



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

Implementación de sistema de filtros en redes de baja tensión para
mejorar la calidad de energía de una empresa minera

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Bello Alvarado, Jorge Luis (orcid.org/0000-0003-1081-5273)

Cabrera Ulloa, Roni Maruy (orcid.org/0000-0003-4927-1859)

ASESOR:

Dr. Lujan López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Implementación de sistema de filtros en redes de baja tensión para mejorar la calidad de energía de una empresa minera", cuyos autores son CABRERA ULLOA RONI MARUY, BELLO ALVARADO JORGE LUIS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 01 de Agosto del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID: 0000-0003-1208-1242	Firmado electrónicamente por: JLUJAN el 01-08- 2024 19:27:51

Código documento Trilce: TRI - 0842788



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CABRERA ULLOA RONI MARUY, BELLO ALVARADO JORGE LUIS estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Implementación de sistema de filtros en redes de baja tensión para mejorar la calidad de energía de una empresa minera", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
JORGE LUIS BELLO ALVARADO DNI: 40163508 ORCID: 0000-0003-1081-5273	Firmado electrónicamente por: BALJORGE el 01-08-2024 21:46:52
RONI MARUY CABRERA ULLOA DNI: 73800220 ORCID: 0000-0003-4927-1859	Firmado electrónicamente por: RMCABRERAU el 01-08-2024 20:12:38

Código documento Trilce: TRI - 0842789

Dedicatoria

A nuestras familias por su amor incondicional y apoyo constante en cada paso de nuestras vidas, por ser una fuente de inspiración y por estar siempre a nuestro lado alentándonos a seguir adelante. Gracias por enseñarnos el verdadero valor del esfuerzo, la constancia, el ahínco y la perseverancia. A nuestros profesores por compartirnos sus enseñanzas, sabidurías y brindarnos las herramientas necesarias para alcanzar los objetivos trazados.

LOS AUTORES

Agradecimiento

Damos gracias a Dios, por otorgarnos salud y fortaleza cada día, permitiéndonos avanzar en nuestras metas y objetivos y llegar a este momento crucial en nuestra formación profesional.

Agradecemos profundamente a nuestros docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica por sus valiosas enseñanzas y criterios de formación profesional durante nuestro proceso de aprendizaje, así como por compartir sus experiencias profesionales relacionadas con nuestra carrera.

LOS AUTORES

Índice de contenidos

Carátula	i
Declaratoria de autenticidad del asesor	ii
Declaratoria de originalidad del autor(es).....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de gráficos y figuras	viii
Resumen	xii
Abstract	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	10
III. RESULTADOS.....	12
IV. DISCUSIÓN.....	109
V. CONCLUSIONES	113
VI. RECOMENDACIONES.....	114
REFERENCIAS	115
ANEXOS.....	118

Índice de tablas

Tabla 1. Revisión eléctrica del transformador N° 1.	12
Tabla 2. Puntos de medición.....	13
Tabla 3. Resumen de tensión.	29
Tabla 4. Resumen de corriente.	29
Tabla 5. Resumen de frecuencia.	29
Tabla 6. Resumen de Flicker.	30
Tabla 7. Resumen de distorsión armónica total.	30
Tabla 8. Resumen de potencia.	30
Tabla 9. Resumen de factor de potencia.....	30
Tabla 10. Detalle de presupuesto para sistema de filtro pasivo.	101
Tabla 11. Análisis de rentabilidad para filtros pasivos.	104
Tabla 12. Detalle de presupuesto para sistema de filtro pasivo.	105
Tabla 13. Análisis de rentabilidad para filtros pasivos.	108

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Registros de tensión-fases.....	19
Figura 2. Registro de tensión.	20
Figura 3. Registros de corriente-línea.	21
Figura 4. Registros de corriente.	22
Figura 5. Registros de frecuencia-Sistema eléctrico.	23
Figura 6. Registro estadístico de frecuencia-Sistema eléctrico.	24
Figura 7. Registro potencia activa.....	25
Figura 8. Registro estadístico de potencia activa-Consumo total.	26
Figura 9. Registro de armónicos.	27
Figura 10. Registro estadístico de armónicos.	28
Figura 11. Ubicación de medidores de calidad de energía Fluke 435-II y Circutor AR5L-150.	31
Figura 12. Diagrama completo del sistema eléctrico de la empresa minera sin filtros (Factor de potencia de 0.75).	39
Figura 13. Diagrama completo del sistema eléctrico con flujo de carga de manera general alimentado por los transformadores en la empresa minera (sin filtros y con factor de potencia de 0.75).	40
Figura 14. Diagrama de carga general alimentado por los generadores de la empresa minera.....	41
Figura 15. <i>Parámetros de trabajo del generador 1</i>	42
Figura 16. <i>Parámetros de trabajo del generador 2</i>	43
Figura 17. <i>Parámetros de operación de trafo 1 y trafo 2</i>	46
Figura 18. <i>Parámetros de trabajo del trafo de baja tensión (BT)</i>	48
Figura 19. <i>Parámetros de operación de cable N2XSY de 500 mm²</i>	49
Figura 20. <i>Gráfica de corriente máxima o Pick Up de cable N2XSY de 500 mm²</i> .50	
Figura 21. <i>Gráfica de corriente de fase A, B, C en terminal de cable N2XSY de 500</i>	

<i>mm</i> ²	51
Figura 22. <i>Gráfica del cable N2XSY de 500 mm</i> ² (3).....	52
Figura 23. <i>Gráfica de corriente máxima o Pick Up de cable N2XSY de 120 mm</i> ² para 30 kV.	53
Figura 24. <i>Datos del generador GE1 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).</i>	54
Figura 25. <i>Datos del generador GE1 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia activa, límites de potencia activa).</i>	55
Figura 26. <i>Datos del generador GE2 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).</i>	56
Figura 27. <i>Datos del generador GE2 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia activa, límites de potencia activa).</i>	57
Figura 28. <i>Datos del trafo 1 con factor de potencia de 0.75.</i>	58
Figura 29. <i>Datos del trafo 2 con factor de potencia de 0.75.</i>	59
Figura 30. <i>Diagrama completo del sistema eléctrico de la subestación N° 1 de la empresa minera con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.</i>	60
Figura 31. <i>Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los transformadores con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.</i>	61
Figura 32. <i>Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los generadores con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.</i>	62
Figura 33. <i>Paso 1 para agregar el filtro pasivo.</i>	63
Figura 34. <i>Paso 2 para agregar el filtro pasivo.</i>	64
Figura 35. <i>Paso 3.1 para agregar el filtro pasivo.</i>	65
Figura 36. <i>Paso 3.2 para agregar el filtro pasivo.</i>	66
Figura 37. <i>Paso 4 para agregar el filtro pasivo.</i>	67
Figura 38. <i>Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 500 mm</i> ² con filtro pasivo.....	68
Figura 39. <i>Gráfica de barrido de frecuencia en el cable N2XSY de 500 mm</i> ² con filtro	

