es cuasiexperimental porque tiene la siguiente característica:

Este diseño se presenta con un solo grupo de medición antes y después de la variable Niveles de tensión.

Esquema: G X O1

X: variable independiente (análisis de generación distribuida)

O1: medición antes (análisis) en grupo objeto de estudio

O1: medición después (análisis) en grupo objeto de estudio

G: grupo objeto de estudio (alimentador A4211)

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de la investigación es circuito eléctrico en media tensión de codificación A4211.

3.3.2. Muestra

Para la investigación la muestra es el circuito de media tensión A4211.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la investigación científica existen variedades de técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnica de recolección de datos

La técnica de recolección de datos es la documental, esta técnica está basada en las fichas bibliográficas (12).

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de los datos es la ficha bibliográfica.

Según Bernal (12) «no existe duda sobre las posibilidades que hoy ofrece Internet como una técnica de obtener información; es más, se ha convertido en uno de los principales medios para recabar información» (p. 194).

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Modelamiento del sistema eléctrico en estudio

El sistema eléctrico del circuito alimentador A4211 fue representado o modelado en el software *Power Factory Digsilent 15.1.7*.

Los principales elementos modelados fueron la red equivalente, barras, transformadores de potencia, redes de media tensión, terminales y subestaciones de distribución.

4.1.1.1. Red equivalente

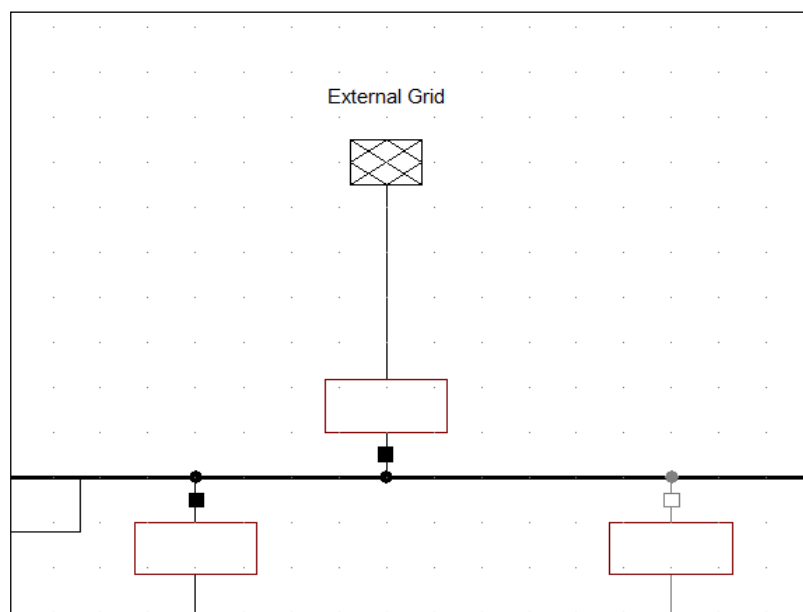


Figura 6. Red equivalente

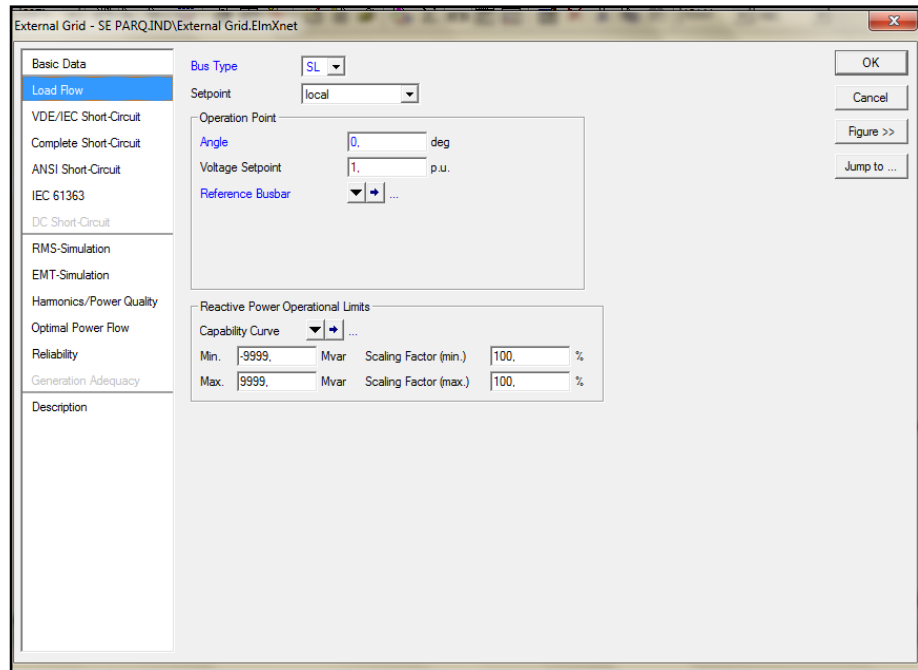


Figura 7. Parámetros de voltaje de la red equivalente

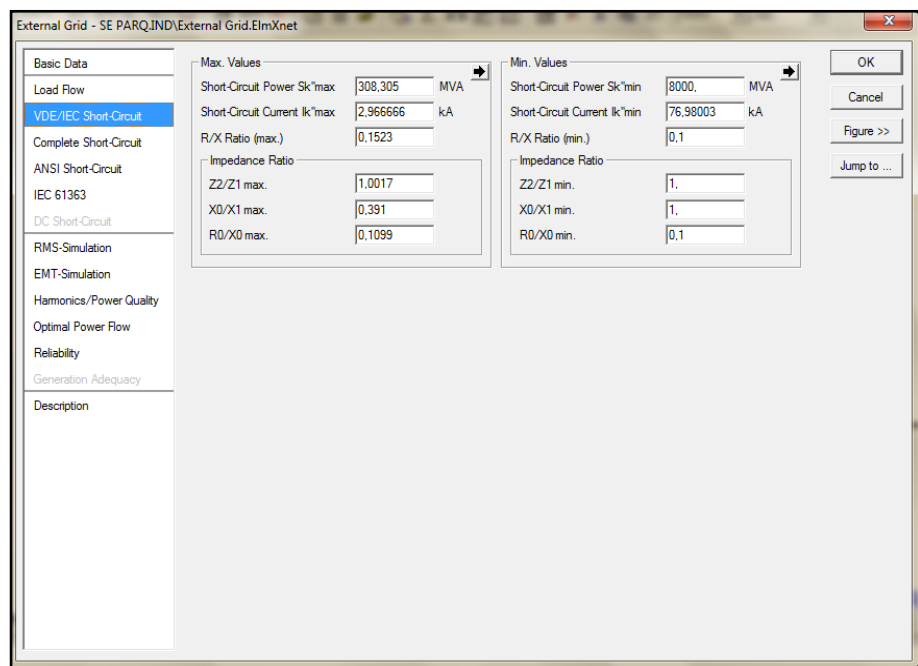


Figura 8. Parámetros de potencia y corriente cortocircuito de la red equivalente

4.1.1.2. Transformador y barras de conexión

Se representó el transformador de la subestación Parque Industrial y las barras donde se conectan la red equivalente y el circuito alimentador.

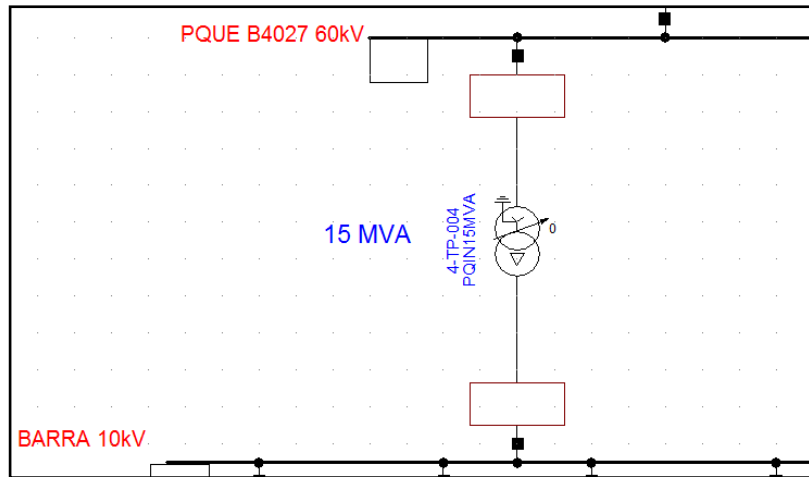


Figura 9. Representación de transformador y barras (60,10 kV)

Transformador

The screenshot shows a software dialog box titled "Terminal - SE PARQ.IND\PQUE B4027 60kV.ElmTerm". The "Basic Data" tab is selected. The dialog contains the following information:

- Name: PQUE B4027 60kV
- Type: [Dropdown]
- Zone: [Dropdown]
- Area: [Dropdown]
- Out of Service
- System Type: AC
- Usage: Busbar
- Phase Technology: ABC
- Nominal Voltage:
 - Line-Line: 60 kV
 - Line-Ground: 34,64102 kV
- Earthed

Buttons for "OK", "Cancel", "Jump to ...", and "Cubicles" are visible on the right side.

Figura 10. Niveles de tensión del transformador

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\PQIN15MVA.TypTr2

Basic Data	Name	PQIN15MVA	OK
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	15. MVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz	
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group
IEC 61363	HV-Side	60. kV	HV-Side YN
DC Short-Circuit	LV-Side	10. kV	LV-Side D
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	11.747 %	5. *30deg
Harmonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW	Name YNd5
Protection	Zero Sequence Impedance		
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	11.747 %	
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %	
Generation Adequacy			
Description			

Figura 11. Parámetros del transformador

Barras

Terminal - SE PARQ.IND\PQUE B4027 60kV.ElmTerm

Basic Data	Name	PQUE B4027 60kV	OK
Load Flow	Type	...	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Zone	...	Jump to ...
Complete Short-Circuit	Area	...	Cubicles
ANSI Short-Circuit	<input type="checkbox"/> Out of Service		
IEC 61363	System Type	AC	Usage Busbar
DC Short-Circuit	Phase Technology	ABC	
RMS-Simulation	Nominal Voltage		
EMT-Simulation	Line-Line	60. kV	
Harmonics/Power Quality	Line-Ground	34,64102 kV	
Protection	<input type="checkbox"/> Earthed		
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Tie Open Point Opt.			
Description			

Figura 12. Barra de 60 kV

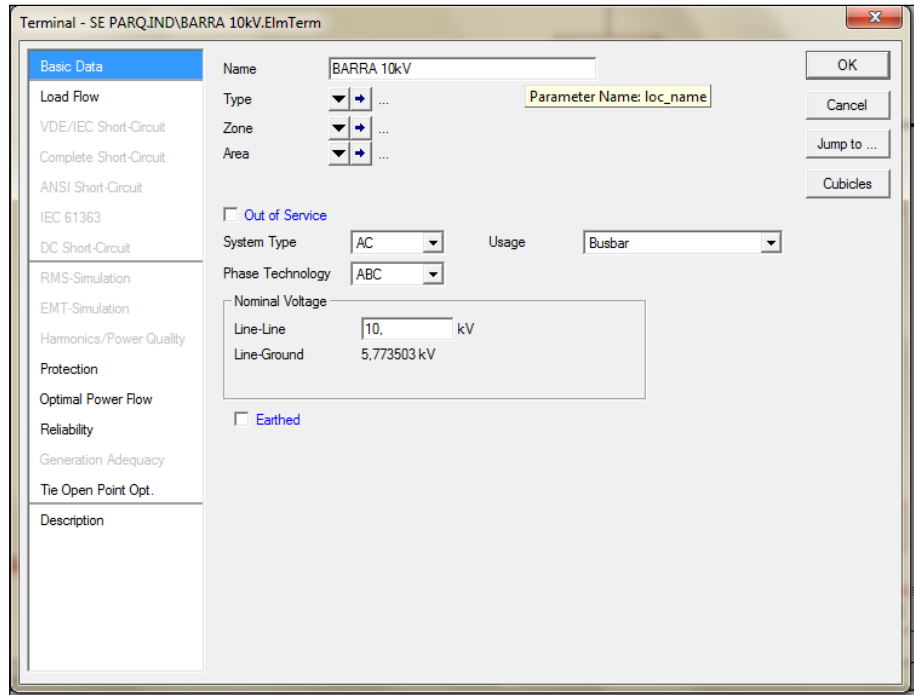


Figura 13. Barra de 10 kV

4.1.1.3. Redes y cargas

Se representó el transformador de la subestación Parque Industrial y las barras donde se conectan la red equivalente y el circuito alimentador.

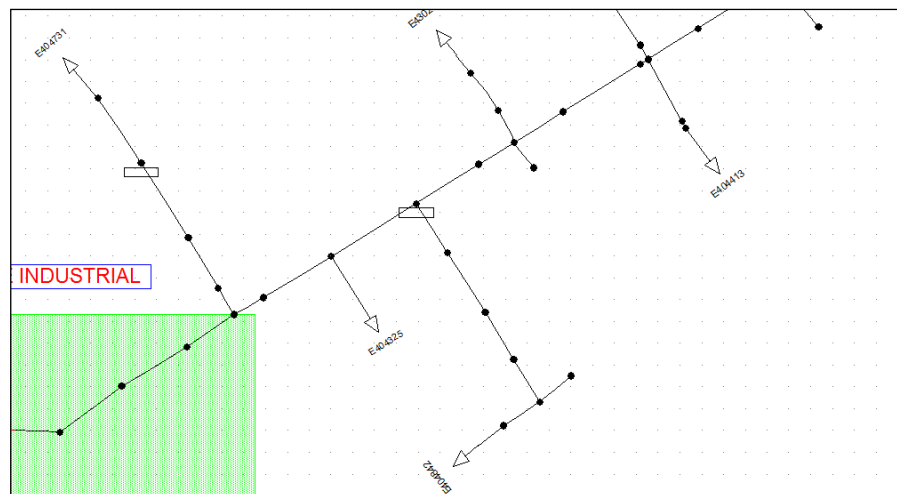


Figura 14. Redes y cargas

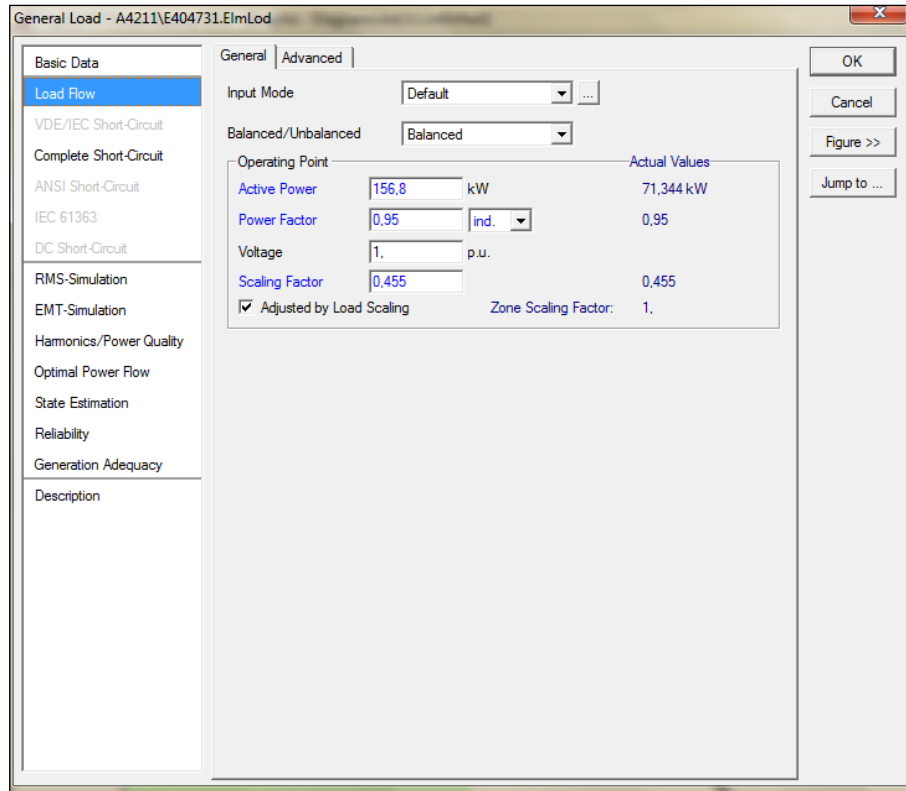


Figura 15. Modelamiento de las cargas

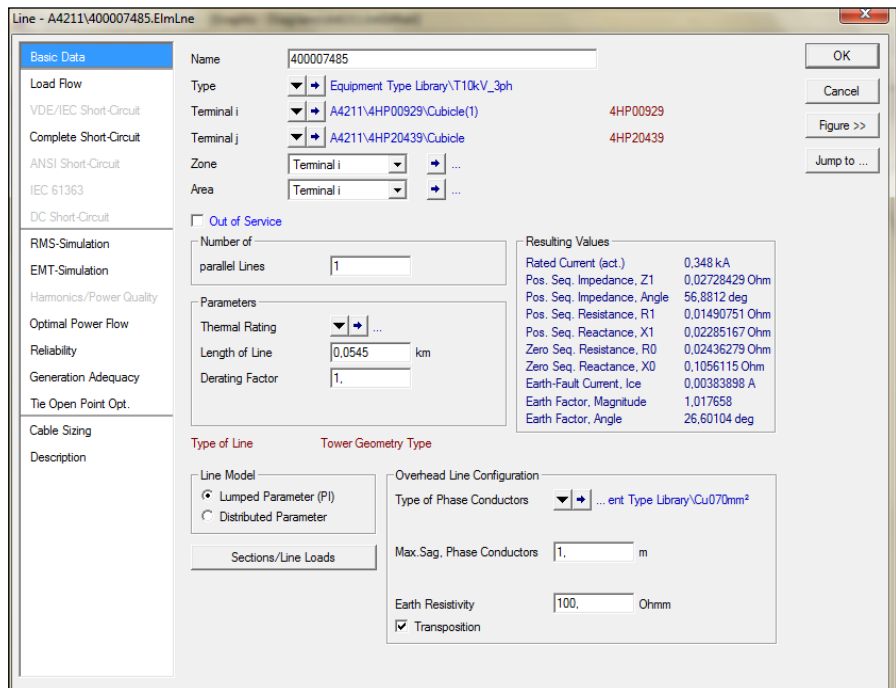


Figura 16. Modelamiento de las redes

4.1.1.4. Diagrama unifilar

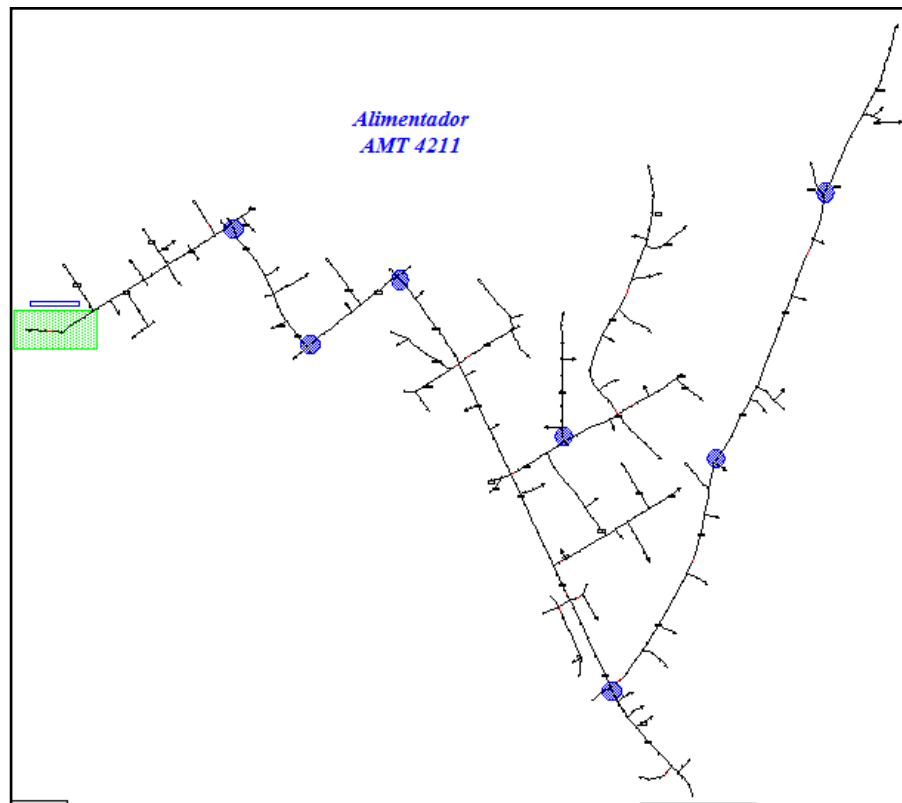


Figura 17. Diagrama unifilar

4.1.2. Cargas instaladas

Las cargas instaladas tienen un total de 65 subestaciones y un total de 5858,44 kW de potencia activa, 1925,58 kVAR de potencia reactiva, 6166,78 kVA de potencia aparente y con un factor de potencia 0,95.

Tabla 4. Potencia de las cargas instaladas

Name	Grid	Terminal	Act. pow.	React. pow.	App. pow.	Pow. fact.
		Busbar	kW	kVAR	kVA	
E404071	A4211	4HP25513	392,00	128,84	412,63	0,95
E404233	A4211	400000724	147,00	48,32	154,74	0,95
E404234	A4211	4HP34405	105,84	34,79	111,41	0,95
E404289	A4211	4HP22380	122,50	40,26	128,95	0,95
E404290	A4211	4HP30088	98,00	32,21	103,16	0,95
E404291	A4211	4HP20479	98,00	32,21	103,16	0,95
E404298	A4211	4HP00957	98,00	32,21	103,16	0,95
E404303	A4211	4HP20441	73,50	24,16	77,37	0,95
E404318	A4211	4HP25572	156,80	51,54	165,05	0,95
E404324	A4211	4HP21541	98,00	32,21	103,16	0,95
E404325	A4211	4HP20439	49,00	16,11	51,58	0,95
E404330	A4211	4HP22372	156,80	51,54	165,05	0,95
E404332	A4211	4HP37962	73,50	24,16	77,37	0,95

E404336	A4211	4HP20469	73,50	24,16	77,37	0,95
E404337	A4211	4HP25752	43,12	14,17	45,39	0,95
E404338	A4211	4HP30588	49,00	16,11	51,58	0,95
E404339	A4211	4HP21135	36,75	12,08	38,68	0,95
E404340	A4211	4HP27052	73,50	24,16	77,37	0,95
E404341	A4211	4HP25329	73,50	24,16	77,37	0,95
E404350	A4211	4HP40622	73,50	24,16	77,37	0,95
E404351	A4211	4HP20446	98,00	32,21	103,16	0,95
E404354	A4211	4HP20448	49,00	16,11	51,58	0,95
E404378	A4211	4HP25583	49,00	16,11	51,58	0,95
E404394	A4211	4HP22367	25,48	8,37	26,82	0,95
E404395	A4211	4HP22369	36,75	12,08	38,68	0,95
E404408	A4211	4HP01427	14,70	4,83	15,47	0,95
E404413	A4211	4HP34398	73,50	24,16	77,37	0,95
E404531	A4211	4HP21536	98,00	32,21	103,16	0,95
E404582	A4211	4HP39684	36,75	12,08	38,68	0,95
E404603	A4211	4HP20720	9,80	3,22	10,32	0,95
E404633	A4211	4HP20459	49,00	16,11	51,58	0,95
E404636	A4211	4HP35428	98,00	32,21	103,16	0,95
E404637	A4211	4HP27940	98,00	32,21	103,16	0,95
E404668	A4211	4HP21444	98,00	32,21	103,16	0,95
E404696	A4211	4HP34640	98,00	32,21	103,16	0,95
E404699	A4211	4HP24175	98,00	32,21	103,16	0,95
E404731	A4211	4HP24256	156,80	51,54	165,05	0,95
E404777	A4211	4HP27541	156,80	51,54	165,05	0,95
E404796	A4211	4HP27605	49,00	16,11	51,58	0,95
E404815	A4211	4HP28593	98,00	32,21	103,16	0,95
E404817	A4211	4HP28605	156,80	51,54	165,05	0,95
E404818	A4211	4HP28608	49,00	16,11	51,58	0,95
E404820	A4211	4HP28615	98,00	32,21	103,16	0,95
E404829	A4211	4HP28700	36,75	12,08	38,68	0,95
E404842	A4211	4HP28914	49,00	16,11	51,58	0,95
E404844	A4211	4HP28923	49,00	16,11	51,58	0,95
E404847	A4211	4HP28918	49,00	16,11	51,58	0,95
E404853	A4211	4HP40626	49,00	16,11	51,58	0,95
E404890	A4211	4HP31384	156,80	51,54	165,05	0,95
E404957	A4211	4HP32475	98,00	32,21	103,16	0,95
E404958	A4211	4HP32478	73,50	24,16	77,37	0,95
E404959	A4211	4HP37627	49,00	16,11	51,58	0,95
E404960	A4211	4HP32496	73,50	24,16	77,37	0,95
E404961	A4211	400062846	98,00	32,21	103,16	0,95
E404962	A4211	4HP32485	98,00	32,21	103,16	0,95
E404963	A4211	4HP32512	98,00	32,21	103,16	0,95
E430014	A4211	4HP40624	156,80	51,54	165,05	0,95
E430015	A4211	4HP33996	156,80	51,54	165,05	0,95
E430040	A4211	4HP35946	73,50	24,16	77,37	0,95

E430067	A4211	4HP36029	156,80	51,54	165,05	0,95
E430090	A4211	4HP36089	49,00	16,11	51,58	0,95
E430103	A4211	4HP36917	73,50	24,16	77,37	0,95
E430108	A4211	4HP36919	73,50	24,16	77,37	0,95
E430154	A4211	400066941	98,00	32,21	103,16	0,95
E430209	A4211	4HP38964	156,80	51,54	165,05	0,95

Tabla 5. Potencia total de las cargas instaladas

Cantidad	Act. pow.	React. pow.	App. pow.	Pow. fact.
SED	kW	kVAR	kVA	
65	5858,44	1925,58	6166,78	0,95

4.1.3. Flujo de carga actual

EL flujo de carga o de potencia se simularon en software Digsilent.

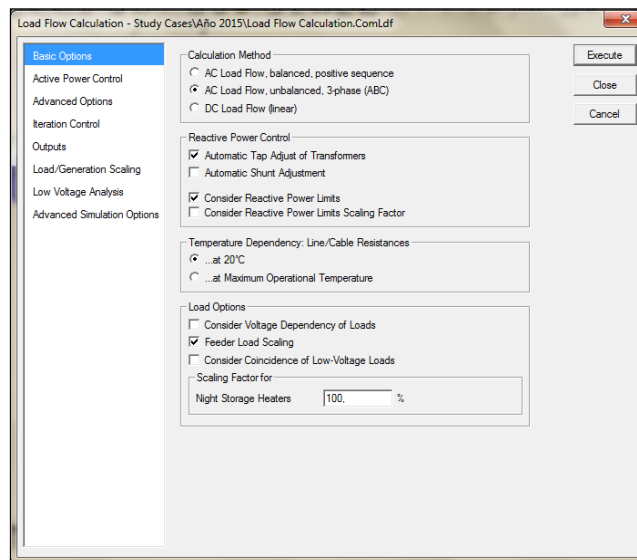


Figura 18. AC Load Flow, unbalance 3 phase (ABC)

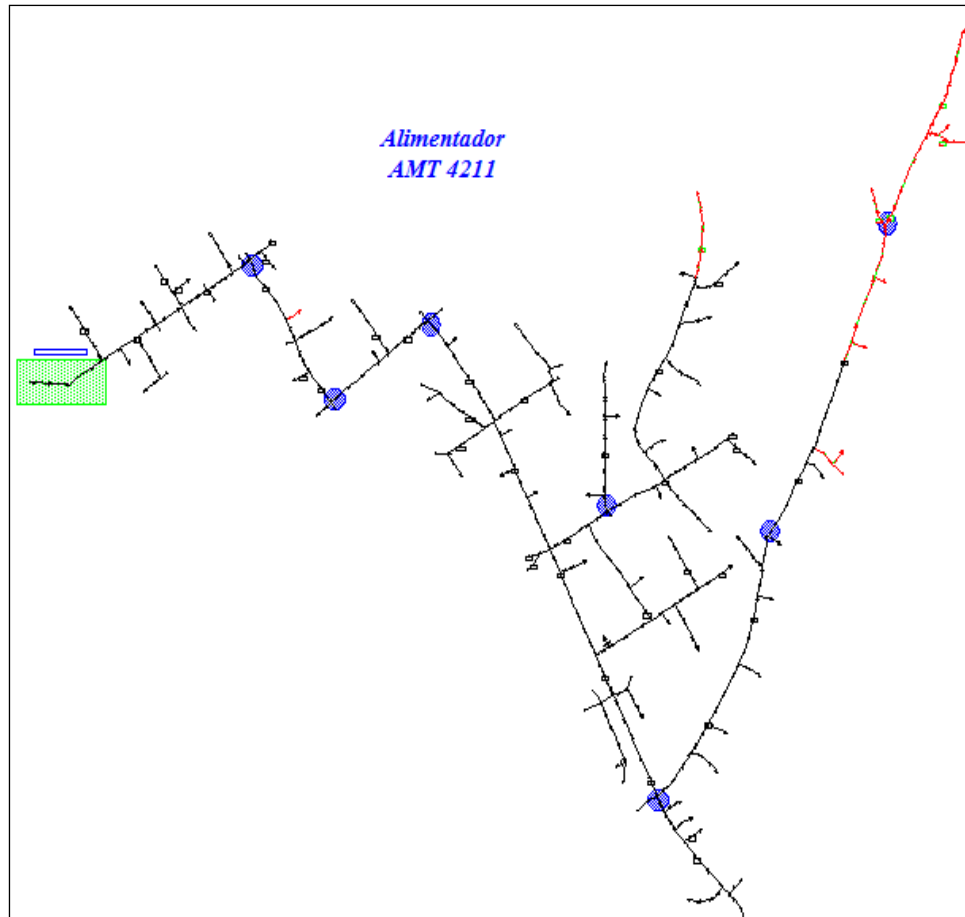


Figura 19. Resultados de la simulación del flujo de carga

De acuerdo con los resultados de la simulación del flujo de carga, se evidencian ocho subestaciones de distribución:

- E404339
- E404394
- E404350
- E404777
- E404394
- E430154
- E404818
- E404395

A continuación, se presenta las caídas de tensión en los extremos del circuito.