<i>pasivo</i>	69
Figura 40. <i>Porcentaje de trabajo del cable N2XSY de 500 mm² con filtro pasivo</i> .	70
Figura 41. <i>Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 120 mm² con filtro pasivo</i>	71
Figura 42. <i>Porcentaje de trabajo de los transformadores 1 y 2 con filtro pasivo</i> ...	72
Figura 43. <i>Porcentaje de trabajo de los generadores 1 y 2 además del cable de transmisión con filtro pasivo</i>	73
Figura 44. <i>Datos del generador GE1 con filtro pasivo y factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado)</i>	74
Figura 45. <i>Datos del generador GE1 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa)</i>	75
Figura 46. <i>Datos del generador GE2 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado)</i>	76
Figura 47. <i>Datos del generador GE2 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa)</i>	77
Figura 48. <i>Datos del trafo 1 con factor de potencia de 0.96 y filtro pasivo</i>	78
Figura 49. <i>Datos del trafo 2 con factor de potencia de 0.96 y filtro pasivo</i>	79
Figura 50. <i>Diagrama completo del sistema eléctrico de la subestación N° 1 de la empresa minera con filtro activo además de factor de potencia 0.96</i>	80
Figura 51. <i>Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los transformadores con filtro activo además de factor de potencia 0.96</i>	81
Figura 52. <i>Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los generadores con filtro activo además de factor de potencia 0.96</i>	82
Figura 53. <i>Parámetros de trabajo del generador 1</i>	83
Figura 54. <i>Parámetros de trabajo del generador 2</i>	84
Figura 55. <i>Parámetros de operación de trafo 1 y trafo 2 con filtro activo y factor de potencia de 0.96</i>	87
Figura 56. <i>Parámetros de trabajo del trafo de baja tensión (BT) con filtro activo y factor de potencia de 0.96</i>	89

Figura 57. <i>Parámetros de operación de cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo y factor de potencia de 0.96.</i>	90
Figura 58. <i>Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.</i>	91
Figura 59. <i>Gráfica de barrido de frecuencia en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.</i>	92
Figura 60. <i>Porcentaje de trabajo del cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.</i> ..	93
Figura 61. <i>Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 120 mm² con filtro activo.</i>	94
Figura 62. <i>Datos del generador GE1 con filtro activo y factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).</i>	95
Figura 63. <i>Datos del generador GE1 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).</i>	96
Figura 64. <i>Datos del generador GE2 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).</i>	97
Figura 65. <i>Datos del generador GE2 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).</i>	98
Figura 66. <i>Datos del trafo 1 con factor de potencia de 0.96 y filtro activo.</i>	99
Figura 67. <i>Datos del trafo 2 con factor de potencia de 0.96 y filtro activo.</i>	100

Resumen

La investigación aporta al ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante. El estudio tuvo como objetivo general evaluar la influencia de la implementación de un sistema de filtros en las redes de baja tensión para mejorar la calidad de energía en una empresa minera. Siendo una investigación aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental. El sistema eléctrico de la empresa minera registró valores de corriente de línea de -0.9%, dentro del límite, pero con una distorsión de armónicos de 15.91%, fuera del límite, con un factor de potencia bajo de 0.75. Para poder mejorar la calidad de energía del sistema eléctrico se seleccionaron dos bancos de condensadores Schneider Electric de PowerLogic de 750 kVAR para 480VAC y un filtro de 520 A conformado por dos gabinetes N2 de 200 A y un envolvente de 120 A, ambos trabajando a 380-480VAC. El software DigSilent Power Factory permitió verificar que utilizar sistemas de filtros activos y pasivos logran una mejora significativa en el sistema eléctrico, mejorando el factor de potencia a 0.96, reduciendo pérdidas de energía y armónicos. Finalmente, los filtros pasivos son la mejor opción porque permiten recuperar la inversión en 5.50 años, con un VAN de S/.429376.75 y TIR de 22.47%.

Palabras clave: Filtro activo, filtro pasivo, calidad de energía, factor de potencia.

Abstract

The research contributes to SDG 7: Affordable and Clean Energy. The general objective of the study was to evaluate the influence of the implementation of a filter system in low voltage networks to improve the quality of energy in a mining company. Being an applied research, quantitative approach and experimental design. The electrical system of the mining company registered line current values of -0.9%, within the limit, but with a harmonic distortion of 15.91%, outside the limit, with a low power factor of 0.75. In order to improve the power quality of the electrical system, two Schneider Electric PowerLogic 750 kVAR capacitor banks for 480VAC and a 520 A filter consisting of two 200 A N2 cabinets and a 120 A enclosure were selected, both working at 380-480VAC. The DigSilent Power Factory software allowed us to verify that using active and passive filter systems achieves a significant improvement in the electrical system, improving the power factor to 0.96, reducing energy losses and harmonics. Finally, passive filters are the best option because they allow the investment to be recovered in 5.50 years, with a NPV of S/.429376.75 and IRR of 22.47%.

Keywords: Active filter, passive filter, power quality, power factor.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las empresas invierten en la gestión para mejorar los indicadores energéticos, por ende, los equipos que operan en la red eléctrica con una excelente calidad de energía brindarán resultados económicamente rentables, de allí la importancia que la calidad de energía no esté contaminada con ningún tipo de perturbación. Por ello el seguimiento de parámetros operacionales con valores normales nos definen como una red eléctrica con calidad de energía libre de perturbaciones como armónicos, excesos de potencia reactiva, desbalances de corriente y tensión entre otros (Perez, 2022). Por lo tanto, es importante, que las soluciones propuestas para resolver los problemas de calidad de la energía deban garantizar que, bajo cualquier condición de problemas de red, el voltaje entregado a la carga sea estándar (Razmi et al., 2023; Abas et al., 2020).

En el ámbito internacional, el incremento de cargas no lineales y consumidores de potencia reactiva no solo conlleva a un deterioro en la calidad de la energía eléctrica, sino también a pérdidas debidas a la potencia reactiva y la potencia de distorsión (Dybko, 2023; Barbosa et al., 2020). Por otro lado, el creciente uso de estas cargas no lineales pone en peligro la confiabilidad de los equipos eléctricos y las redes eléctricas (Kumar et al., 2022). Por ello, para garantizar la calidad de la energía y cumplir con los estándares de la red, los filtros de potencia activa de derivación basados en inversores de fuente de voltaje se utilizan ampliamente para compensar la potencia reactiva fundamental y la potencia de distorsión de cargas no lineales, como por ejemplo los variadores de velocidad (Bosch et al., 2023; Torabi et al., 2020).

A nivel nacional, a través de la entidad encargada de supervisar la inversión en el sector de energía y minería, OSINERGMIN, se establecen criterios relativos a la tolerancia de los efectos de fluctuación de voltaje (Flícker) y la presencia de tensiones armónicas. Se requiere que los índices de severidad del Flícker (Pst) se mantengan por debajo de la unidad ($Pst \leq 1$) en las categorías de Alta, Media y Baja Tensión. Asimismo, se establece un valor límite para la irritabilidad asociada a la fluctuación de luminancia, que debe ser igual a 1 (Pst'). En cuanto a las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y la Distorsión Armónica Total (THD), se exige que sus valores eficaces (RMS), expresados como porcentaje de la tensión nominal en el punto de medición correspondiente, no superen los límites predefinidos (V_i' y THD')

(OSINERGMIN, 2021).

La empresa minera tuvo un incidente en su planta donde salieron fuera de servicio 14 variadores por perturbaciones del tipo sobretensiones, para ello solicitaron realizar un Estudio de Calidad de Energía en el Interruptor Principal del Tablero de Distribución Subestación N°01 con el cual se podrá determinar los parámetros eléctricos y sobre todo la Distorsión de Demanda Total en el acoplamiento del punto común y determinar si el valor se encuentra dentro del parámetro permitido (RPP TEC, 2023).

La Empresa minera está ubicada en el distrito de Paramonga, provincia de Barranca, departamento de Lima, se dedica al procesamiento de mineral de oro mediante el método de lixiviación. La empresa tuvo un crecimiento bastante acelerado, motivo por el cual no se consideraron ciertos parámetros de ingeniería ni proyecciones a mediano ni largo plazo. Por lo cual, la inyección de electrónica de potencia, equipos de iluminación led, rectificadores de corriente, hornos de inducción, sistemas de aire acondicionado, entre otros ha originado que se produzcan perturbaciones en la red eléctrica de baja tensión como la distorsión armónica, llegando a tener armónicos hasta de orden 5 y 7, los cuales ocasionen fallas en los equipos e instalaciones eléctricas y en consecuencia generan impactos negativos en el proceso productivo además de costos elevados en la facturación por exceso de potencia reactiva en el sistema. Por ejemplo, en el mes de setiembre el consumo total de energía alcanzó los 1,336,873.45 kWh y la potencia reactiva fue de 615,008. 832 kVAr, superando en 213,946.797 kVAr el 30 % de la energía activa total permitida (401,062.035 kWh) lo que obligó a la empresa minera a pagar una penalidad de S/ 11,317.79 en su facturación.

Para Deffaf et al. (2023) las posibles causas de tener una mala calidad de energía son debido a la creciente existencia de cargas no lineales, como ordenadores personales, iluminación led, impresoras e instalaciones de aire acondicionado, variadores de velocidad, etcétera (Michalec et al., 2021). Una característica de estas cargas no lineales es que en el espectro de armónicos de corriente hay armónicos de frecuencia significativamente baja (Popescu et al., 2021). En la empresa minera las principales causas que ocasionan una mala calidad de energía son las cargas no lineales que se encuentran en la instalación, las cuales generan una gran cantidad de

armónicos hasta de orden 7.

Las principales consecuencias a la cual conlleva que exista una gran cantidad de componentes armónicos en el voltaje y la corriente conducen a pérdidas armónicas adicionales en el sistema, lo que aumentará la temperatura del elemento filtrante y el dispositivo de potencia. Y los armónicos también afectarán la calidad de energía de la red incluso causarán oscilación armónica, lo que afectará seriamente la confiabilidad del sistema (Fang et al., 2023).

La investigación contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7: Energía Asequible y No Contaminante, específicamente a la meta 7.3, que busca duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

Debido a la problemática descrita se procedió a plantear el siguiente problema: ¿Cuál es la influencia de la implementación de un sistema de filtros en las redes de baja tensión para mejorar la calidad de energía en una empresa minera?; y las siguientes preguntas específicas: ¿Cuál es la calidad de energía en la empresa minera?, ¿Cuál es el dimensionamiento de un sistema de filtros en las redes de baja tensión en la empresa minera?, ¿Cómo evidenciar la influencia del sistema de filtros en la calidad de energía en la empresa minera?, ¿Cuál es la factibilidad económica de la implementación de un sistema de filtros para las redes de baja tensión en la empresa minera?.

La investigación se justifica desde la perspectiva económica, dado que la calidad de energía está relacionada directamente con los costos por consumo de energía eléctrica. Desde el punto de vista social, se tuvo un mejor control con respecto a los criterios de la calidad de energía, por ende, deben ser aceptables y se encuentren dentro del rango permitido según norma. Desde el enfoque ambiental, al tener una buena calidad de energía se reduce la operación de grupos electrógenos, por ende, menos emisión de gases contaminantes al medio ambiente (Silva et al., 2021).

Para abordar este problema se propuso el siguiente objetivo general: Evaluar la influencia de la implementación de un sistema de filtros en las redes de baja tensión para mejorar la calidad de energía en una empresa minera. Para lograr el desarrollo del objetivo general, se proyectan los sucesivos objetivos específicos: (1) Evaluar la

calidad de energía en una empresa minera (2) Dimensionar un sistema de filtros en las redes de baja tensión en una empresa minera, considerando dos tipos de filtros para realizar un análisis comparativo (3) Simular el sistema de filtros para determinar la calidad de energía en una empresa minera mediante el software DigSILENT (4) Evaluar la factibilidad económica de la implementación de un sistema de filtros para las redes de baja tensión de una empresa minera.

Respondiendo a la formulación del problema, se propuso la siguiente hipótesis: La implementación de un sistema de filtros de armónicos mejoró la calidad de energía eléctrica y generará ahorro por la reducción de la potencia reactiva en las redes de baja tensión de la empresa minera.

En investigaciones realizadas a nivel internacional se encontró a Dybko (2023), quien, en su investigación desarrollada para los sistemas de suministros de energía de las regiones del norte de Tomsk Rusia, busco aumentar la eficiencia del uso de la electricidad en los sistemas de suministro de energía mediante el uso de sistemas de almacenamiento y filtros de potencia activa, para esto se estudió los sistemas de suministro del norte de Rusia. Para dicho estudio se llevó a cabo una modelación matemática utilizando el método espectral de análisis y funciones de conmutación; se compiló un modelo matemático discreto de un rectificador de puente controlado por tiristores trifásico; se compiló un modelo matemático discreto de filtros de potencia activa, todo esto mediante modelado en el software Matlab Simulink. En esta investigación se obtuvieron los resultados del cálculo de los procesos electromagnéticos en el circuito de potencia de los filtros de potencia activa, los parámetros integrales de la carga de corriente de los interruptores de potencia del inversor de los filtros de potencia activa, las pérdidas estáticas y dinámicas en los filtros de potencia activa, los indicadores de eficiencia energética de los filtros de potencia activa. Se concluyó que el aparato matemático presentado, basado en el método de conmutación de funciones y el método espectral, permite calcular todas las variables eléctricas para evaluar la eficiencia energética de los filtros de potencia activa.

Por otro lado, Gonzalez-Abreu et al. (2022) en su investigación realizada en San Juan del Río, México, buscó presentar una visión general de los avances en las metodologías aplicadas al análisis de la calidad de la energía para detectar, identificar

y clasificar las perturbaciones de potencia que afectan al funcionamiento de los motores y accionamientos, pero también cómo los motores y accionamientos generan efectos adversos a la red, por ende para este estudio se usó el motor asíncrono o de inducción junto con su accionamiento eléctrico, ya que son los más usados en la industria. Para esta investigación se describieron y analizaron las discusiones de varios trabajos de investigación de cómo una mala calidad de la energía afecta a los principales equipos utilizados a nivel industrial. Por lo cual se puede determinar que los accionamientos eléctricos y los motores, especialmente los primeros, afectan la calidad de la energía y producen efectos indeseables. Se pudo concluir que existe una relación mutua entre los motores y los accionamientos con la calidad de la energía.