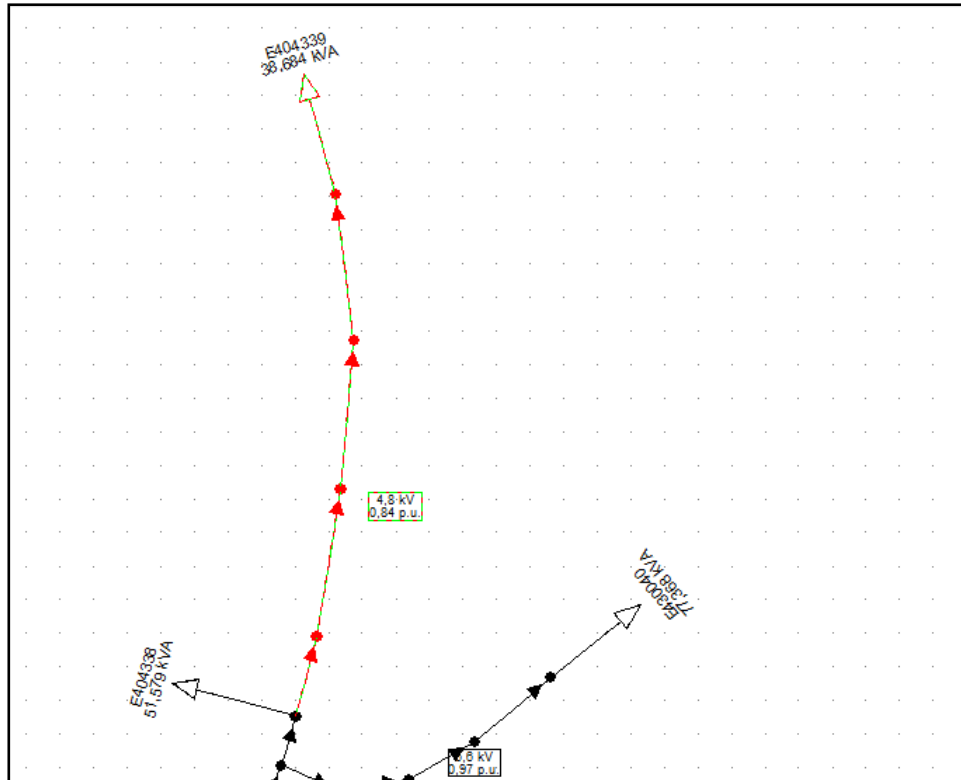


Figura 20. Resultados de flujos de carga en la subestación E404339

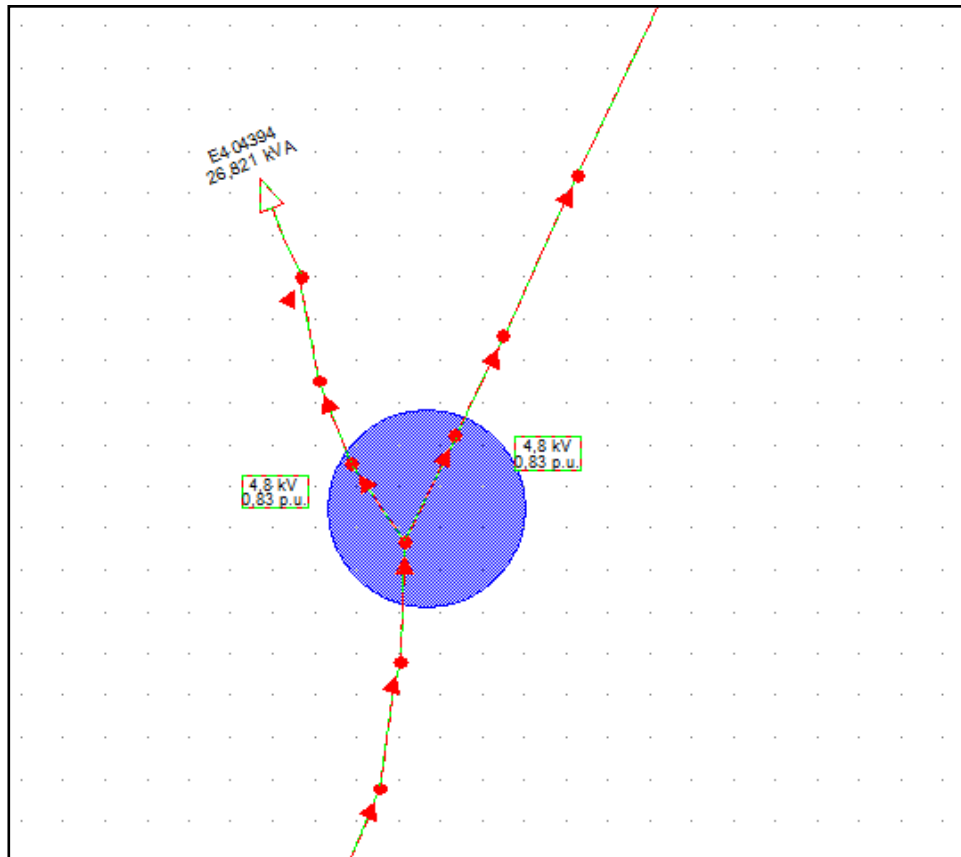


Figura 21. Resultados de flujos de carga en la subestación E404394

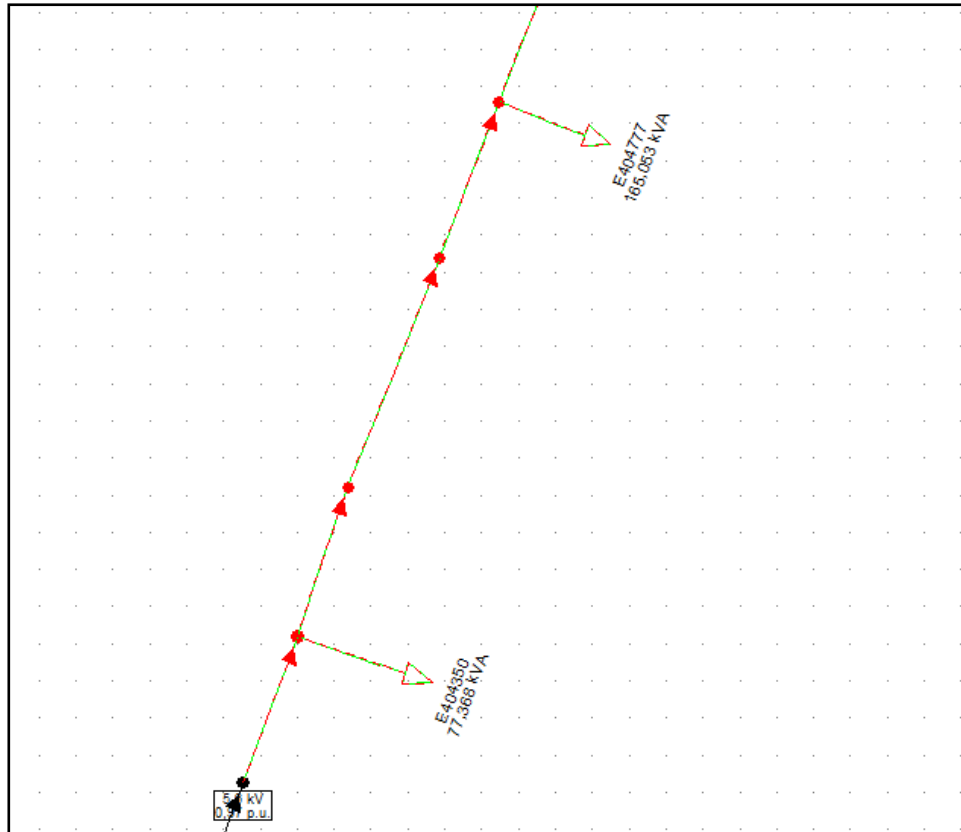


Figura 22. Resultados de flujos de carga en la subestación E404350 y E404777

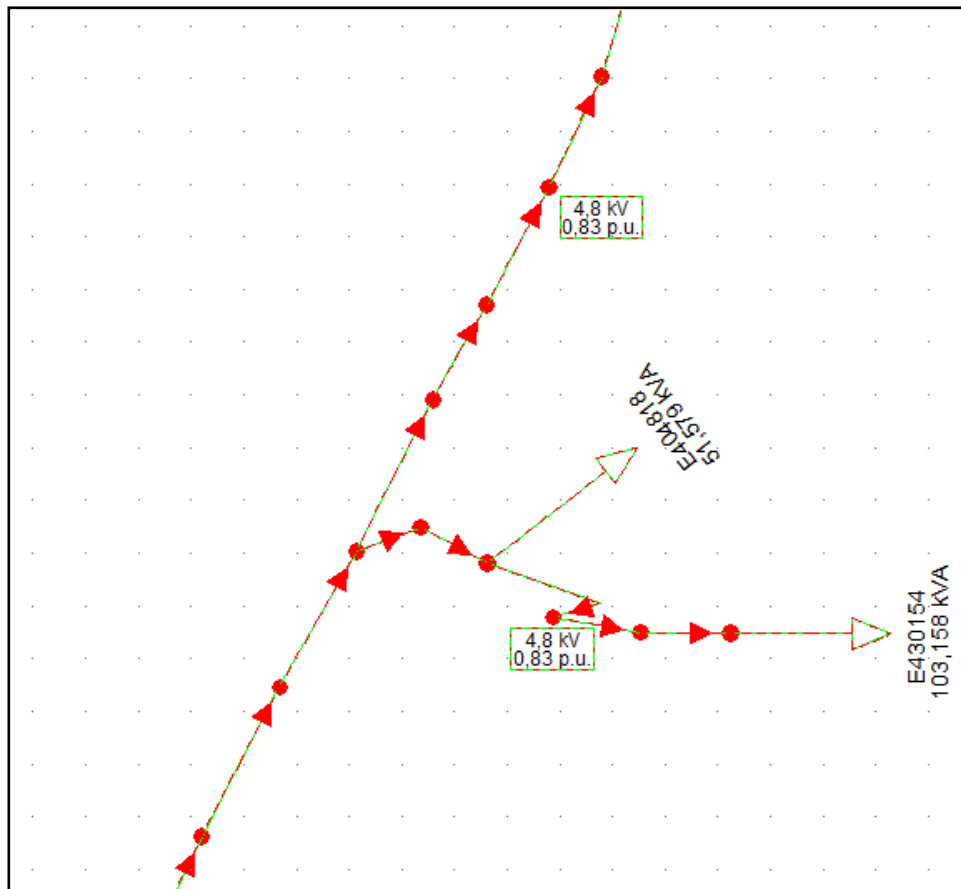


Figura 23. Resultados de flujos de carga en la subestación E430154 y E404818

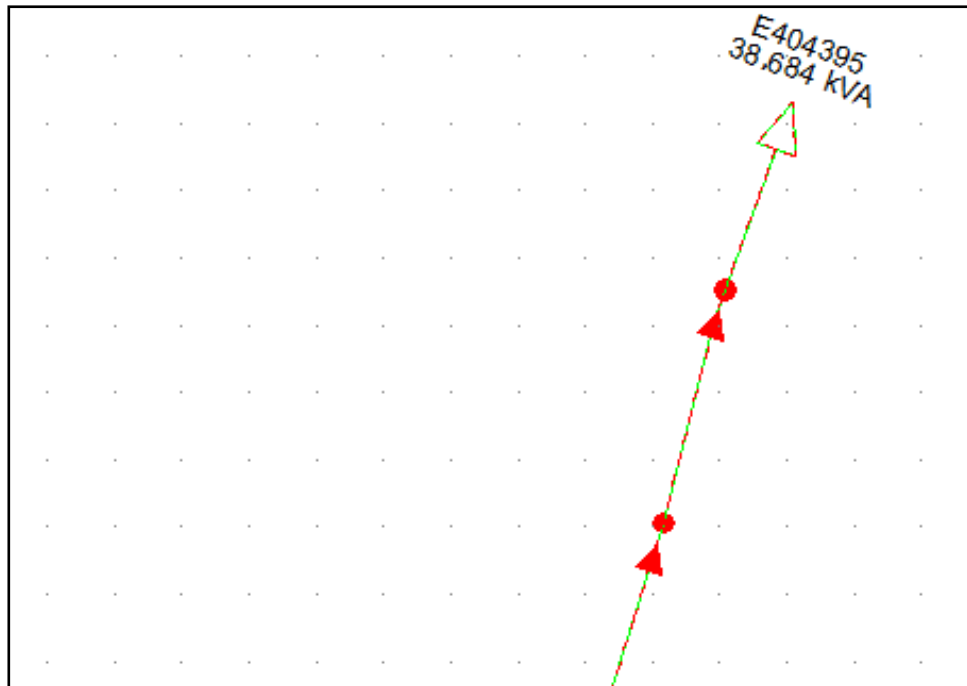


Figura 24. Resultados de flujos de carga en la subestación E404395

Tabla 6. Resultados de flujo de carga actual

Name	Grid	Terminal	Total active power	Total reactive power	Total apparent power	Power factor
		Busbar	kW	kVAR	kVA	
E404071	A4211	4HP25513	178,36	58,62	187,74	0,95
E404233	A4211	400000724	66,88	21,98	70,40	0,95
E404234	A4211	4HP34405	48,16	15,83	50,69	0,95
E404289	A4211	4HP22380	55,74	18,32	58,67	0,95
E404290	A4211	4HP30088	44,59	14,66	46,94	0,95
E404291	A4211	4HP20479	44,59	14,66	46,94	0,95
E404298	A4211	4HP00957	44,59	14,66	46,94	0,95
E404303	A4211	4HP20441	33,44	10,99	35,20	0,95
E404318	A4211	4HP25572	71,34	23,45	75,10	0,95
E404324	A4211	4HP21541	44,59	14,66	46,94	0,95
E404325	A4211	4HP20439	22,29	7,33	23,47	0,95
E404330	A4211	4HP22372	71,34	23,45	75,10	0,95
E404332	A4211	4HP37962	33,44	10,99	35,20	0,95
E404336	A4211	4HP20469	33,44	10,99	35,20	0,95
E404337	A4211	4HP25752	19,62	6,45	20,65	0,95
E404338	A4211	4HP30588	22,29	7,33	23,47	0,95
E404339	A4211	4HP21135	16,72	5,50	17,60	0,95
E404340	A4211	4HP27052	33,44	10,99	35,20	0,95
E404341	A4211	4HP25329	33,44	10,99	35,20	0,95
E404350	A4211	4HP40622	33,44	10,99	35,20	0,95
E404351	A4211	4HP20446	44,59	14,66	46,94	0,95
E404354	A4211	4HP20448	22,29	7,33	23,47	0,95

E404378	A4211	4HP25583	22,29	7,33	23,47	0,95
E404394	A4211	4HP22367	11,59	3,81	12,20	0,95
E404395	A4211	4HP22369	16,72	5,50	17,60	0,95
E404408	A4211	4HP01427	6,69	2,20	7,04	0,95
E404413	A4211	4HP34398	33,44	10,99	35,20	0,95
E404531	A4211	4HP21536	44,59	14,66	46,94	0,95
E404582	A4211	4HP39684	16,72	5,50	17,60	0,95
E404603	A4211	4HP20720	4,46	1,47	4,69	0,95
E404633	A4211	4HP20459	22,29	7,33	23,47	0,95
E404636	A4211	4HP35428	44,59	14,66	46,94	0,95
E404637	A4211	4HP27940	44,59	14,66	46,94	0,95
E404668	A4211	4HP21444	44,59	14,66	46,94	0,95
E404696	A4211	4HP34640	44,59	14,66	46,94	0,95
E404699	A4211	4HP24175	44,59	14,66	46,94	0,95
E404731	A4211	4HP24256	71,34	23,45	75,10	0,95
E404777	A4211	4HP27541	71,34	23,45	75,10	0,95
E404796	A4211	4HP27605	22,29	7,33	23,47	0,95
E404815	A4211	4HP28593	44,59	14,66	46,94	0,95
E404817	A4211	4HP28605	71,34	23,45	75,10	0,95
E404818	A4211	4HP28608	22,29	7,33	23,47	0,95
E404820	A4211	4HP28615	44,59	14,66	46,94	0,95
E404829	A4211	4HP28700	16,72	5,50	17,60	0,95
E404842	A4211	4HP28914	22,29	7,33	23,47	0,95
E404844	A4211	4HP28923	22,29	7,33	23,47	0,95
E404847	A4211	4HP28918	22,29	7,33	23,47	0,95
E404853	A4211	4HP40626	22,29	7,33	23,47	0,95
E404890	A4211	4HP31384	71,34	23,45	75,10	0,95
E404957	A4211	4HP32475	44,59	14,66	46,94	0,95
E404958	A4211	4HP32478	33,44	10,99	35,20	0,95
E404959	A4211	4HP37627	22,29	7,33	23,47	0,95
E404960	A4211	4HP32496	33,44	10,99	35,20	0,95
E404961	A4211	400062846	44,59	14,66	46,94	0,95
E404962	A4211	4HP32485	44,59	14,66	46,94	0,95
E404963	A4211	4HP32512	44,59	14,66	46,94	0,95
E430014	A4211	4HP40624	71,34	23,45	75,10	0,95
E430015	A4211	4HP33996	71,34	23,45	75,10	0,95
E430040	A4211	4HP35946	33,44	10,99	35,20	0,95
E430067	A4211	4HP36029	71,34	23,45	75,10	0,95
E430090	A4211	4HP36089	22,29	7,33	23,47	0,95
E430103	A4211	4HP36917	33,44	10,99	35,20	0,95
E430108	A4211	4HP36919	33,44	10,99	35,20	0,95
E430154	A4211	400066941	44,59	14,66	46,94	0,95
E430209	A4211	4HP38964	71,34	23,45	75,10	0,95

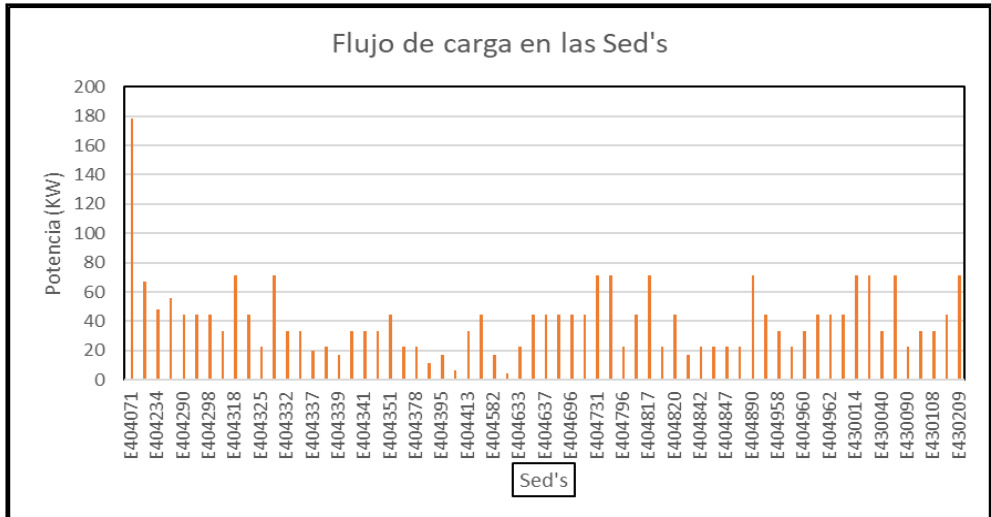


Figura 25. Resultados de flujos de carga en la subestaciones del circuito alimentador A4211

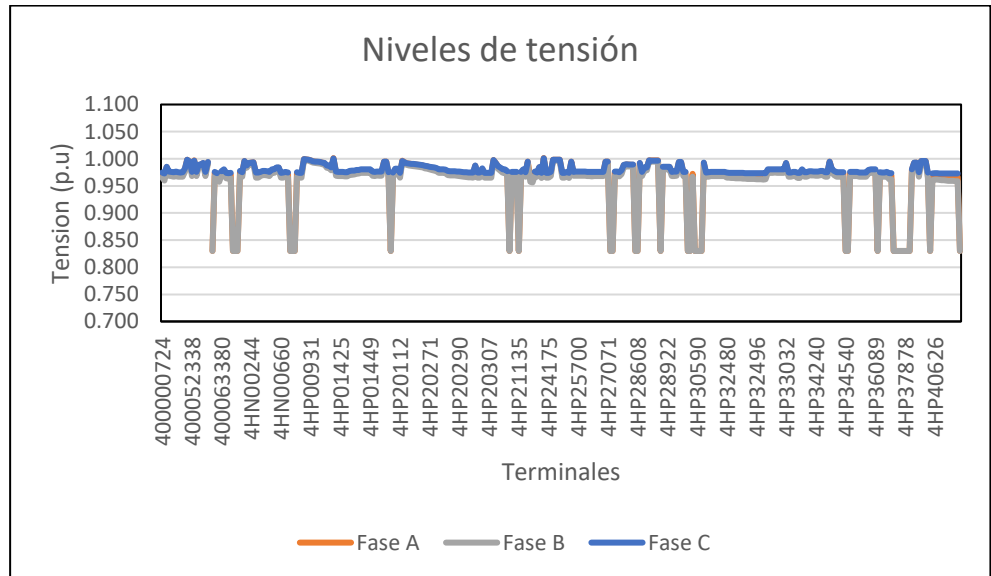


Figura 26. Resultados de los niveles de tensión en los terminales del circuito alimentador A4211

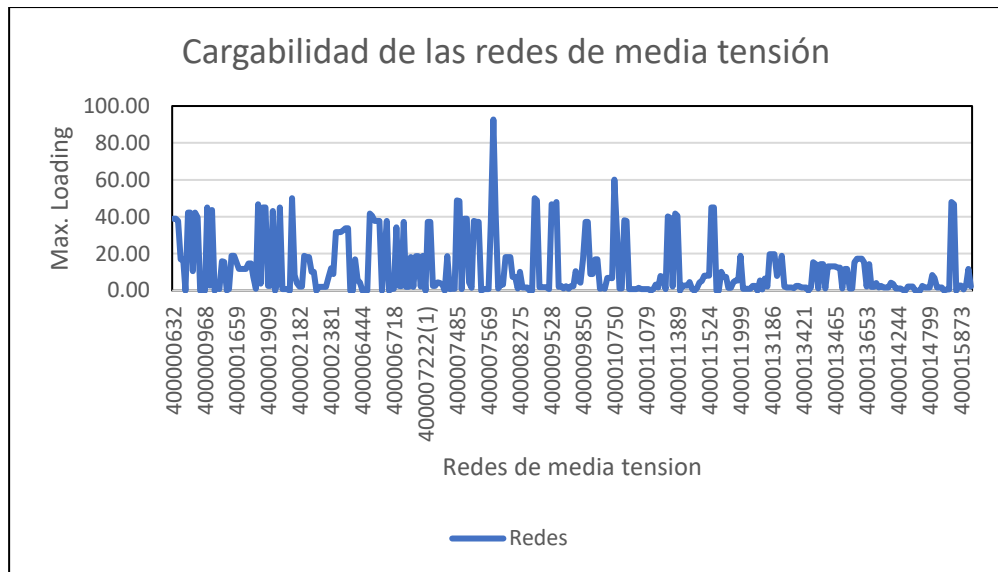


Figura 27. Resultados de los niveles de cargabilidad en las redes eléctricas del circuito alimentador A4211

4.1.4. Evaluación del recurso energético

La evaluación del recurso energético se realizó con el programa *Global Solar Atlas*.

Generador fotovoltaico 1

El generador fotovoltaico 1 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°02'32" S 75°13'29" N, teniendo como niveles de radiación 5,990 kWh/m².

El Tambo

-12.042222°,-075.224722°

Avenida Tahuantinsuyo, El Tambo, Junin, Perú

Time zone: UTC-05, America/Lima [PET]



Bookmark



Share



Reports

SITE INFO

Map data

Per day

Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	5.119 kWh/kWp per day
Direct normal irradiation	DNI	5.990 kWh/m ² per day
Global horizontal irradiation	GHI	6.074 kWh/m ² per day
Diffuse horizontal irradiation	DIF	2.013 kWh/m ² per day
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI _{opta}	6.299 kWh/m ² per day
Optimum tilt of PV modules	OPTA	17 / 0 °
Air temperature	TEMP	10.3 °C
Terrain elevation	ELE	3273 m

Map

Switch to map

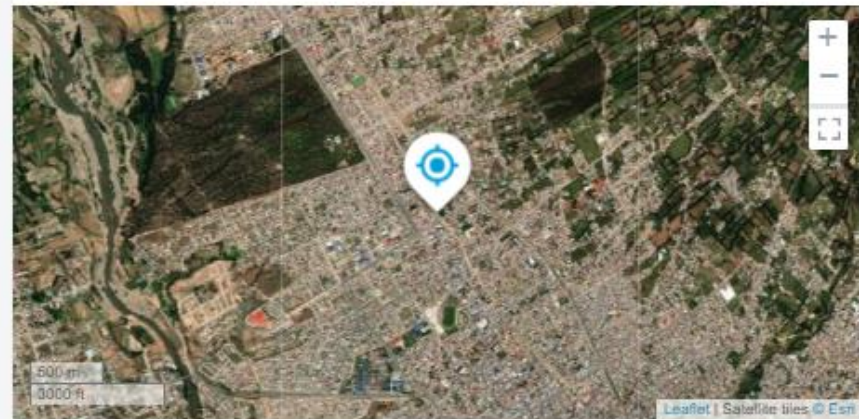


Figura 28. Recurso energético del generador fotovoltaico 1

Generador fotovoltaico 2

El generador fotovoltaico 2 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°02'47" S 75°13'19" N, teniendo como niveles de radiación 5,993 kWh/m².

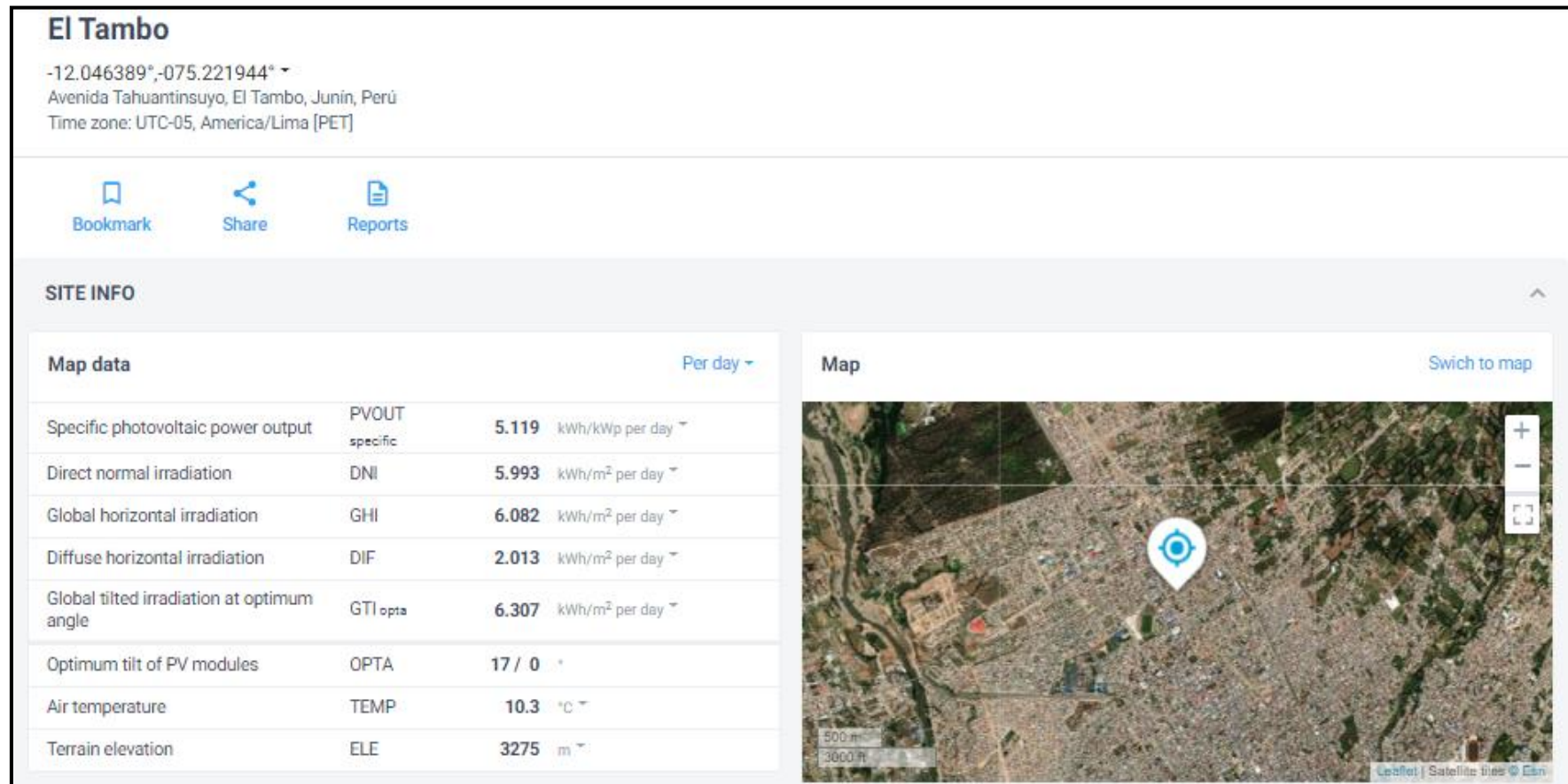


Figura 29. Recurso energético del generador fotovoltaico 2

Generador fotovoltaico 3

El generador fotovoltaico 3 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°02'39" S 75°13'07" N, teniendo como niveles de radiación 5,964 kWh/m².