Por su parte, Abou et al. (2023), en su investigación efectuada en Teherán, Irán, busco aliviar los problemas de calidad de energía causadas por cargas no lineales utilizando módulo de filtro de potencia activa, para ello como muestra de estudio uso los paneles solares fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento de baterías, la implementación del sistema y el análisis se llevan a cabo mediante el software Matlab-Simulink. Se puede inferir que las oscilaciones de voltaje y corriente continua en el módulo convertidor elevador son mucho más bajas que el enfoque convencional sin modulo convertidor elevador. Se concluye que el módulo de filtro de potencia activa conectada al sistema de almacenamiento de energía en baterías basada en el método propuesto en los cuatro estudios de caso (con varias cargas no lineales) puede disminuir los armónicos de la corriente de carga en el rango estándar (2 %-5 %).

Además Talebi et al. (2023), en su investigación hecha en la Institución de Ingenieros de la India, pretenden suprimir efectivamente la existencia de armónicos con mejor capacidad de inyección de potencia reactiva a través de la implementación de filtros activos de potencia para mejorar la calidad de energía, usando tres técnicas de filtrado como activas, pasivas e híbridos, como objeto de estudio se usó los hornos de arco eléctrico, para la simulación de esta investigación se hizo uso del software Matlab - Simulink. Se concluye que, al hacer la simulación de los tres tipos de filtrado, el híbrido es el más factible. De acuerdo con el análisis, los resultados generales indican que el nivel de armónicos se reduce efectivamente al 5,37% con el uso de

filtros híbridos.

Además Iqbal et al. (2021), en su indagación realizada en el Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática, CUI Lahore Campus, Lahore, Pakistán, presentaron un enfoque tecno-económico eficiente para suprimir armónicos y mejorar el factor de potencia en redes de distribución de energía utilizando filtros de potencia activa híbridos de derivación basados en algoritmos de redes neuronales Red Neuronal Artificial (ANN), Sistema de Inferencia Neuro-Difusa Adaptativa (ANFIS) y Red Neuronal Recurrente (RNN), para realizar las simulaciones de este estudio se usó el software Matlab-Simulink. Los resultados de la simulación muestran que las técnicas de control de filtros basadas en redes neuronales satisfacen todos los estándares internacionales con distorsión armónica total de corriente mínima, eliminación de corriente de cable neutro y pequeñas fluctuaciones de voltaje para la corriente de regulación. Se concluye que de las tres arquitecturas de redes neuronales propuestas comparado en función de la precisión y la complejidad computacional, la Red Neuronal Recurrente (RNN) supera al resto.

Para Chahine et al. (2023), en su investigación realizada en la Universidad Americana del Oriente Medio, Kuwait, proponen el método del lápiz matricial, una técnica basada en modelos para estimar parámetros de sinusoides exponencialmente amortiguados o no amortiguados en ruido, para extraer la señal de referencia en aplicaciones de filtros de potencia activa de derivación, para llevar a cabo la simulación de esta propuesta si hizo uso del software Matlab-Simulink, las muestras adquiridas en diferentes condiciones de carga revelan que el método propuesto corrige el factor de potencia y proporciona una distorsión armónica total de corriente de fuente más baja y una respuesta rápida. Se concluye que los resultados obtenidos atestiguan el aumento en la calidad de la energía del método de lápiz matricial para la extracción de señales de referencia en aplicaciones de filtros de potencia activa.

Por su parte Longhai (2022), en su investigación desarrollada en el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en Yantai, China. Propone un algoritmo de detección de filtro activo de tipo paralelo basado en control inverso adaptativo para controlar y seguir el voltaje del capacitor de CC, obtener la señal de comando que necesita el filtro activo y lograr el propósito del control armónico y la compensación de potencia reactiva, para realizar la simulación se hizo uso del

software Matlab Simulink,, Los resultados de la simulación muestran que la corriente de la red después de la compensación es similar a la forma de onda sinusoidal estándar, lo que indica que el algoritmo tiene un mejor rendimiento de compensación. Se concluye que el filtro activo de tipo derivación basado en control inverso adaptativo tiene las características de una respuesta dinámica rápida y un buen seguimiento.

En el ámbito nacional, Yupanqui (2021), en la investigación desarrollada en la facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la universidad Pedro Ruiz Gallo de la ciudad de Lambayeque, se propuso la selección de un sistema de filtros con el objetivo de atenuar los efectos de las armónicas y mejorar la calidad de la energía eléctrica en dicha facultad. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó el equipamiento eléctrico de los tableros de distribución del CEPROSE-FIME y se aprovechó el laboratorio de máquinas eléctricas. Para medir estos parámetros, se emplearon un analizador de calidad de energía Power Quality Analyzer MI 2192 y un analizador Analyst 3P LEM. Como resultado de esta investigación y las mediciones correspondientes, se determinó que la elección de un filtro activo es la solución adecuada, ya que su versatilidad permitirá una reducción significativa del THDI generado en el Centro de Producción FIME. En particular, debido a las características de los equipos de soldar, se observó que este efecto se manifestaba de manera más notable, reduciendo el THDI desde un 96.12 % a un valor que se sitúa dentro de los estándares normativos, es decir, por debajo del 5 %.

Para definir la calidad de energía Li et al. (2021), se refiere principalmente a la propiedad relacionada con la configuración de la energía en las redes eléctricas, las formas de potencia generadas por diversas fuentes energéticas y los patrones de demanda energética a lo largo del tiempo. Este concepto, que experimenta variaciones en función del tiempo y la ubicación, es cuantificable en diferentes lugares y en intervalos temporales que van desde segundos hasta periodos de largo plazo. Por otro lado, IEEE Std 1159 (1995) dice que la calidad de la energía se enfoca en asegurar que los dispositivos electrónicos susceptibles reciban una alimentación apropiada y estén debidamente conectados a tierra para operar correctamente. En el marco de esta investigación, se caracteriza la calidad de la energía como la ausencia de irregularidades en los parámetros de voltaje, corriente y frecuencia, las cuales podrían desviar los resultados operativos y ocasionar fallas o un desempeño

deficiente en los equipos de la empresa.

Desde la perspectiva de las normativas técnicas que regulaban la calidad de los servicios eléctricos, se llevaba a cabo una evaluación de la calidad del servicio ofrecido al cliente, considerando factores como el voltaje, la frecuencia y las interacciones en los puntos de entrega. Este control de calidad se realizaba de manera regular en lo que se denominaban "Períodos de Control", que tenían una frecuencia mensual. El indicador utilizado para medir la calidad de la tensión suministrada en un intervalo de medición (k) era la discrepancia (ΔV_k) entre el promedio de los valores eficaces instantáneos registrados en el punto de entrega (V_k) y el valor nominal de tensión (V_N) en el punto de suministro. Conforme a las normativas, se establecía que la tolerancia de la tensión nominal en los puntos de entrega de energía no debía superar el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales, sin importar los niveles y etapas de tensión involucrados (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

El principal parámetro utilizado para evaluar la frecuencia de suministro eléctrico en un intervalo de medición (k) era la discrepancia (Δf_k) entre la media (f_k) de los valores automáticos de frecuencia medidos en un punto específico de la red de corriente alterna, conectado al punto de entrega, y el valor nominal de frecuencia (f_N) del sistema. Se definían márgenes aceptables para las variaciones en la frecuencia nominal en todos los niveles de tensión. Para las variaciones sostenidas ($\Delta f_k'$), se permitía un rango de $\pm 0.6\%$, y para las variaciones súbitas (VSF'), el límite era de $\pm 1.0\text{Hz}$. En relación con la evaluación de la calidad en términos de "Flicker", se empleaba el índice de severidad por fluctuación de corta duración (P_{st}), cuyo cálculo sigue las Normas IEC. Este indicador no debía exceder el valor unitario ($P_{st} < 1$) en las categorías de Alta, Media y Baja Tensión. Asimismo, se establecía un umbral de $P_{st}'=1$ como el punto en el que comenzaban a percibirse molestias asociadas a la fluctuación máxima de luminancia. En cuanto a las "Armónicas", los valores eficaces (RMS) de los voltajes armónicos individuales (V_i) y la Distorsión Armónica Total (THD) no debían superar los valores límite (V_i' y THD'). Estos límites se expresaban como porcentaje de la tensión nominal en el punto de medición correspondiente y se detallaban en una tabla específica (OSINERGMIN, 2021).

Para Miyara (2004), un sistema de filtro activo se definía como un dispositivo que modifica de manera específica una señal, ya sea una magnitud eléctrica como corriente o tensión, a medida que fluía a través de él. Por otra parte, Cárdenas et al. (2009) indican que un filtro activo de potencia se compone de un conjunto de componentes hardware y software que se ejecutaban en un procesador. Este filtro activo se estructuraba en cinco bloques claramente definidos. Convertidor de potencia: Este bloque se compone de circuitos electrónicos que regulaban el flujo de corriente entre el sistema de almacenamiento del filtro y la red eléctrica. Enlace de corriente entre el convertidor y el punto de conexión a la red: Este enlace, que utiliza una inductancia, facilitaba el flujo de corriente entre el convertidor de corriente y la red eléctrica. Controlador: El controlador era responsable de recibir información sobre el estado de las perturbaciones en la señal, analizar esta información y generar las compensaciones necesarias para las corrientes y tensiones armónicas, así como la corrección de la energía reactiva. Almacenamiento de energía: Este componente estaba compuesto principalmente por capacitores o bobinas que almacenaban energía para su liberación según las necesidades del sistema. Dispositivo de acondicionamiento de señal: Su función principal era transformar las señales de tensión y corriente en formatos que podía ser procesados por el hardware del filtro activo.

El diseño de filtros de potencia activos para diversas cargas no lineales es una tarea que conllevaba mucho tiempo, debido a la amplia gama de cargas que generaban contaminación y a las complejas formas de onda de sobre corriente que se presentaban. Para abordar esta limitación, se presentaban enfoques y métodos que facilitaban el diseño de filtros de potencia activos en configuración paralela Martínez et al. (2021). Estos filtros activos incorporaban una serie de componentes que determinaban las condiciones de operación y el rendimiento del filtro. Los distintos enfoques mencionados se centraban en simplificar el proceso de diseño, reduciendo la complejidad de los análisis, sin comprometer la fiabilidad del funcionamiento final del dispositivo. Los métodos de diseño de filtros de potencia activos se podían categorizar en dos grupos: aquellos orientados a tipos específicos de cargas que era compensables y los relacionados con el diseño del convertidor (Leiva, 2020).

II. METODOLOGÍA

De acuerdo a su finalidad, la investigación era tipo aplicada, ya que se centraba en resolver un problema referente a la calidad de energía en las redes de baja tensión de una empresa minera. Según Vargas (2009) su propósito de esta investigación es resolver o mejorar una situación específica o particular, en base a conocimientos adquiridos. De enfoque cuantitativo ya que se contaba con una hipótesis y se efectuó la recaudación de datos para luego ser comparados de manera estadística. La metodología de investigación adoptada fue de naturaleza experimental, ya que implicaba la manipulación de la variable "filtros activos de potencia" para alterar la variable "calidad de energía", con el propósito de medir cuantitativamente el efecto que una tiene sobre la otra. Específicamente, se aplicó un diseño preexperimental, que involucraba la realización de pruebas antes y después de la intervención, sin requerir la comparación con un grupo de control, sino únicamente utilizando un grupo experimental.

La investigación tuvo como variable independiente al sistema de filtros. Para Miyara (2004), un filtro se define como un dispositivo que alteraba de manera específica una señal que fluía a través de él, ya sea una magnitud eléctrica, como corriente o tensión. La variable dependiente considerada fue la calidad de energía, que según Li et al. (2021), decían que la calidad de la energía se refería principalmente a la calidad de la forma de onda del flujo de energía en las redes eléctricas, las formas de onda de potencia de salida de las fuentes de generación de energía, así como las formas de onda de demanda de energía (perfiles) a lo largo del tiempo. La "calidad de la energía", que dependía del tiempo y está relacionada con la ubicación, se puede medir en diferentes ubicaciones en diferentes escalas de tiempo, desde segundos hasta períodos a largo plazo. En el Anexo 1 se podía visualizar la matriz de operacionalización de variables donde se resumía toda la información sobre las variables, su definición conceptual y operacional, además de sus dimensiones, indicadores y escala de medición.

La población estuvo conformada por las redes eléctricas de Baja Tensión de las 107 empresas mineras registradas en el Régimen General del Perú. La muestra estuvo conformada por la red eléctrica de baja tensión de la empresa minera ubicada en Paramonga – Lima. El tipo de muestreo empleado fue mediante la técnica de

muestreo no probabilística por conveniencia. Con una unidad de análisis equivalente a una subestación eléctrica de baja tensión.

En la presente investigación se utilizó como técnica de recolección de datos, al análisis documental para ambas variables, sistema de filtros y calidad de energía en redes de baja tensión de la empresa minera. Como instrumentos de recolección de datos, se utilizó a la ficha de registro para ambas variables.

En relación al método de análisis de datos, una vez obtenidos los datos a través del analizador de redes se procedió a ser analizados mediante el software Powerview. En este software se descargaron todos los parámetros medidos para luego ser exportados a un archivo Excel, donde se filtrará y procederá a realizar la selección de parámetros y explicar mediante gráficos y tablas las variaciones registradas. Así mismo para la confrontación de la hipótesis se usó la prueba t de Student.