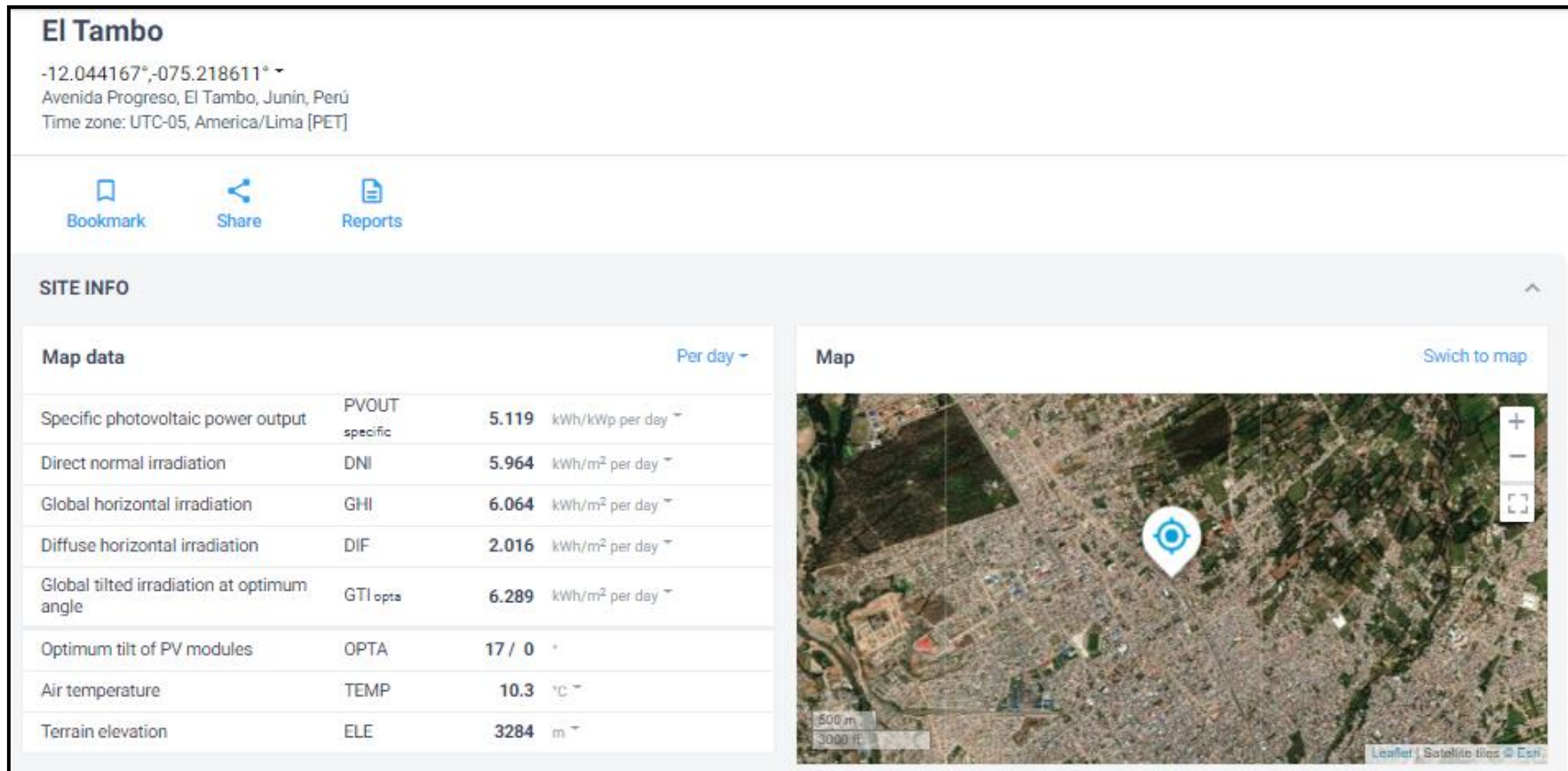


Figura 30. Recurso energético del generador fotovoltaico 3

Generador fotovoltaico 4

El generador fotovoltaico 4 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°03'34" S 75°12'41" N, teniendo como niveles de radiación 5,899 kWh/m².

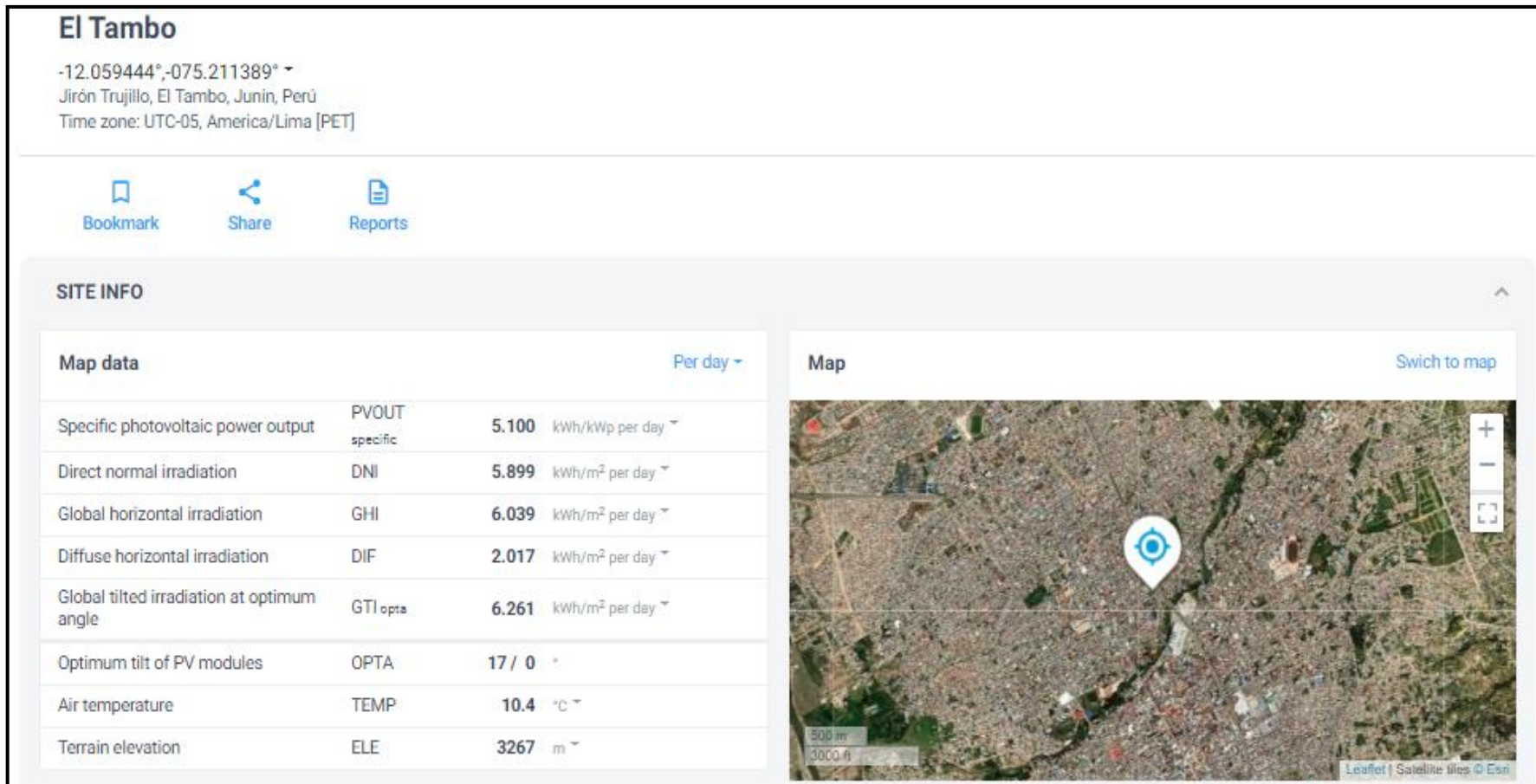


Figura 31. Recurso energético del generador fotovoltaico 4

Generador fotovoltaico 5

El generador fotovoltaico 5 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°03'00" S 75°12'44" N, teniendo como niveles de radiación 5,897 kWh/m².

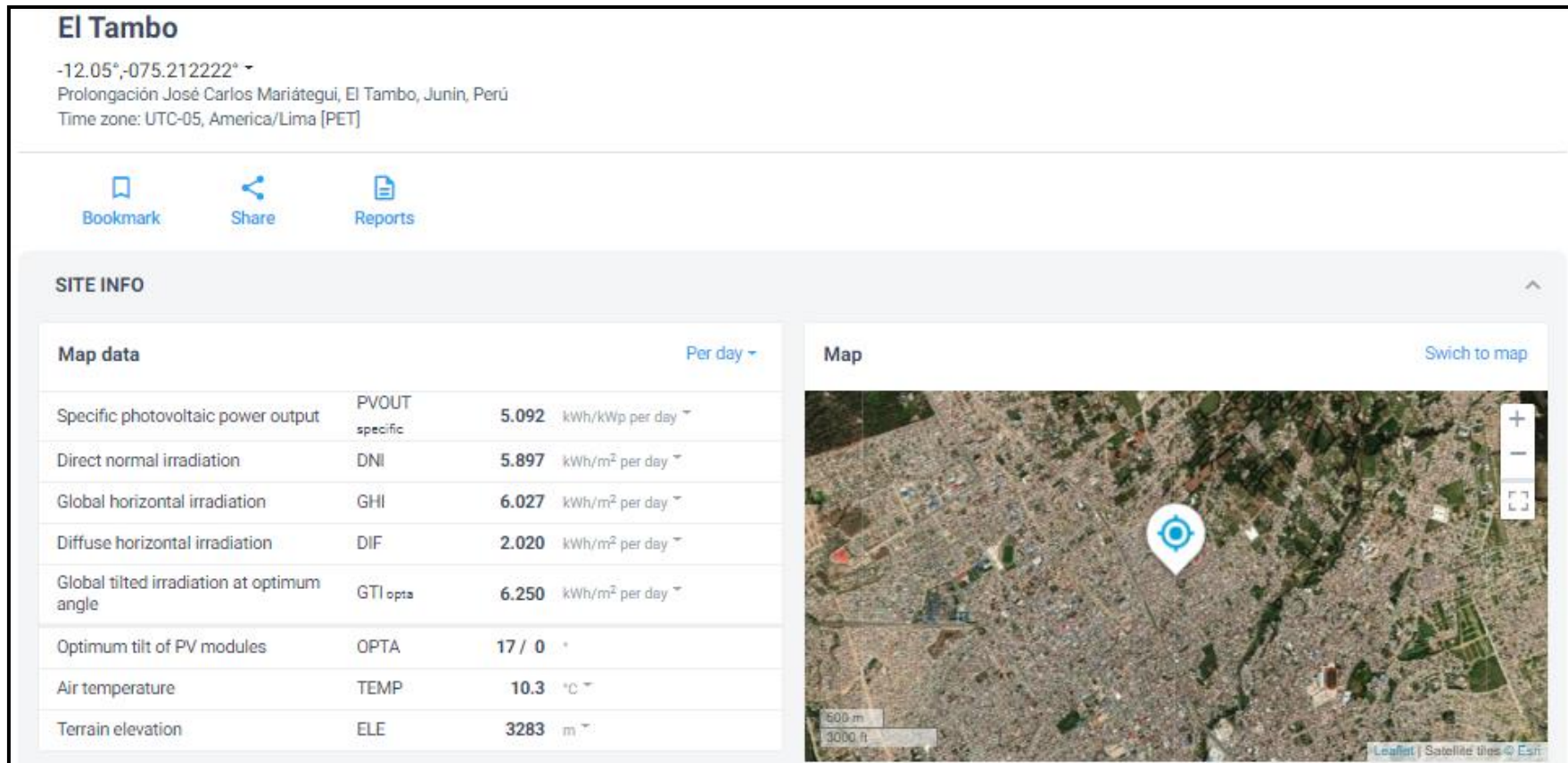


Figura 32. Recurso energético del generador fotovoltaico 5

Generador fotovoltaico 6

El generador fotovoltaico 6 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°02'30" S 75°12'11" N, teniendo como niveles de radiación 5,737 kWh/m².

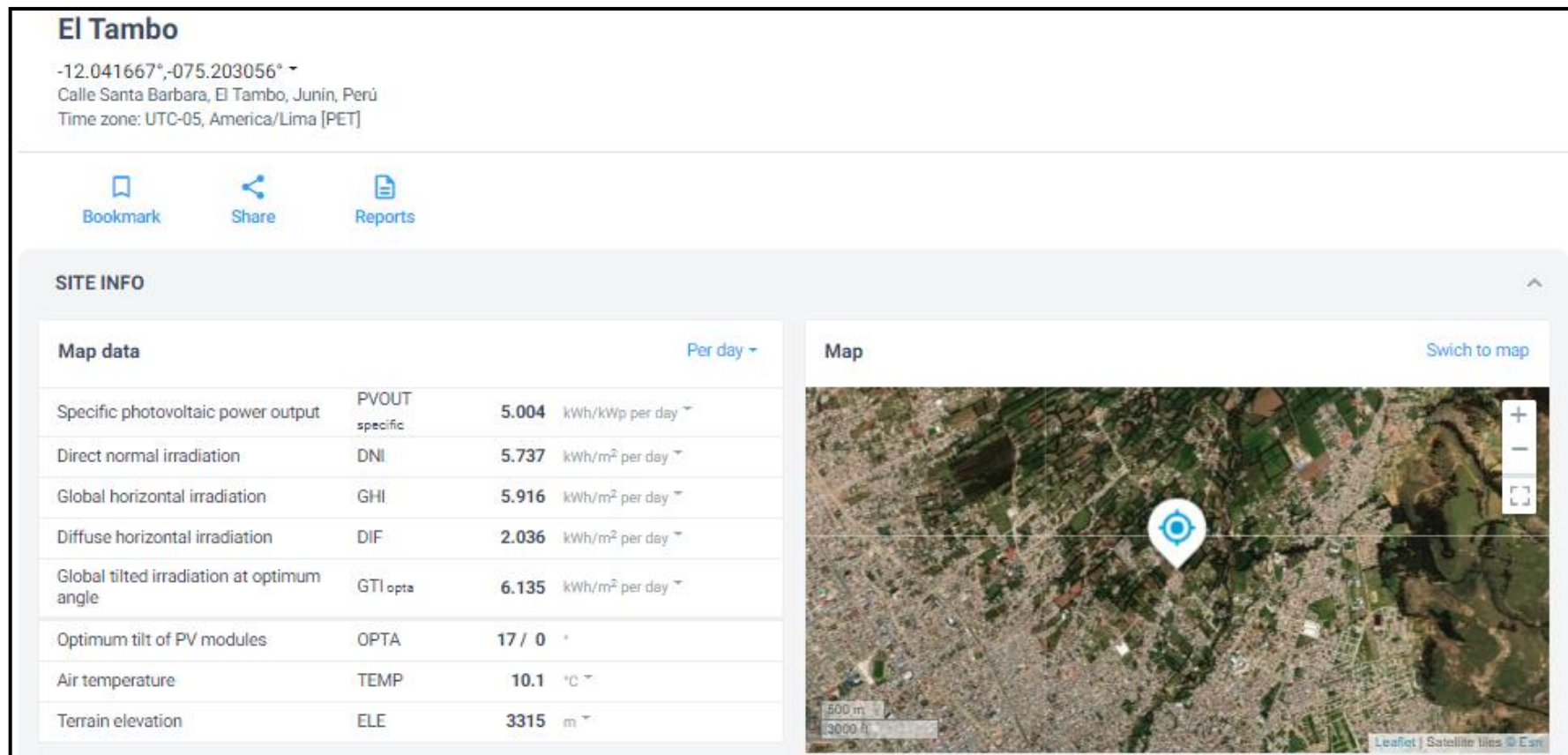


Figura 33. Recurso energético del generador fotovoltaico 6

Generador fotovoltaico 7

El generador fotovoltaico 7 se encuentra ubicado en las coordenadas 12°02'30" S 75°12'34" N, teniendo como niveles de radiación 5,830 kWh/m².

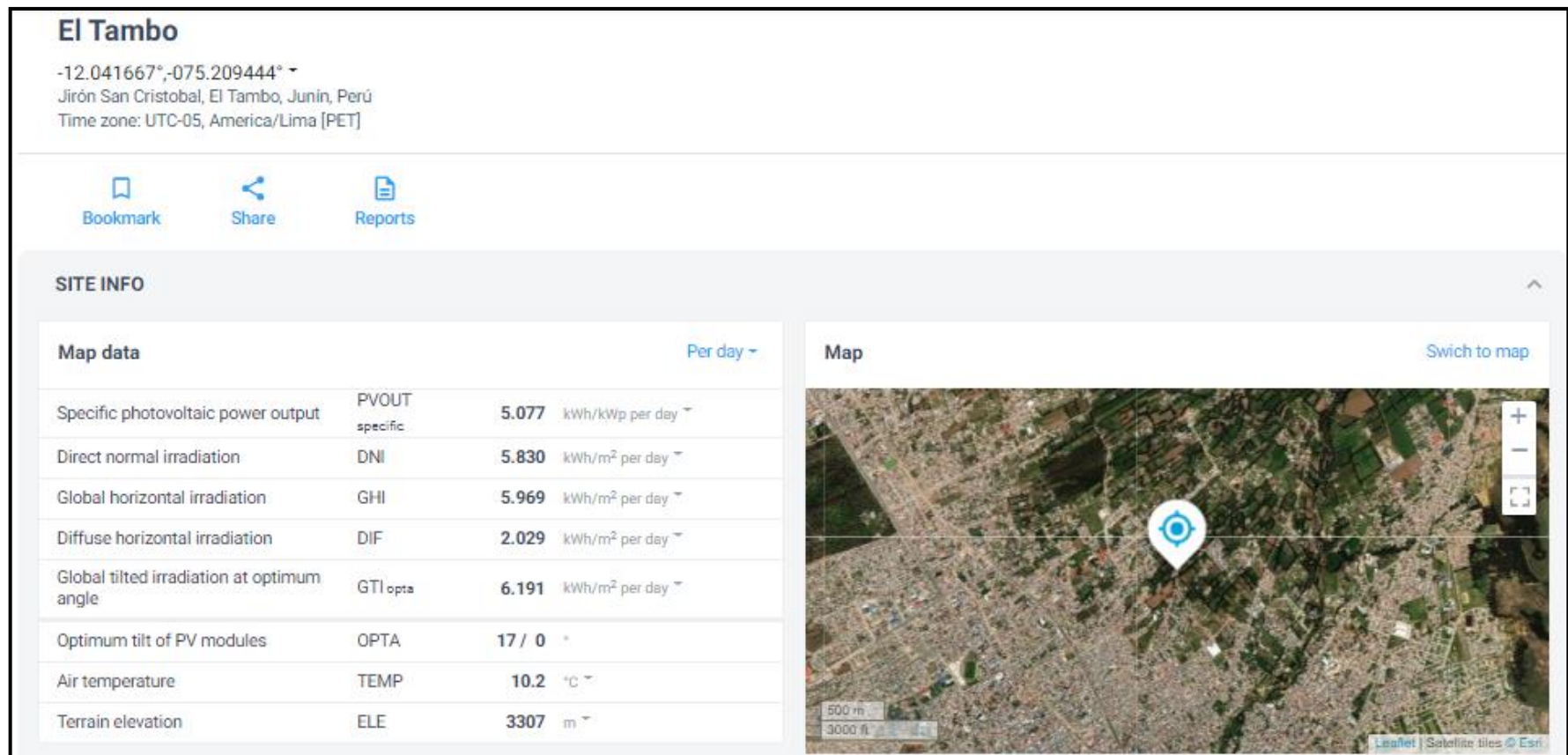


Figura 34. Recurso energético del generador fotovoltaico 7

4.1.5. Modelamiento de los generadores

El modelamiento de los generadores fue en el programa del Digsilent, se modelaron 7 generadores.