Respecto a los aspectos éticos, el presente estudio de investigación se rigió por principios éticos que salvaguardaron la autonomía y el respeto a los derechos de autor. Se dio especial consideración a las fuentes de información relevantes para la construcción del marco teórico y el diseño metodológico del proyecto, asegurando una adecuada atribución a cada autor. Se llevaron a cabo las citas bibliográficas siguiendo las Normas ISO, asegurando la integridad intelectual de las ideas y conocimientos empleados en esta investigación. Se procuró resguardar el derecho de las personas para que eligieran participar libremente en el avance de este estudio. Se aseguró que el proyecto se centrará en el bienestar y no tuviera intenciones de ocasionar daño moral a aquellos individuos y entidades que optaron por involucrarse en él. En el marco de esta investigación, se otorgó especial importancia al principio de justicia, fomentando la inclusión y repudiando de manera contundente cualquier tipo de discriminación. Asimismo, se asumió la responsabilidad de asegurar la veracidad de los resultados y la integridad de la información recopilada durante la investigación. Para lograrlo, se llevó a cabo una minuciosa evaluación y análisis de los resultados utilizando el programa anti plagio Turnitin, garantizando la autenticidad y la calidad de los descubrimientos obtenidos.

III. RESULTADOS

3.1. Evaluar la calidad de energía en una empresa minera

El objetivo de este estudio se desarrolló bajo los lineamientos de las Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE) y el standard IEEE519-2014 que tiene como finalidad llevar a cabo mediciones de los parámetros eléctricos durante 08 días calendarios como mínimo de manera continua.

Antecedentes

La empresa minera actualmente tuvo un incidente en su planta el 16/08 donde salieron fuera de servicio 14 variadores ante el funcionamiento de sus generadores por un corte de energía, para ello se solicitó realizar un Estudio de Calidad de Energía en el Interruptor Principal del Tablero de Distribución Subestación N°01 con el cual se pudo determinar los parámetros eléctricos y sobre todo la Distorsión de Demanda Total en el acoplamiento del punto común y determinar si el valor se encuentra dentro del parámetro permitido.

Datos del suministro

Concesionario: EMSEMSA

Sistema: 13.8 kV / trifásico / 60 Hz

Potencia contratada: 2 500 kW

Tabla 1. Revisión eléctrica del transformador N° 1.

Producto / Modelo:	JASATEC TTA
Conexión:	Estrella
N° serie:	5747
Tensión de servicio:	460 VAC
Frecuencia de línea:	60 Hz
Corriente máxima por fase:	3137.8 A
Potencia:	2 500 kVA
N° fases:	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. *Puntos de medición.*

N°	Transformador	Punto de medición en TG
N°1	Marca: JASATEC SAC Serie:5747 Tensión:138-22.9 KVA/460 V Potencia: 2500 kVA Grupo conexión: Delta/estrella/Estrella	TG N°1 460V, 3Ø,60Hz
N°2	Marca: JASATEC SAC Serie:5748 Tensión:138-22.9 KVA/460 V Potencia:2500 kVA Grupo conexión: Delta-estrella/Estrella	TG N°2 460V, 3Ø, 60Hz
N°	CIRCUITOS	Punto de medición en TG
N°1	Origen: TRANSFORMADOR N°1 Destino: Sala de bombas de molinenda Tensión 460 V	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN 01 460V, 3Ø, 60Hz
N°2	Marca: TRANSFORMADOR N°1 Destino: Tanques de lixiviación Tensión: 460V	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN 01 460V,3Ø, 60Hz

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar dicho estudio, se emplearon las siguientes referencias técnicas y normativas.

- NTCSE 5.0.2, Mediciones para calidad de energía por un lapso mínimo de 8 días calendarios.
- NTCSE 5.1.2, Se considera (+/-) 5% de tolerancia del valor nominal de la tensión.
- NTCSE 5.2.3, Se considera (+/-) 1Hz. de tolerancia de la frecuencia nominal.
- NTCSE 5.3.3 (a), Umbral de irritabilidad asociada a la fluctuación máxima igual a 1.
- NTCSE 5.3.3 (b), Límite máximo de distorsión es 8% (para tensiones menores o iguales a 60kV).
- IEEE519-2014, Límite máximo de distorsión (TDDC).

- IEC 61000-4-30, Procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad del suministro eléctrico para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables.
- IEEE STD 1459-2010, Definiciones estándar para las medidas de cantidades de energía eléctrica bajo condiciones sinusoidales, no sinusoidales, balanceadas y desbalanceadas.

El presente Estudio de Calidad de Energía se realizó con el equipo Analizador de Redes FLUKE-435 II con sus accesorios de conexión, el cual cuenta con certificado de calibración vigente. En el Anexo 5 se aprecian las fichas técnicas de los materiales y equipos empleados para efectuar el objetivo específico. A continuación, se describen:

- Analizador de redes Fluke 435-II.
- Traje contra arco eléctrico 47 cal/cm².
- Guantes dieléctricos clase 00, 500 VDC.
- Protector facial contra arco eléctrico.
- Zapatos dieléctricos de 10 kV.

Entre los parámetros medidos, se consideraron los siguientes:

- Tensión.
- Corriente.
- Frecuencia.
- Distorsión armónica total de tensión (THDV).
- Distorsión de demanda total de corriente (TDDC).
- Potencia activa.
- Potencia reactiva.

- Potencia aparente.
- Flicker.
- Factor de potencia.

Criterios de Evaluación de Parámetros Eléctricos

Evaluación de Tensión

El indicador para evaluar la tensión (ΔV_K) en un intervalo de medición de 15 minutos, es la diferencia entre la medida de valores eficaces (RMS) instantáneos medidos respecto al valor de la tensión nominal (V_N).

Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto eléctrico medido.

$$\Delta V_K = \frac{(V_K - V_N)}{V_N} \times 100\% \quad (1)$$

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales por un tiempo superior al cinco por ciento (5%) del periodo de medición (NTCSE 5.1.2).

Evaluación de Corriente

El parámetro de corriente registrado durante el periodo de medición en su máxima demanda en amperios a lo que es denominado como el consumo de las cargas instaladas. La intensidad de corriente es la carga eléctrica que atraviesa por un sistema eléctrico de media o baja tensión en una unidad de tiempo durante el proceso productivo el cual está siendo monitoreo mediante un analizador de redes.

Evaluación de frecuencia

La frecuencia eléctrica es una variable que depende del balance entre la energía generada y consumida en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). La frecuencia eléctrica presenta un intervalo de variación cuya tolerancia en operación

normal es de $\pm 0.6\%$ respecto a la frecuencia nominal de 60 Hz (entre 59.64 Hz y 60.36Hz) por un tiempo superior al uno por ciento (1%) del periodo de medición (NTCSE 5.2.3).

Evaluación de Distorsión Armónica Total de Tensión

Los armónicos se miden en el voltaje del punto de conexión común del sistema, los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores de THD = 3.0% para alta y muy alta tensión, TDH = 8% para media y baja tensión (NTCSE 5.3.3 (b)).

Evaluación de Distorsión de Demanda Total de Corriente

Los límites se aplican a usuarios conectados a sistemas donde la tensión nominal en el punto de conexión común es 120 V a 69 kV en la cual los usuarios deben limitar sus corrientes armónicas y considerar la corriente de demanda máxima y de corto circuito.