Modelamiento del generador 1

El generador fotovoltaico 1 de una potencia instalada de 1 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 0,45 MW.

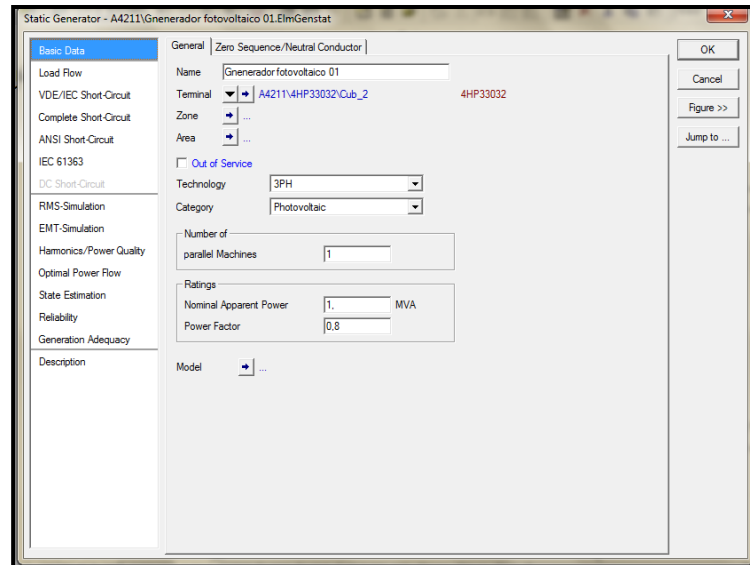


Figura 35. Modelamiento generador 1- potencia instalada

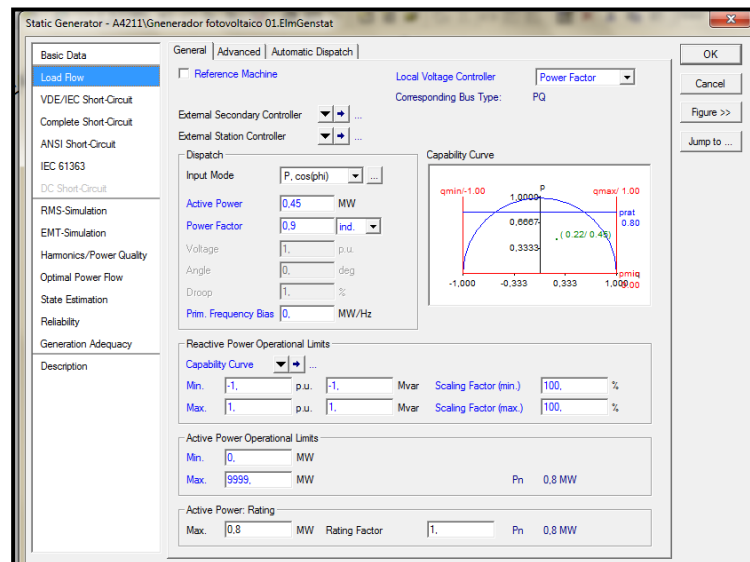


Figura 36. Modelamiento generador 1 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 2

El generador fotovoltaico 2 de una potencia instalada de 1 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 0,45 MW.

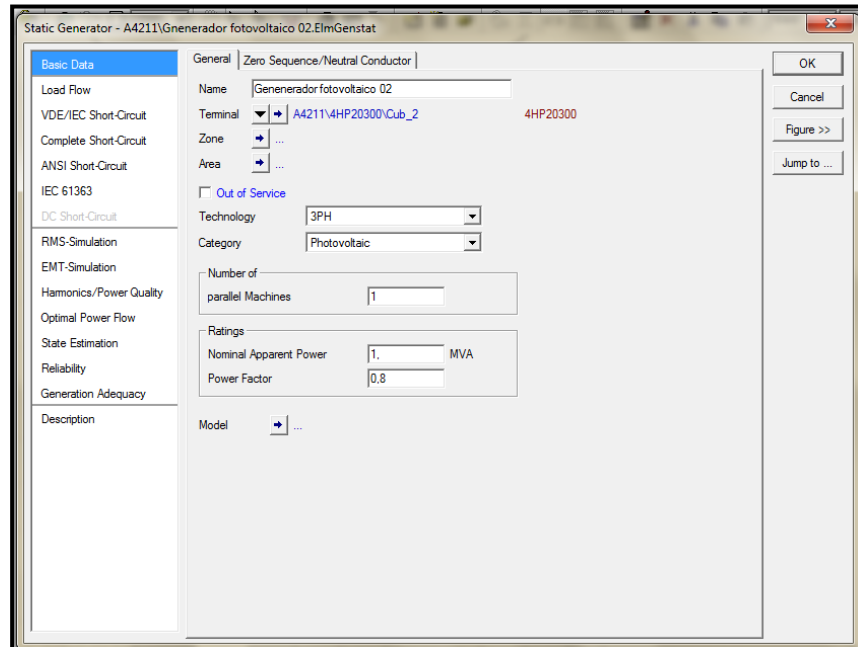


Figura 37. Modelamiento del generador 2 - potencia instalada

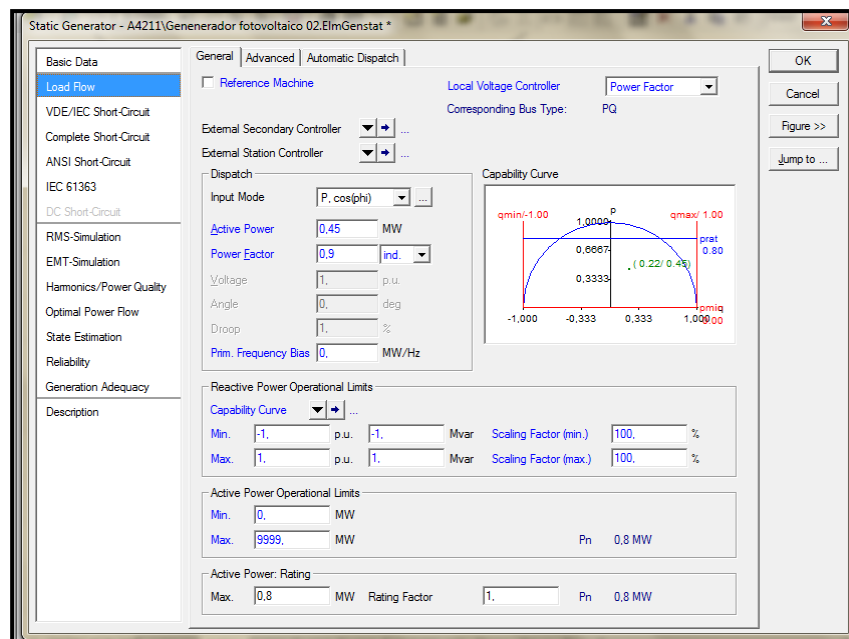


Figura 38. Modelamiento del generador 2 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 3

El generador fotovoltaico 3 de una potencia instalada de 1 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 0,45 MW.

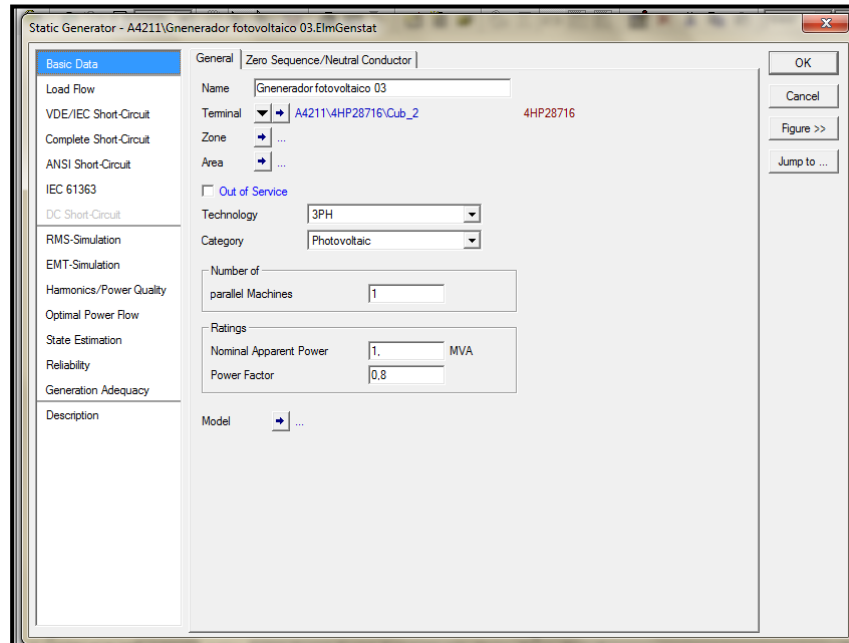


Figura 39. Modelamiento del generador 3 - potencia instalada

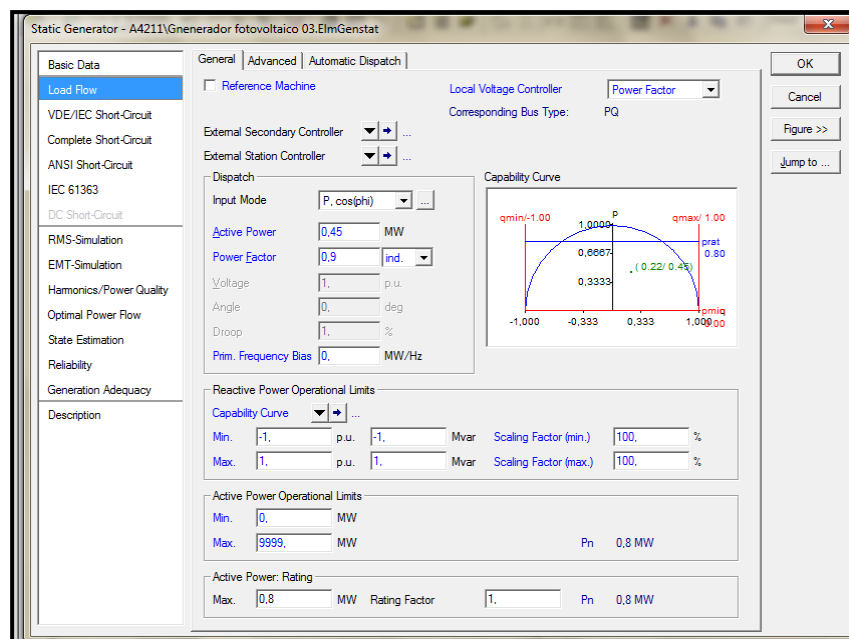


Figura 40. Modelamiento del generador 3 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 4

El generador fotovoltaico 4 de una potencia instalada de 2 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 1,8 MW.

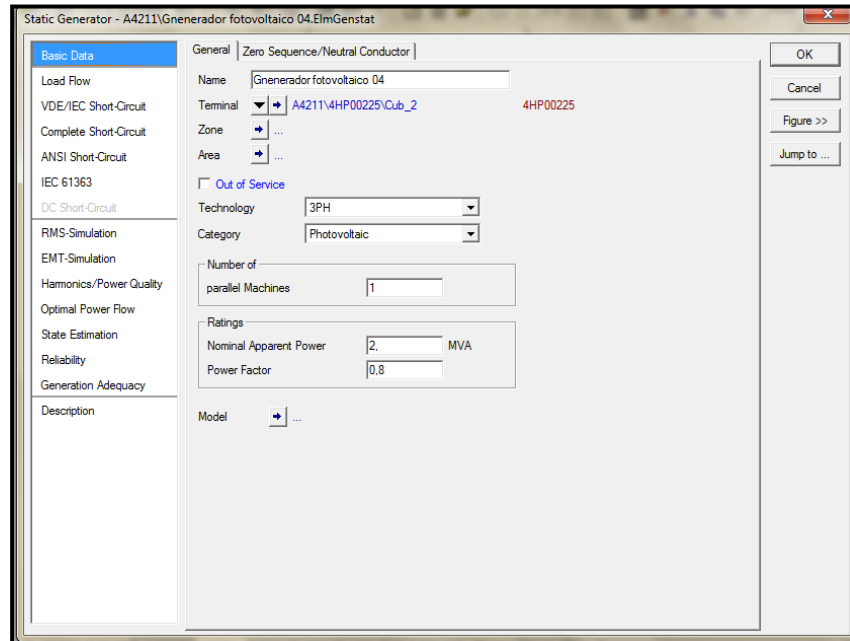


Figura 41. Modelamiento del generador 4 - potencia instalada

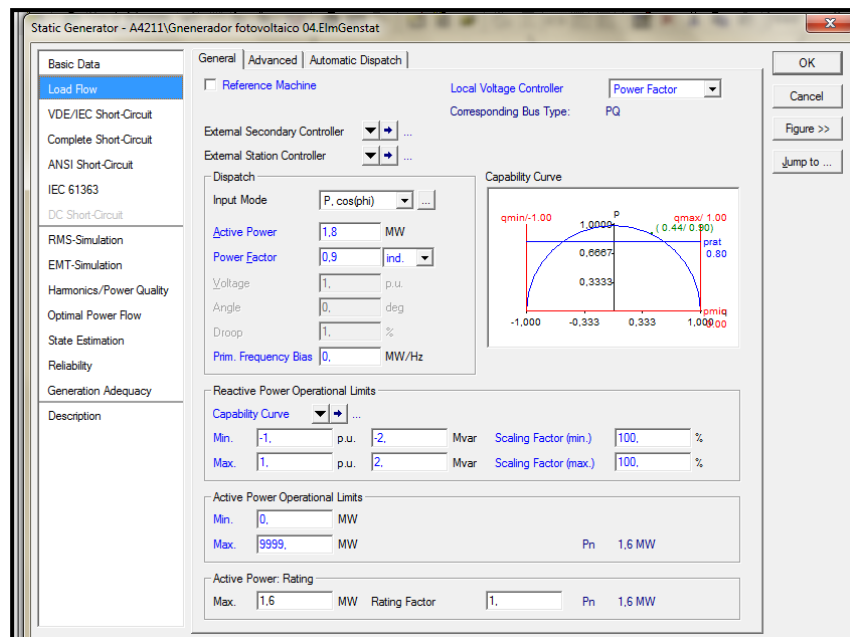


Figura 42. Modelamiento del generador 4 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 5

El generador fotovoltaico 5 de una potencia instalada de 1 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 0,45 MW.

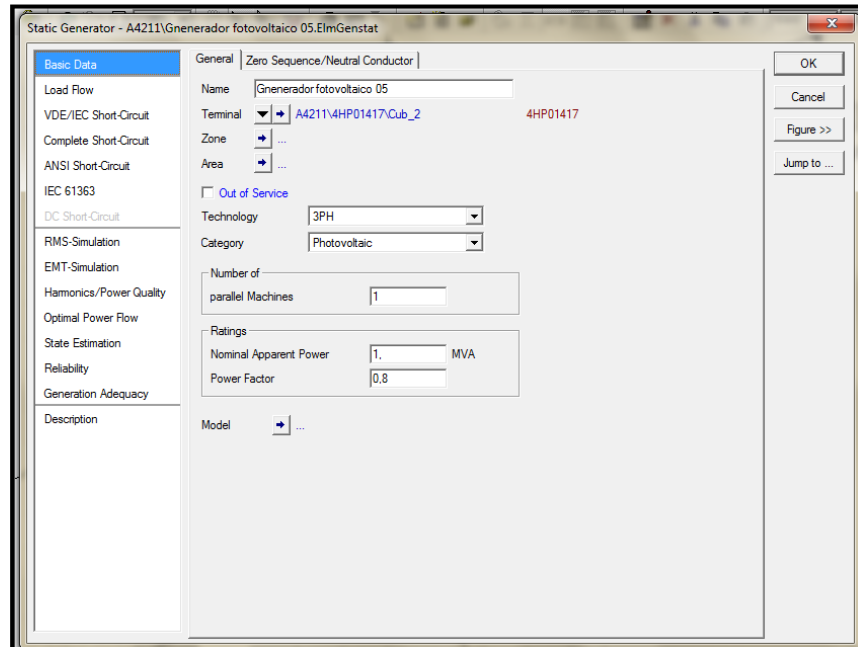


Figura 43. Modelamiento del generador 5 - potencia instalada

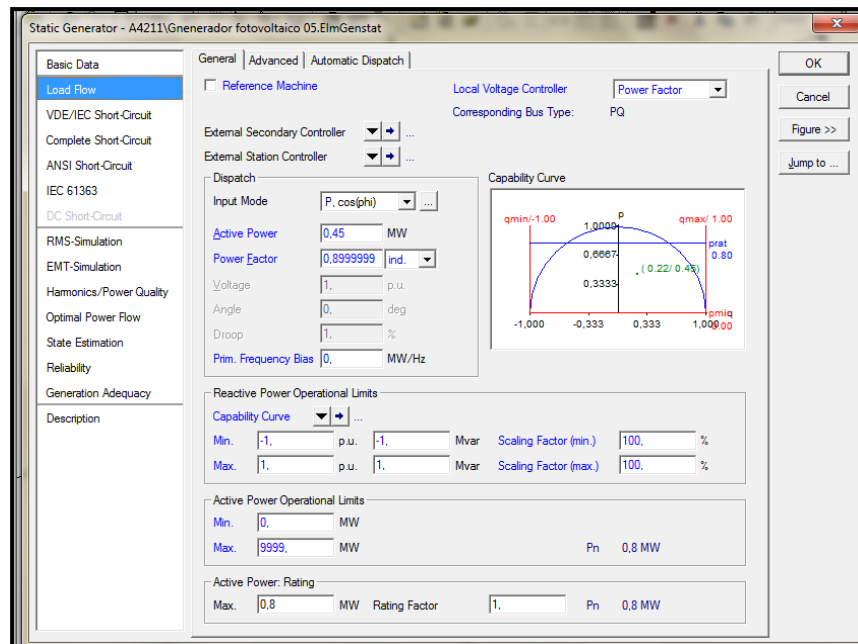


Figura 44. Modelamiento del generador 5 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 6

El generador fotovoltaico 6 de una potencia instalada de 2 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 1,5 MW.