- I_{sc} : Máxima corriente de cortocircuito en el punto eléctrico en análisis
- I_L : Máxima corriente de carga durante operación normal

La distorsión total de demanda (TDD) está definida mediante la siguiente ecuación:

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{i=1,2,3\dots}^{40} (I_i)^2}}{I_L} \quad (2)$$

Es necesario mencionar que el estándar IEEE 519 representa una recomendación basada en las buenas prácticas para el control de los límites de emisión de corrientes armónicas y sus recomendaciones aclaran que son aplicables a puntos de conexión común. Para el caso en estudio por lo tanto sería aplicable directamente a los secundarios de los transformadores de las instalaciones eléctricas. (IEEE-Std-519-2014).

Evaluación de Potencia Activa

La denominada “potencia activa” representa en realidad la “potencia útil” que

realmente se aprovecha cuando ponemos en marcha un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Por ejemplo, la energía que entrega el eje de un motor cuando pone en movimiento un mecanismo o maquinaria, la del calor que proporciona la resistencia de un calentador eléctrico, la luz que proporciona una lámpara, etc.

Evaluación de Potencia Reactiva

La potencia reactiva es la consumen los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina o enrollado para crear un campo electromagnético. Esas bobinas o enrollados que forman parte del circuito eléctrico de los equipos y constituyen cargas para el sistema eléctrico que consumen tanto potencia activa como potencia reactiva y de su eficiencia de trabajo depende el factor de potencia. Mientras más bajo sea el factor de potencia, mayor será la potencia reactiva consumida. Además, esta potencia reactiva no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica.

Evaluación de Potencia Aparente

La potencia compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna (cuya magnitud se conoce como potencia aparente y se identifica con la letra S), es la suma (fasorial) de la potencia que disipa dicho circuito y se transforma en calor o trabajo y la potencia utilizada para la formación de los campos eléctrico y magnético de sus componentes, que fluctuará entre estos componentes y la fuente de energía. Esto significa que la potencia aparente representa la potencia total desarrollada en un circuito con impedancia Z. La potencia aparente no es realmente la "útil", salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \phi = 1$), y señala que la red de alimentación de un circuito no solo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" las bobinas y condensadores.

Evaluación de Flicker

Los flicker se miden en el voltaje del Punto de Acoplamiento Común del sistema, el

Índice de severidad por flícker (Pst) no debe superar la unidad ($Pst = 1$) en alta, media ni baja tensión. Se considera el límite: $Pst' = 1$ como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima (NTCSE 5.3.3 (a)).

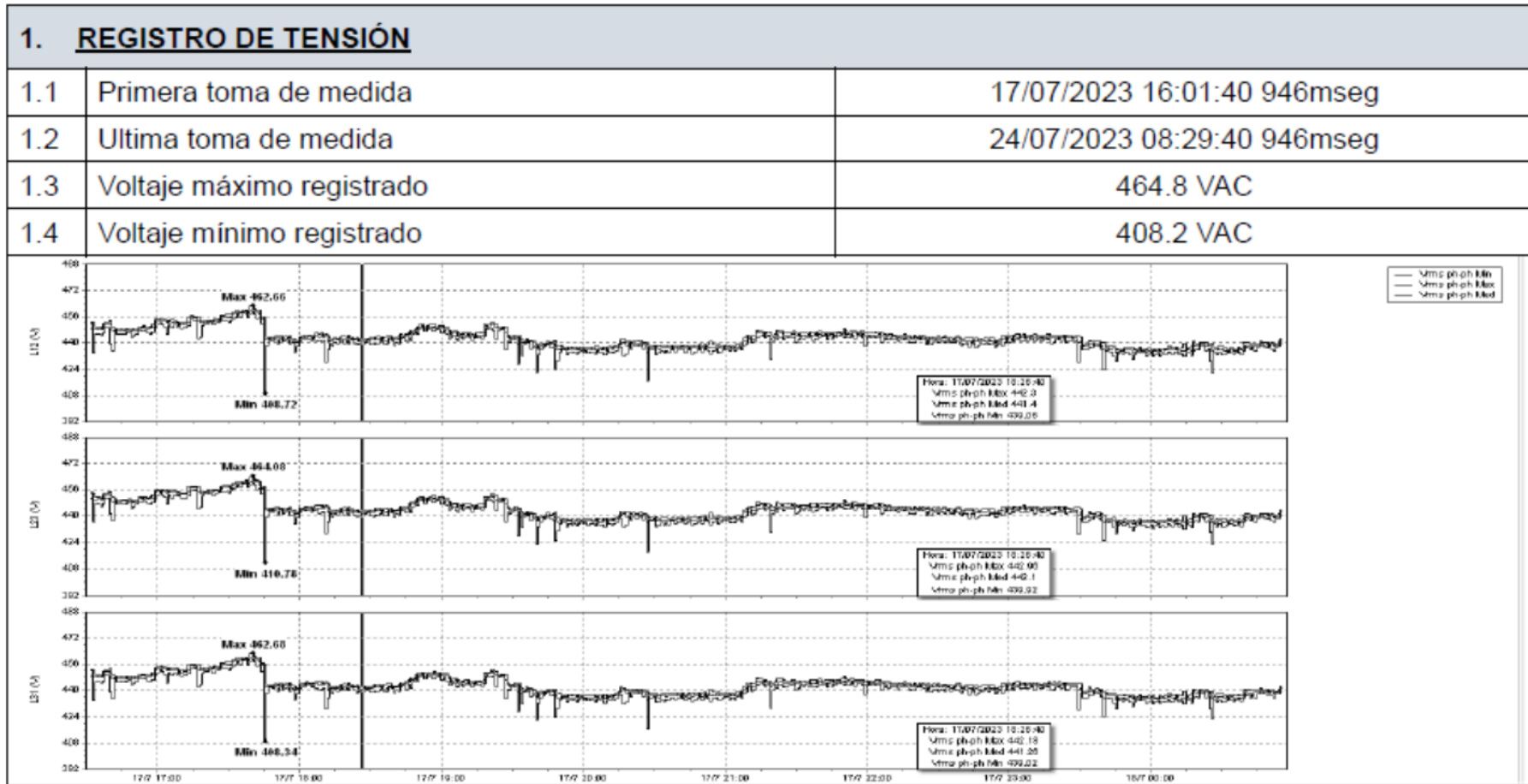
Evaluación de Factor de Potencia

Se define factor de potencia de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Por esta razón, $f.d.p = 1$ en cargas puramente resistivas; y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia $f.d.p = 0$.