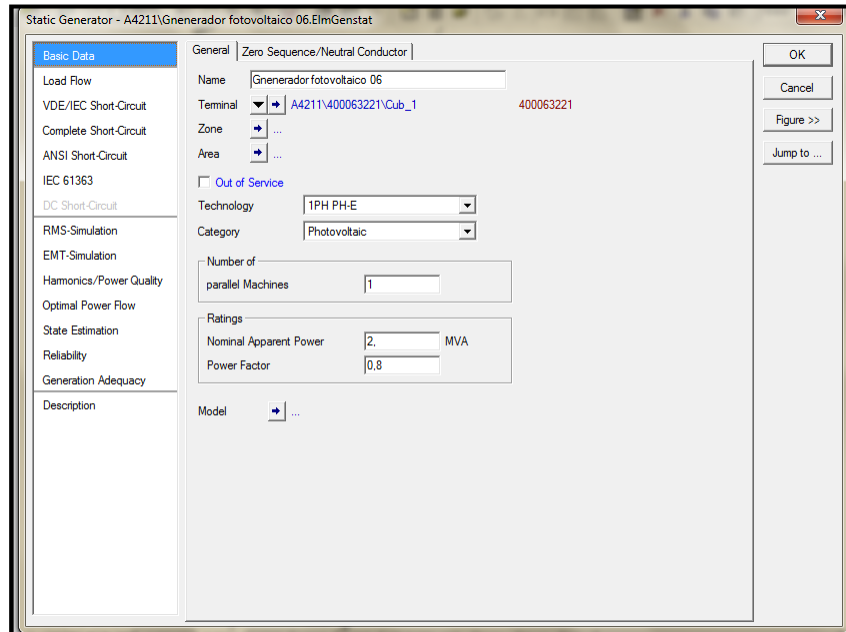


Figura 45. Modelamiento del generador 6 - potencia instalada

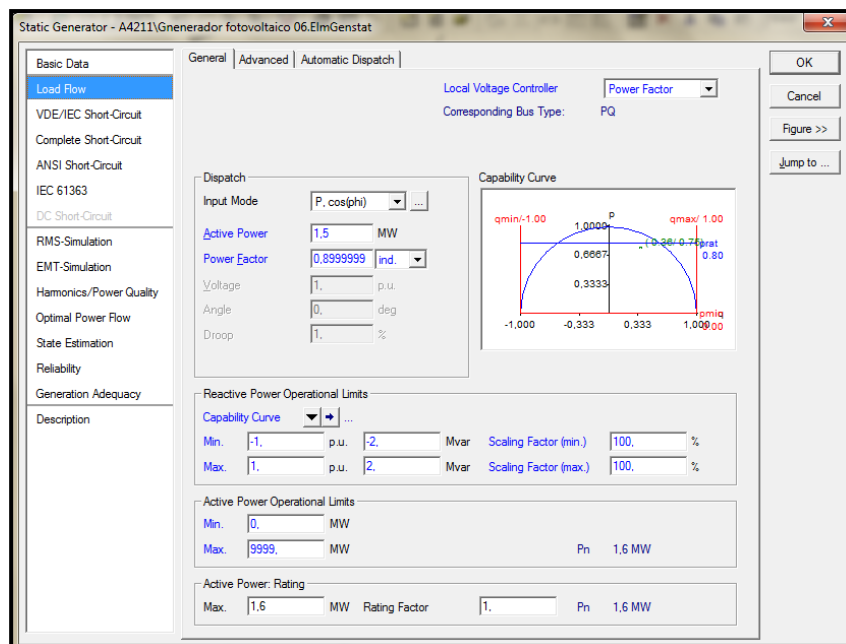


Figura 46. Modelamiento del generador 6 - despacho de la potencia instalada

Modelamiento del generador 7

El generador fotovoltaico 7 de una potencia instalada de 2 MVA y un factor de potencia de 0,9 y el despacho del generador es de 1,8 MW.

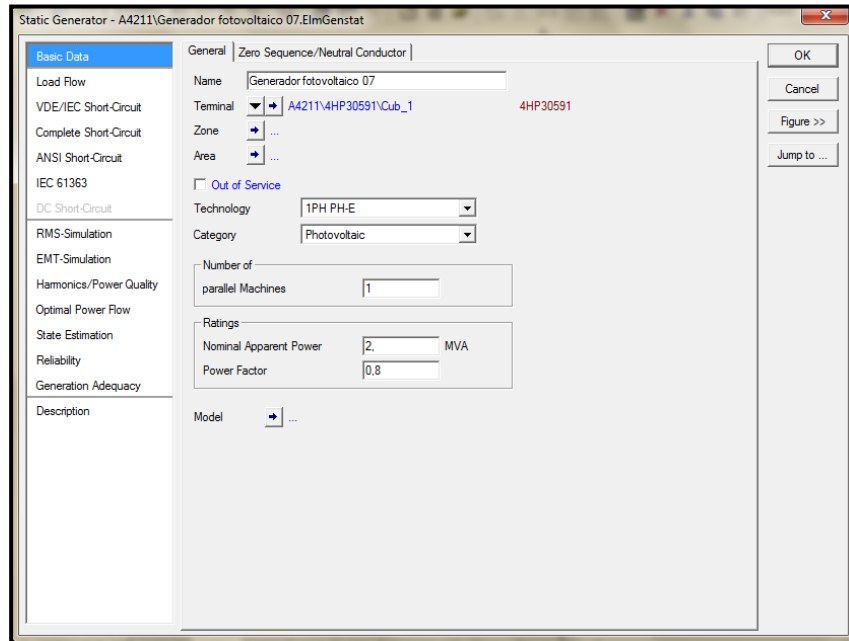


Figura 47. Modelamiento del generador 7 - potencia instalada

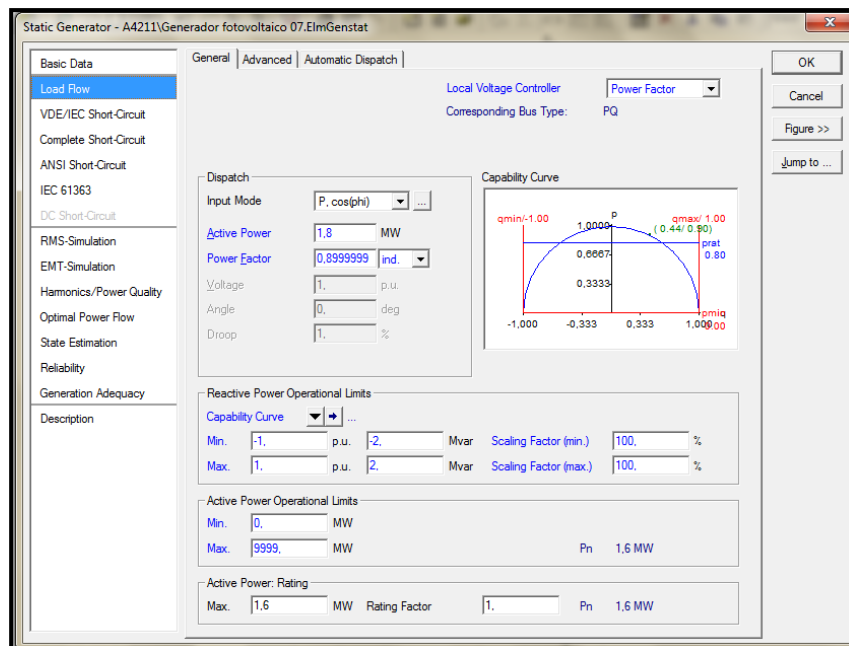


Figura 48. Modelamiento del generador 7 - despacho de la potencia instalada

Resumen de los generadores

Tabla 7. Resumen de los generadores

	Potencia aparente	Potencia activa	Factor de potencia
Generador	MW	kW	
G1	1	0,45	0,9
G2	1	0,45	0,9
G3	1	0,45	0,9
G4	2	1,8	0,9
G5	1	0,45	0,9
G6	2	1,8	0,9
G7	2	1,8	0,9
Total	10	7,2	0,9

4.1.6. Ubicación de los generadores fotovoltaicos

Se ubicaron los generadores fotovoltaicos en seis puntos dentro del recorrido del alimentador teniendo en consideración la demanda de la zona.

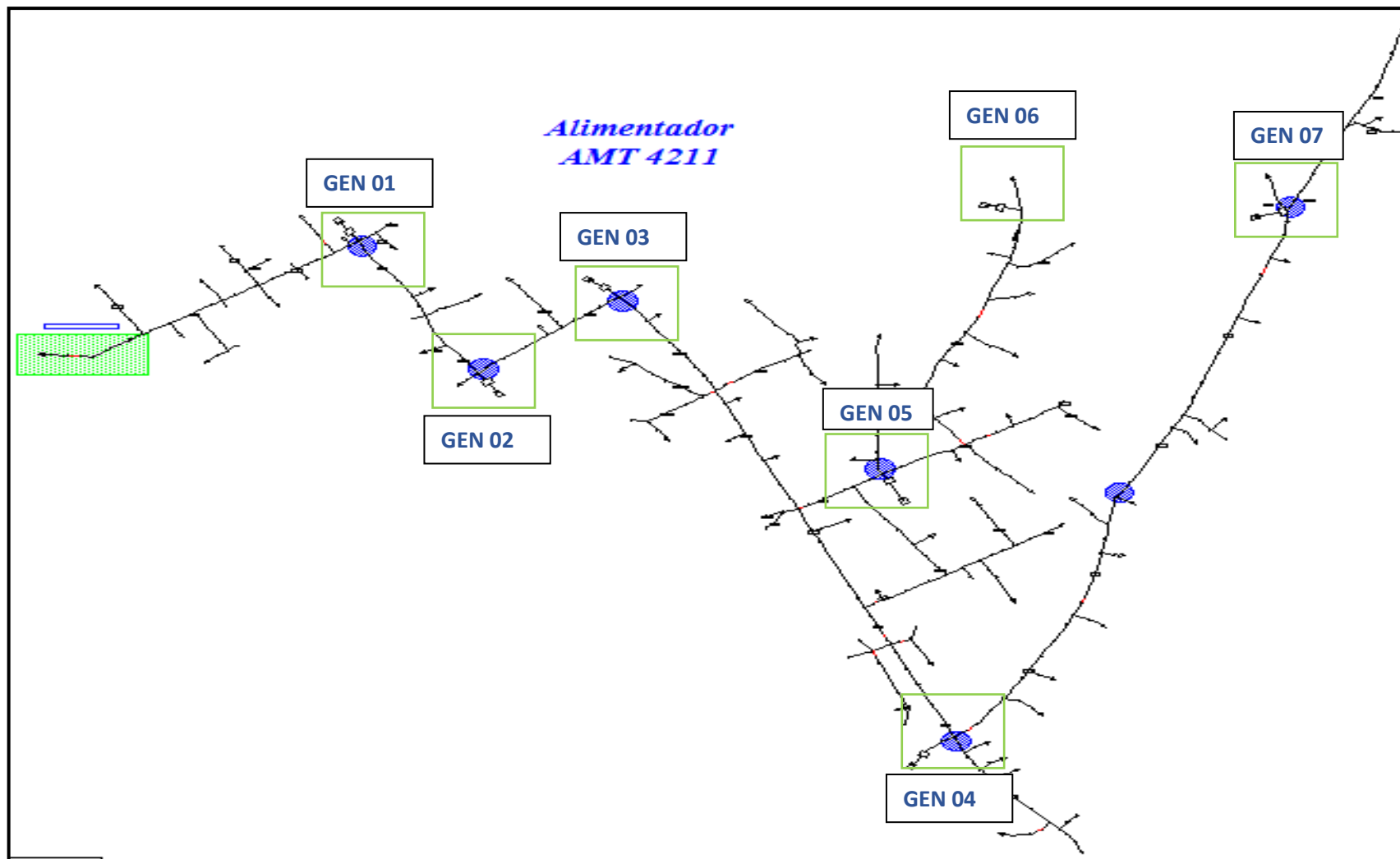


Figura 49. Ubicación de los generadores fotovoltaicos

Ubicación del generador 1

El generador fotovoltaico 1 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}02'32''$ S $75^{\circ}13'29''$ N con una potencia instalada de 1 MVA.

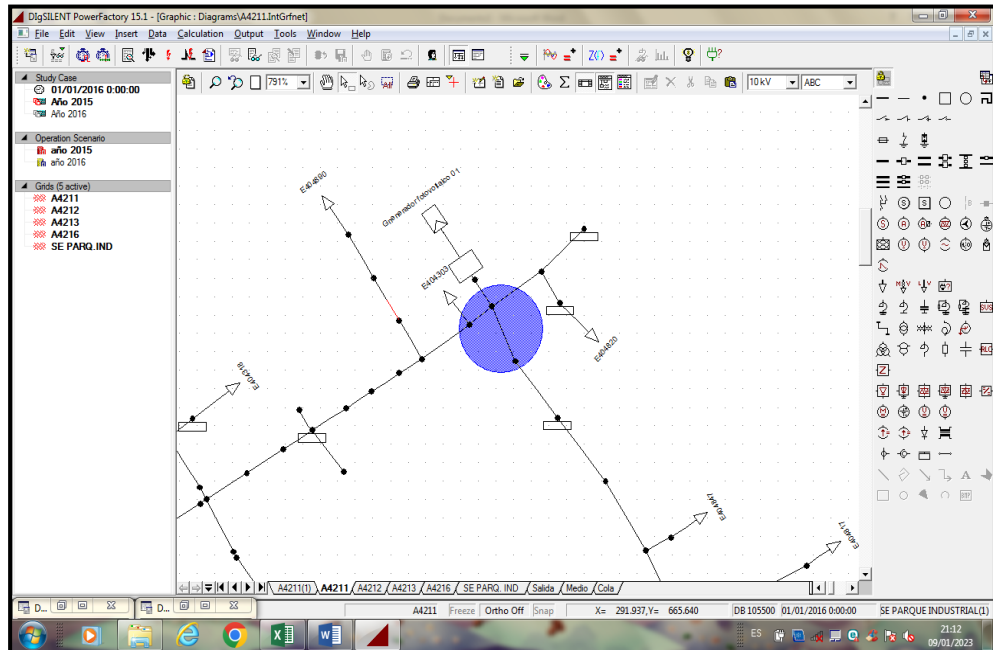


Figura 50. Ubicación del generador 1

Ubicación del generador 2

El generador fotovoltaico 2 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}02'47''$ S $75^{\circ}13'19''$ N con una potencia instalada de 1 MVA.

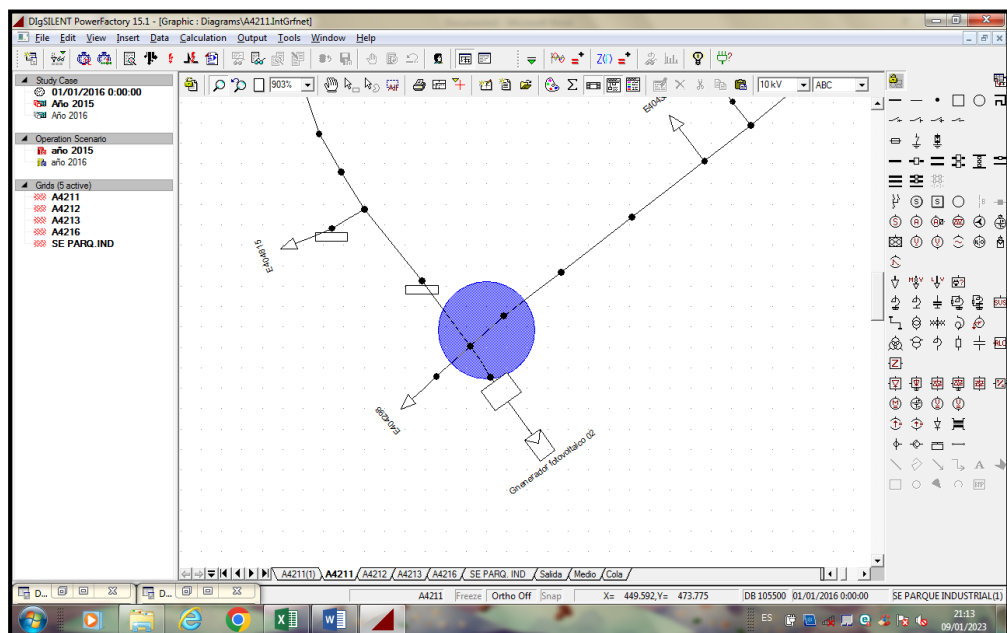


Figura 51. Ubicación del generador 2

Ubicación del generador 3

El generador fotovoltaico 3 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}02'39''$ S $75^{\circ}13'07''$ N con una potencia instalada de 1 MVA.

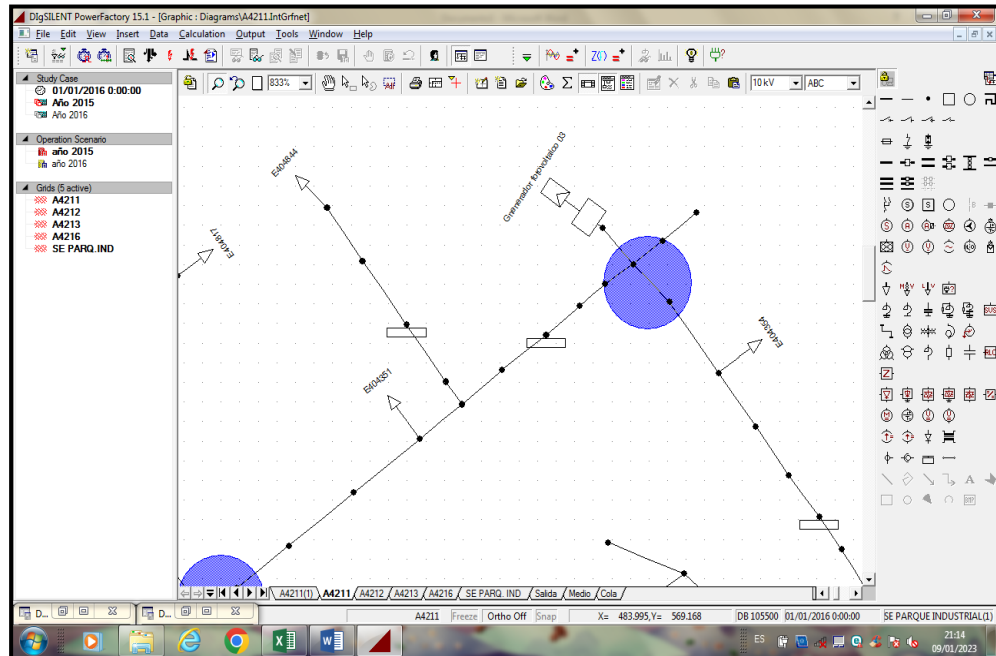


Figura 52. Ubicación del generador 3

Ubicación del generador 4

El generador fotovoltaico 4 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}03'34''$ S $75^{\circ}12'41''$ N con una potencia instalada de 2 MVA.

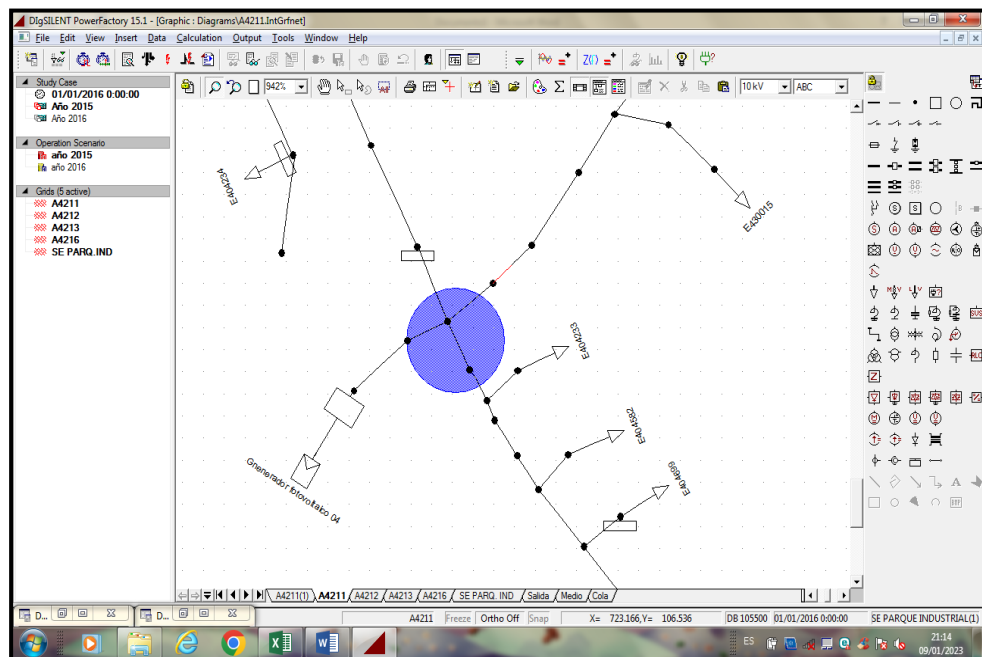


Figura 53. Ubicación del generador 4

Ubicación del generador 5

El generador fotovoltaico 5 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}03'00''$ S $75^{\circ}12'44''$ N con una potencia instalada de 1 MVA.

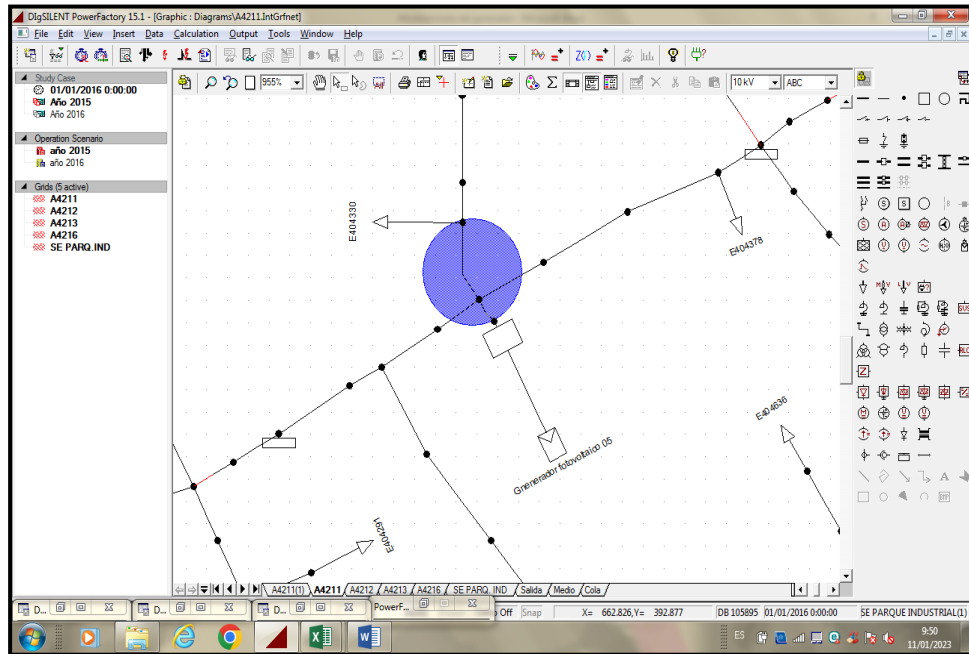


Figura 54. Ubicación del generador 5

Ubicación del generador 6

El generador fotovoltaico 6 se encuentra ubicado en la coordenada $12^{\circ}02'30''$ S $75^{\circ}12'11''$ N con una potencia instalada de 2 MVA.

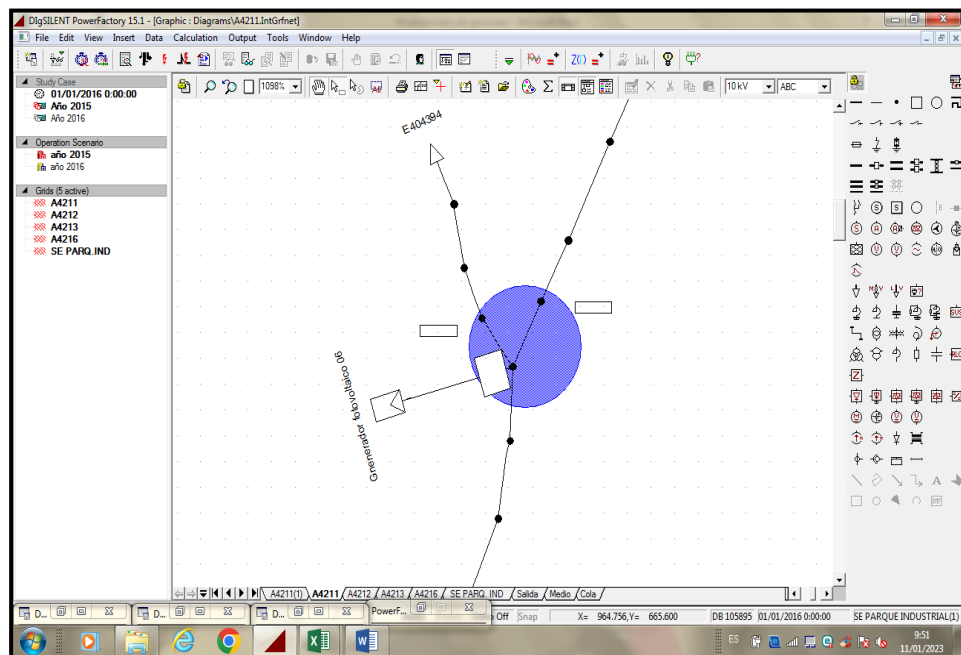


Figura 55. Ubicación del generador 6

Ubicación del generador 7

El generador fotovoltaico 7 se encuentra ubicado en la coordenada 12°02'30" S 75°12'34" N con una potencia instalada de 2 MVA.

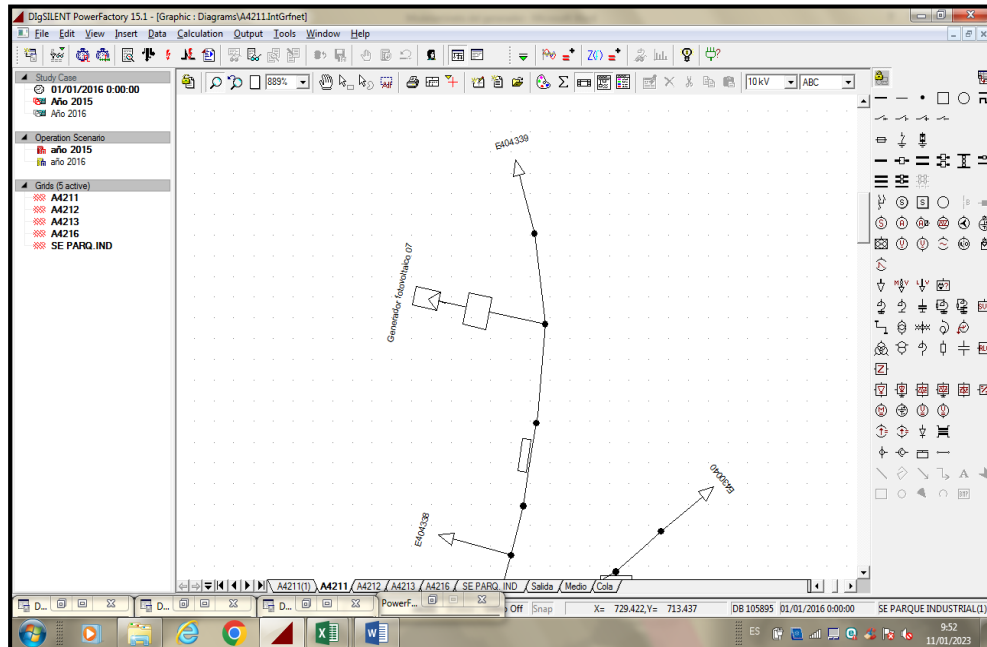


Figura 56. Ubicación del generador 7

4.1.7. Flujo de carga con la propuesta de generación distribuida

EL flujo de carga o de potencia se simularon en software Digsilent.

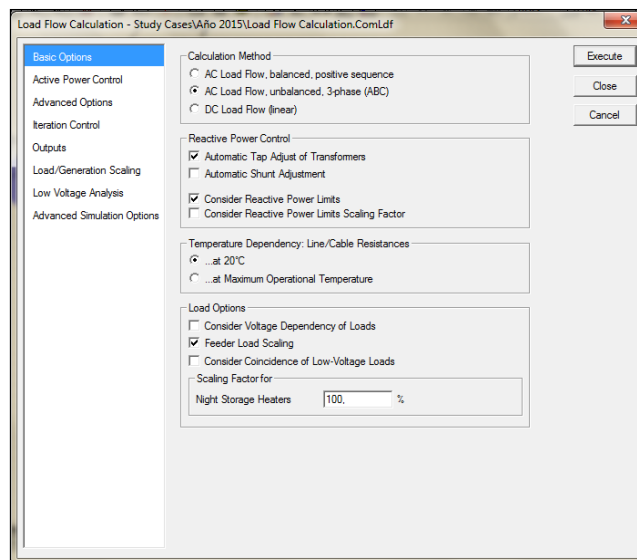


Figura 57. AC Load Flow, unbalance 3 phase (ABC) con la propuesta

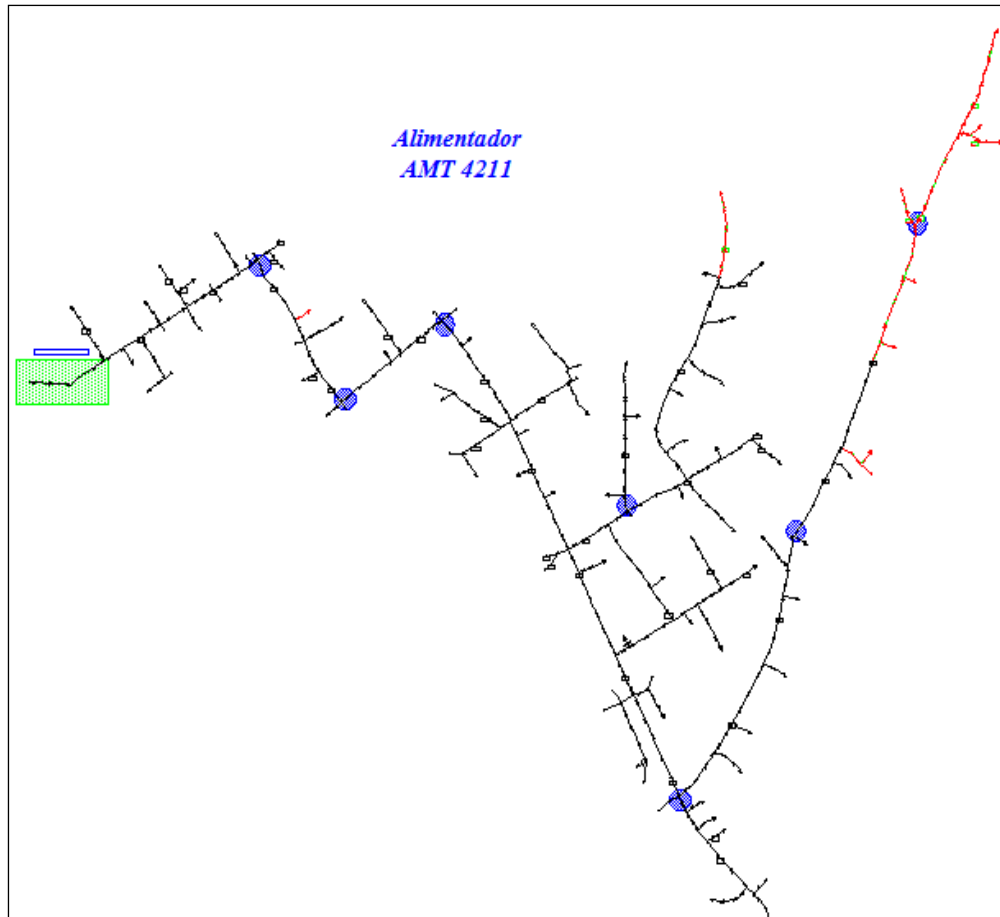


Figura 58. Resultados de la simulación del flujo de carga

De acuerdo con los resultados de la simulación del flujo de carga con la propuesta de implementación de los generadores fotovoltaicos, se puede evidenciar la mejora de los niveles de tensión en las 8 subestaciones de distribución que tenían problemas de caída.

- E404339
- E404394
- E404350
- E404777
- E404394
- E430154
- E404818
- E404395

A continuación, se presenta las caídas de tensión en los extremos del circuito.

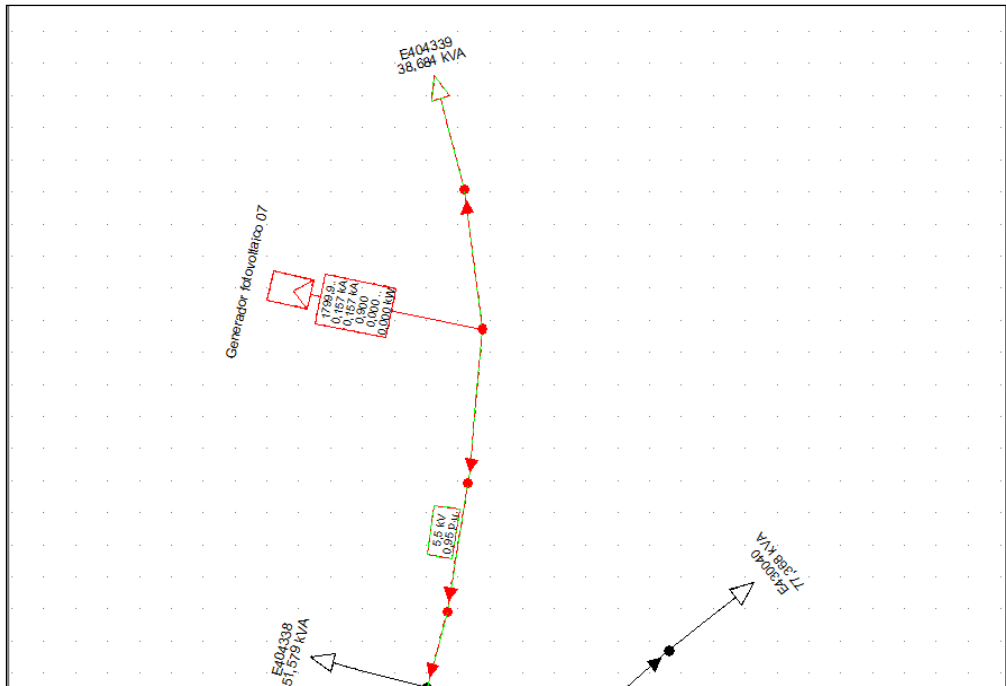


Figura 59. Resultados de flujos de carga en la subestación E404339

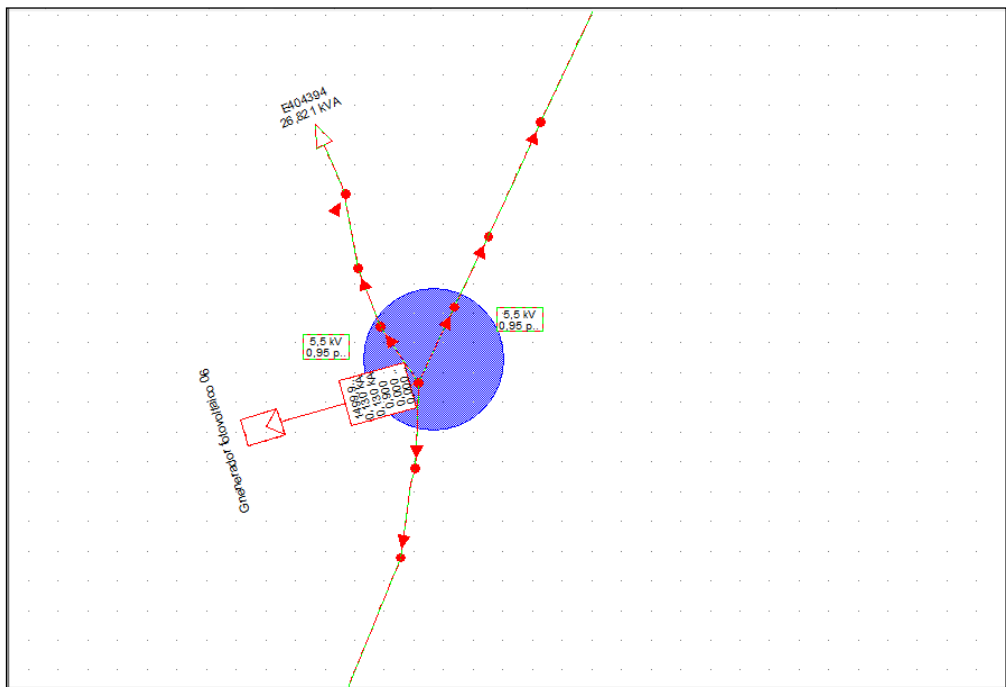


Figura 60. Resultados de flujos de carga en la subestación E404394

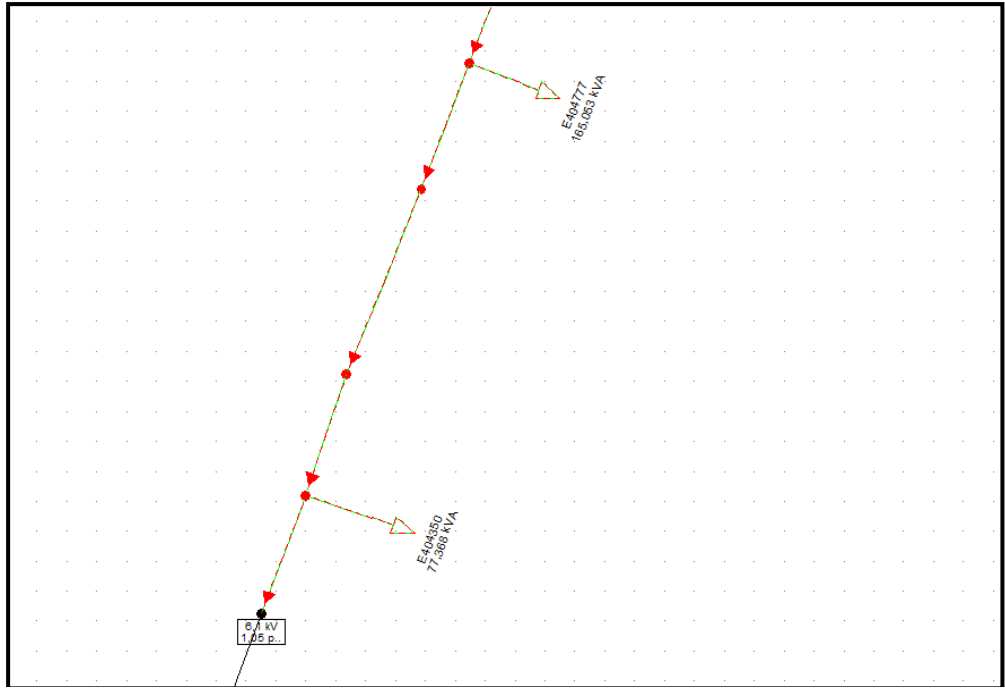


Figura 61. Resultados de flujos de carga en la subestación E404350 y E404777

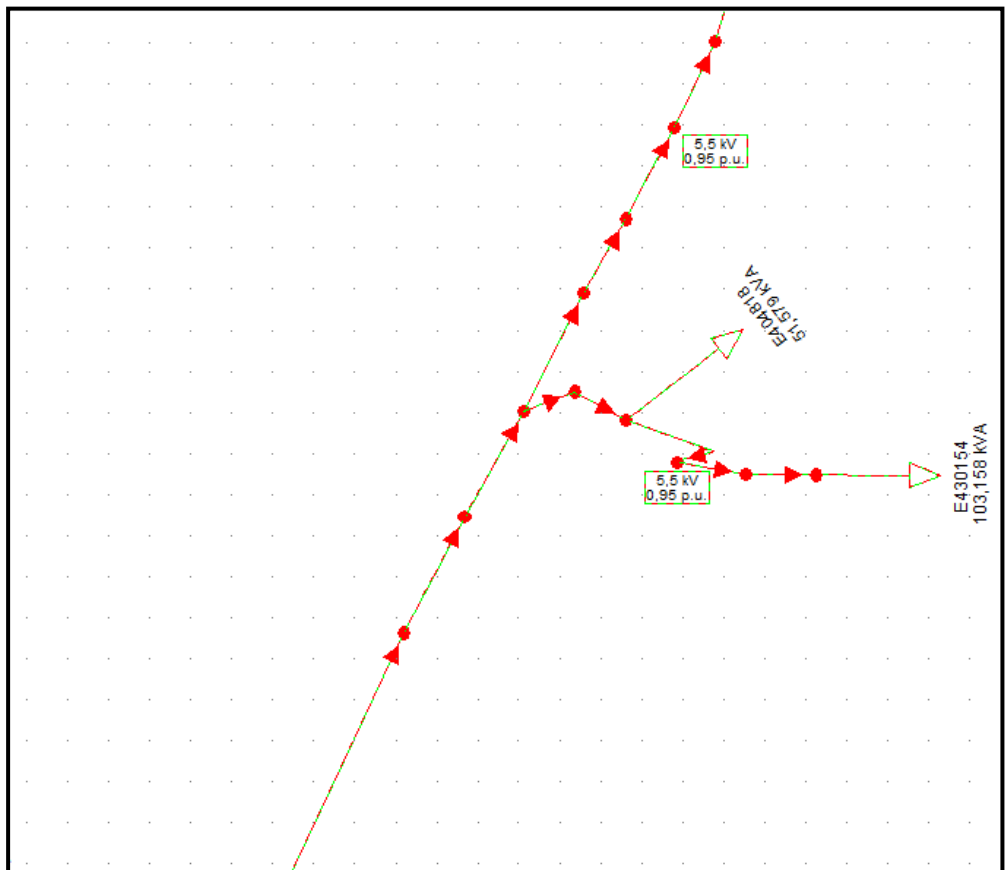


Figura 62. Resultados de flujos de carga en la subestación E430154 y E404818

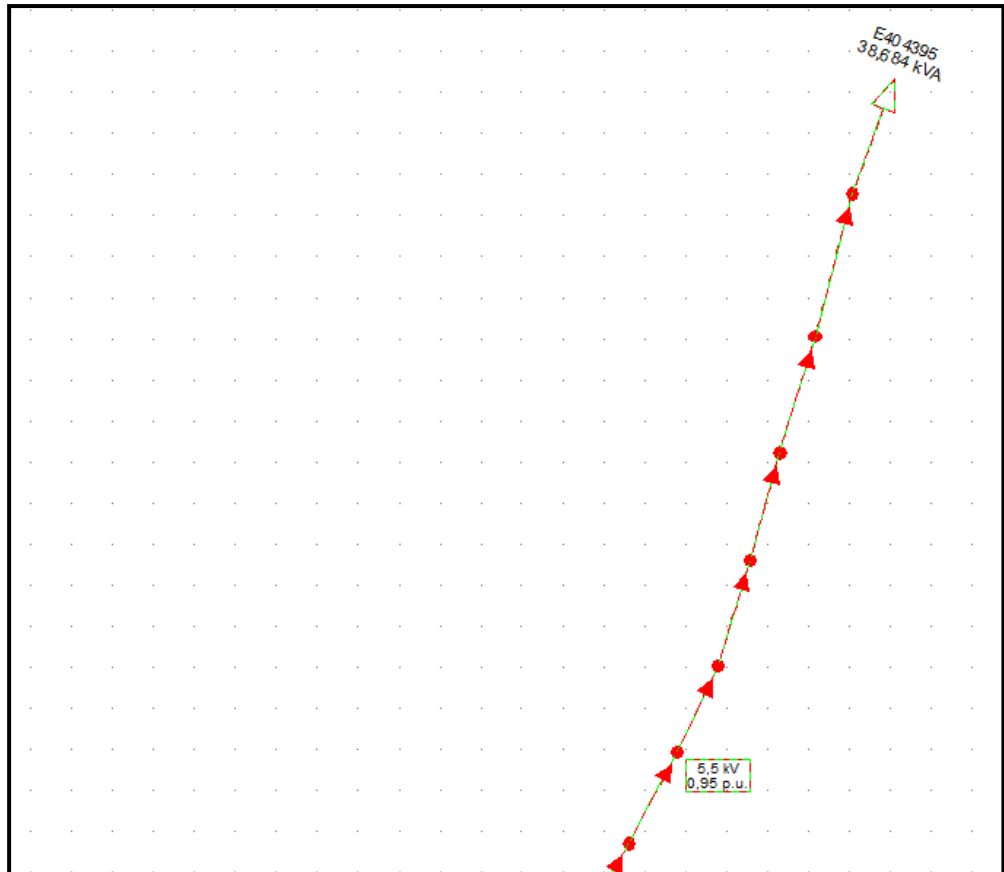


Figura 63. Resultados de flujos de carga en la subestación E404395

Tabla 8. Resultados de flujo de carga con la propuesta

Name	Grid	Terminal	Total active power	Total reactive power	Total apparent power	Total power factor
		Busbar	kW	kVAR	kVA	
E404071	A4211	4HP25513	178,34	58,62	187,73	0,95
E404233	A4211	400000724	66,88	21,98	70,40	0,95
E404234	A4211	4HP34405	48,15	15,83	50,69	0,95
E404289	A4211	4HP22380	55,73	18,32	58,67	0,95
E404290	A4211	4HP30088	44,59	14,65	46,93	0,95
E404291	A4211	4HP20479	44,59	14,65	46,93	0,95
E404298	A4211	4HP00957	44,59	14,65	46,93	0,95
E404303	A4211	4HP20441	33,44	10,99	35,20	0,95
E404318	A4211	4HP25572	71,34	23,45	75,09	0,95
E404324	A4211	4HP21541	44,59	14,65	46,93	0,95
E404325	A4211	4HP20439	22,29	7,33	23,47	0,95
E404330	A4211	4HP22372	71,34	23,45	75,09	0,95
E404332	A4211	4HP37962	33,44	10,99	35,20	0,95
E404336	A4211	4HP20469	33,44	10,99	35,20	0,95
E404337	A4211	4HP25752	19,62	6,45	20,65	0,95
E404338	A4211	4HP30588	22,29	7,33	23,47	0,95
E404339	A4211	4HP21135	16,72	5,50	17,60	0,95
E404340	A4211	4HP27052	33,44	10,99	35,20	0,95
E404341	A4211	4HP25329	33,44	10,99	35,20	0,95

E404350	A4211	4HP40622	33,44	10,99	35,20	0,95
E404351	A4211	4HP20446	44,59	14,65	46,93	0,95
E404354	A4211	4HP20448	22,29	7,33	23,47	0,95
E404378	A4211	4HP25583	22,29	7,33	23,47	0,95
E404394	A4211	4HP22367	11,59	3,81	12,20	0,95
E404395	A4211	4HP22369	16,72	5,50	17,60	0,95
E404408	A4211	4HP01427	6,69	2,20	7,04	0,95
E404413	A4211	4HP34398	33,44	10,99	35,20	0,95
E404531	A4211	4HP21536	44,59	14,65	46,93	0,95
E404582	A4211	4HP39684	16,72	5,50	17,60	0,95
E404603	A4211	4HP20720	4,46	1,47	4,69	0,95
E404633	A4211	4HP20459	22,29	7,33	23,47	0,95
E404636	A4211	4HP35428	44,59	14,65	46,93	0,95
E404637	A4211	4HP27940	44,59	14,65	46,93	0,95
E404668	A4211	4HP21444	44,59	14,65	46,93	0,95
E404696	A4211	4HP34640	44,59	14,65	46,93	0,95
E404699	A4211	4HP24175	44,59	14,65	46,93	0,95
E404731	A4211	4HP24256	71,34	23,45	75,09	0,95
E404777	A4211	4HP27541	71,34	23,45	75,09	0,95
E404796	A4211	4HP27605	22,29	7,33	23,47	0,95
E404815	A4211	4HP28593	44,59	14,65	46,93	0,95
E404817	A4211	4HP28605	71,34	23,45	75,09	0,95
E404818	A4211	4HP28608	22,29	7,33	23,47	0,95
E404820	A4211	4HP28615	44,59	14,65	46,93	0,95
E404829	A4211	4HP28700	16,72	5,50	17,60	0,95
E404842	A4211	4HP28914	22,29	7,33	23,47	0,95
E404844	A4211	4HP28923	22,29	7,33	23,47	0,95
E404847	A4211	4HP28918	22,29	7,33	23,47	0,95
E404853	A4211	4HP40626	22,29	7,33	23,47	0,95
E404890	A4211	4HP31384	71,34	23,45	75,09	0,95
E404957	A4211	4HP32475	44,59	14,65	46,93	0,95
E404958	A4211	4HP32478	33,44	10,99	35,20	0,95
E404959	A4211	4HP37627	22,29	7,33	23,47	0,95
E404960	A4211	4HP32496	33,44	10,99	35,20	0,95
E404961	A4211	400062846	44,59	14,65	46,93	0,95
E404962	A4211	4HP32485	44,59	14,65	46,93	0,95
E404963	A4211	4HP32512	44,59	14,65	46,93	0,95
E430014	A4211	4HP40624	71,34	23,45	75,09	0,95
E430015	A4211	4HP33996	71,34	23,45	75,09	0,95
E430040	A4211	4HP35946	33,44	10,99	35,20	0,95
E430067	A4211	4HP36029	71,34	23,45	75,09	0,95
E430090	A4211	4HP36089	22,29	7,33	23,47	0,95
E430103	A4211	4HP36917	33,44	10,99	35,20	0,95
E430108	A4211	4HP36919	33,44	10,99	35,20	0,95
E430154	A4211	400066941	44,59	14,65	46,93	0,95
E430209	A4211	4HP38964	71,34	23,45	75,09	0,95

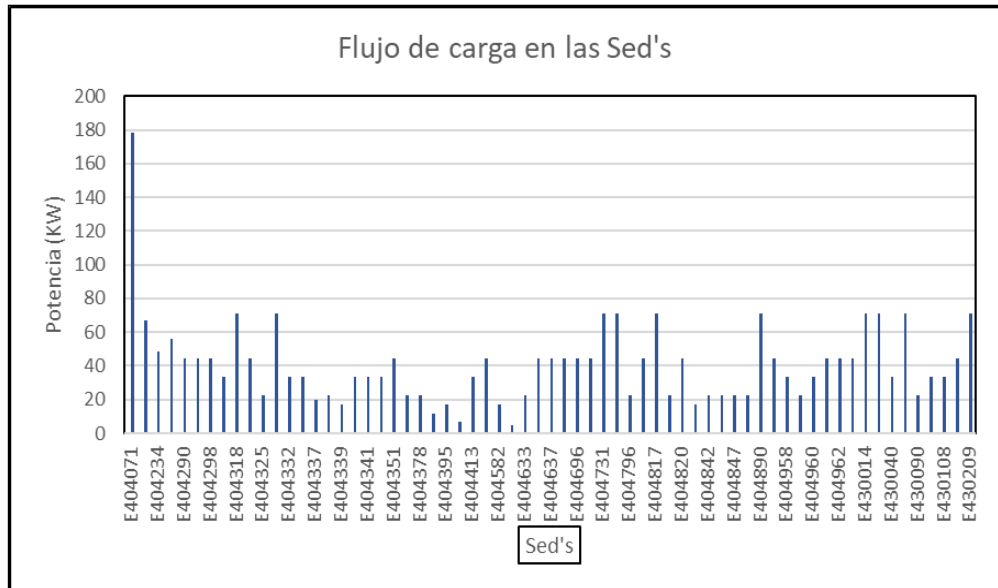


Figura 64. Resultados de flujos de carga con la propuesta en la subestación del circuito alimentador A4211

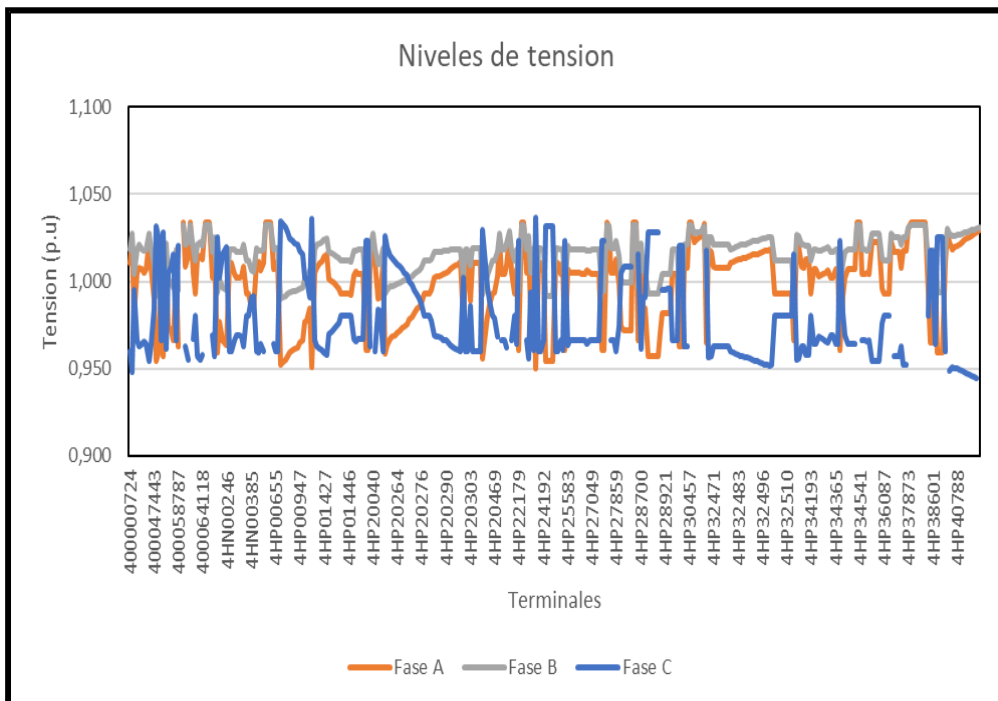


Figura 65. Resultados de los niveles de tensión en los terminales del circuito alimentador A4211 con la propuesta

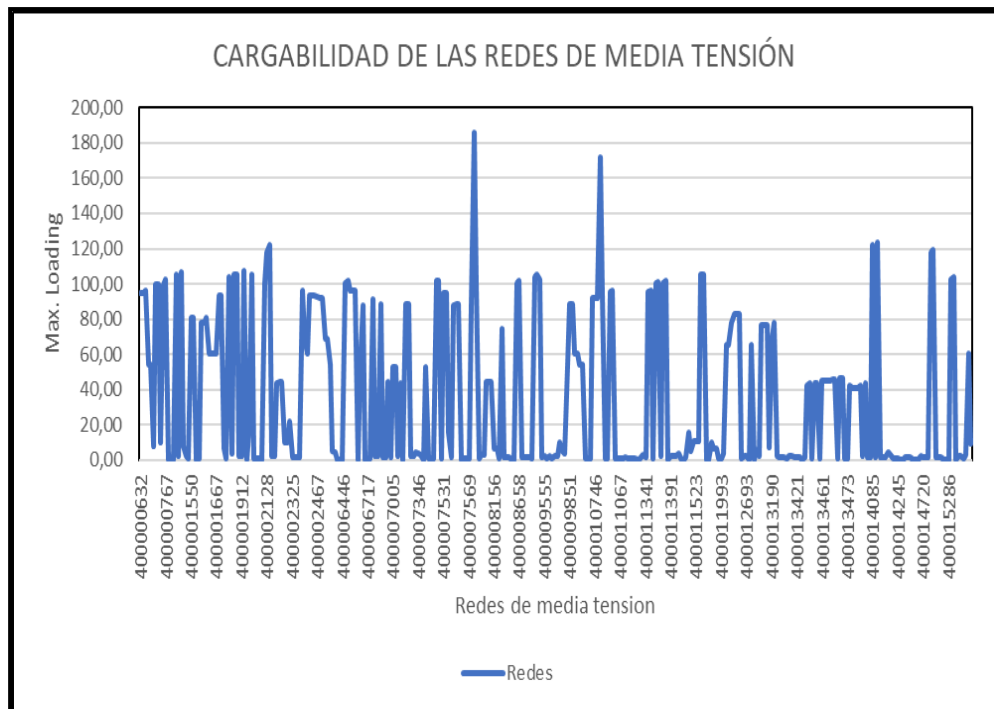


Figura 66. Resultados de los niveles de cargabilidad en las redes eléctricas del circuito alimentador A4211 con la propuesta

4.2. Prueba de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se plantearon las hipótesis nula y alterna:

Hipótesis nula

H1:

Con el análisis de la generación distribuida no se mejora los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo

Hipótesis alterna

H0:

Con el análisis de la generación distribuida sí se mejoran los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo

Los resultados de la investigación muestran que la hipótesis nula es falsa, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna.

4.3. Discusión de resultados

En la investigación analizó la instalación de generadores fotovoltaicos para mejorar los niveles de tensión en el alimentador A4211 en el sistema eléctrico Huancayo.

Los niveles tensión mejoraron de acuerdo con los resultados presentados en las figuras 28 y 60. En la figura 28 se muestran los niveles de tensión actuales donde la tensión se encuentra por debajo 0,95 p. u. En la figura 60 se muestran los niveles de tensión con la propuesta de generación fotovoltaica teniendo un nivel de tensión superiores a 0,95 p. u.

La investigación propone instalación de generadores fotovoltaicos que en la mayoría de los terminales del circuito mejoran los niveles de tensión. El estudio se realizó en circuito alimentador A4211 teniendo una evaluación de 350 terminales.

De acuerdo con la información vigente, es decir, de los antecedentes mostrados en la investigación, todos llegan a la conclusión de que la implementación de las generaciones distribuidas mejora los niveles de tensión.

CONCLUSIONES

El análisis de la implementación de generación distribuida fotovoltaica mejora los niveles de tensión en los 350 terminales en el circuito alimentador A4211 del sistema eléctrico Huancayo.

El tipo de generación distribuida seleccionada es el tipo fotovoltaico, este tipo de generación simuló la implementación en el alimentador A4211 porque el recurso energético solar tiene niveles de radiación de 5,5 a 6,5 kWh/m² en la ciudad de Huancayo.

La ubicación de los generadores fotovoltaicos se realizó de acuerdo con la necesidad de carga en la zona, donde se simuló su implementación con la finalidad de mejorar los niveles de tensión en los terminales del circuito alimentador en media tensión A4211 del sistema eléctrico Huancayo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, para trabajos posteriores, realizar un análisis de la generación distribuida con diferentes fuentes de energía.

Se recomienda, además, realizar un análisis técnico y económico de la generación distribuida, para poder justificar su implementación.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **CASTILLO MUÑOZ, Franklin Andrés.** *Análisis de estabilidad de tensión en redes de distribución con generación distribuida.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
2. **ALDANA SALDAÑA, Eder Lubín; SALAZAR GARCÍA, Luis Augusto.** *Estudio y análisis de estabilidad de tensión para un sistema de generación distribuida en una red de media tensión.* 2009. p. 135.
3. **SEGURA HERAS, Isidoro.** *Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica.* Online. Valencia (Spain) : Universitat Politècnica de València, 2005. [Accessed 3 December 2022].
4. **HUILLCA CAMERON, Mathías.** *Diseño de generación distribuida empleando paneles solares fotovoltaicos y efectos en calidad de energía sobre la red de baja tensión.* Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2021.
5. **GUTIERREZ ATOCHE, Egberto Serafin.** *Análisis del impacto de la introducción de la generación distribuida en las redes de distribución eléctrica de la unidad de negocios Chiclayo-Electronorte S.A. de la Región de Lambayeque.* Lambayeque - Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2021.
6. **ESCALANTE NAVARRO, Edwin.** *Diseño de un sistema de generación distribuida para autoconsumo en el distrito de Soritor, provincia de Moyobamba en San Martín.* Lambayeque - Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
7. **ORDAYA FERNÁNDEZ, Rubén Eduardo.** *Mejoramiento de la confiabilidad implantando un sistema de generación distribuida en los sistemas eléctricos críticos de la Empresa Electrocentro SA.* 2019. p. 375.
8. **ARAUCO, Terry.** *Energía sustentable mediante la generación distribuida basada en vórtice gravitacional para poblaciones alejadas del alimentador A4027 de la S. E. San Francisco.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.
9. **ORGA ARAUJO, Gregorio Javier.** *Análisis de la generación distribuida y su tratamiento regulatorio en el Perú.* 2009. p. 152.
10. **BERNAL, César A.** *Metodología de la investigación.* 2010. p. 322.

ANEXOS



278 Avenida Progreso
Urb Shullo Uclo
Huancayo
Junín
84389181



278 Avenida Progreso
Urb Shullo Uclo
Huancayo
Junín
84389181



278 Avenida Progreso
Urb Shullo Uclo
Huancayo
Junín
84389181



231 Avenida Evitamiento
Urb Barrio Bantanyacu
Huancayo
Junín
84389181







261 Avenida Progreso
Urb Shullo Uclo
Huancayo
Junín
84389181