Resumen de la medición de parámetros en el tablero de distribución Subestación N° 1

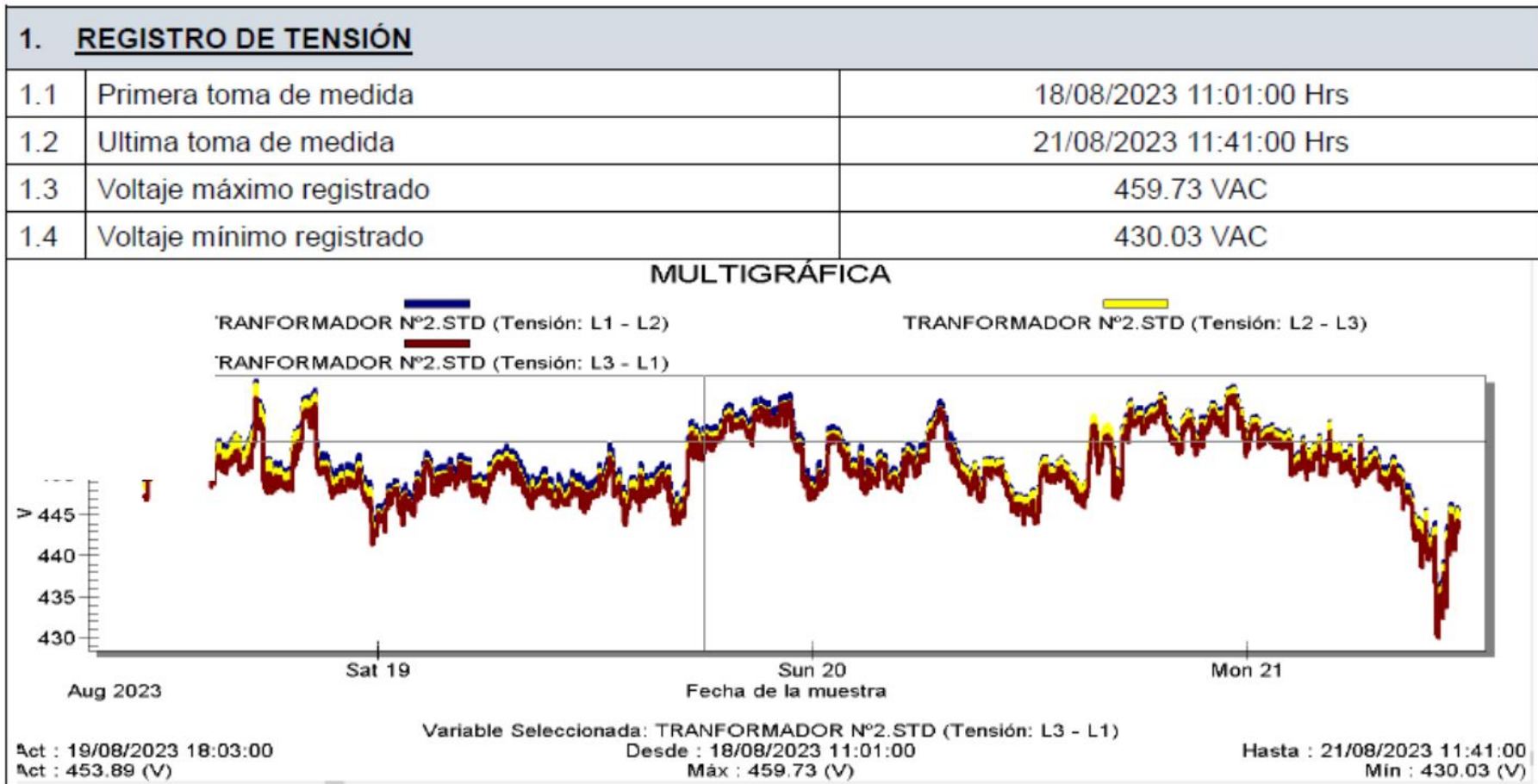
En las gráficas y tablas siguientes se muestra la información del resumen de la medición de parámetros en el tablero de distribución Subestación N° 1 de la empresa minera, en total fueron 8 días que se realizaron las mediciones.

Figura 1. Registros de tensión-fases.



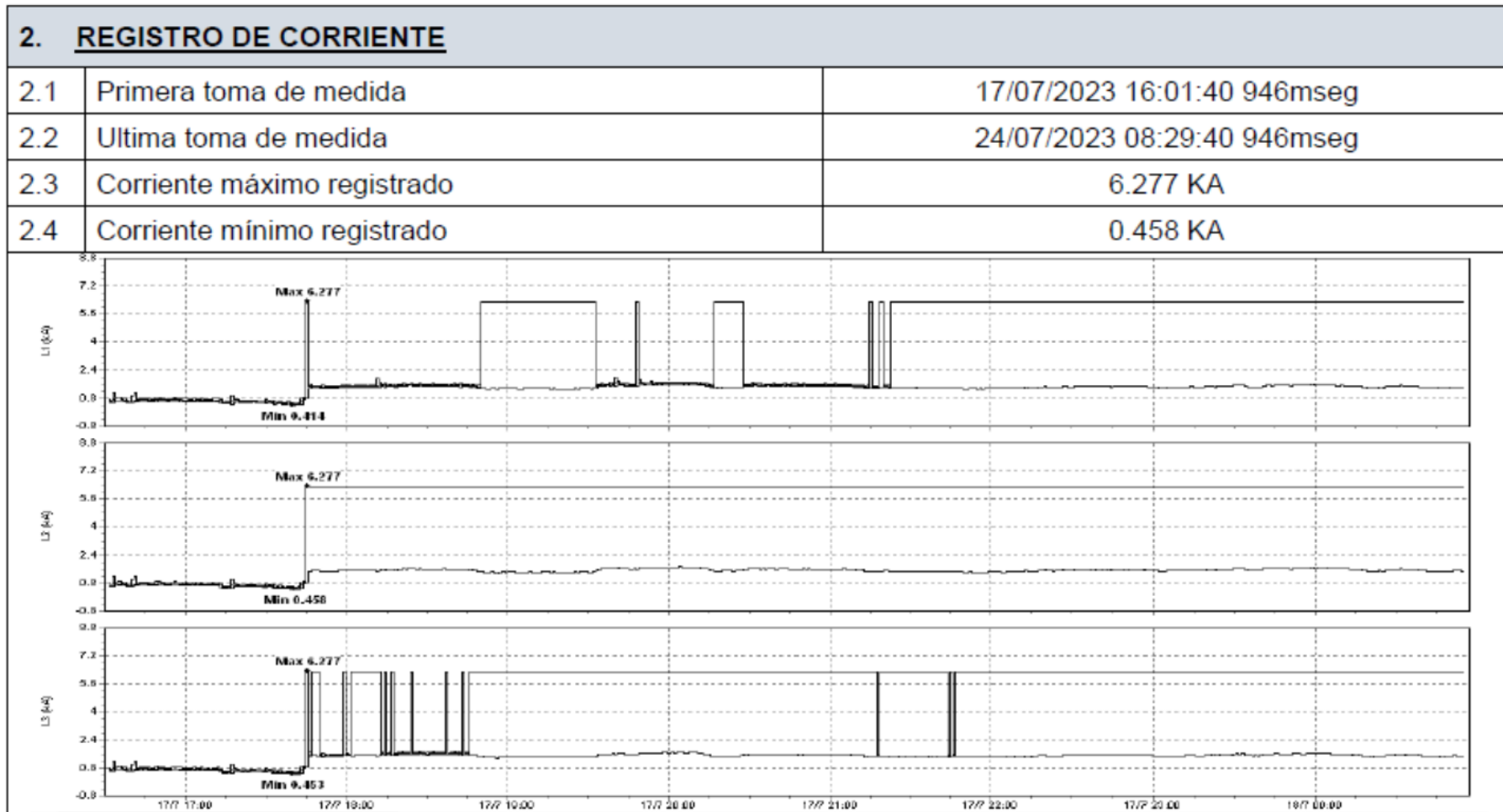
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 2. Registro de tensión.



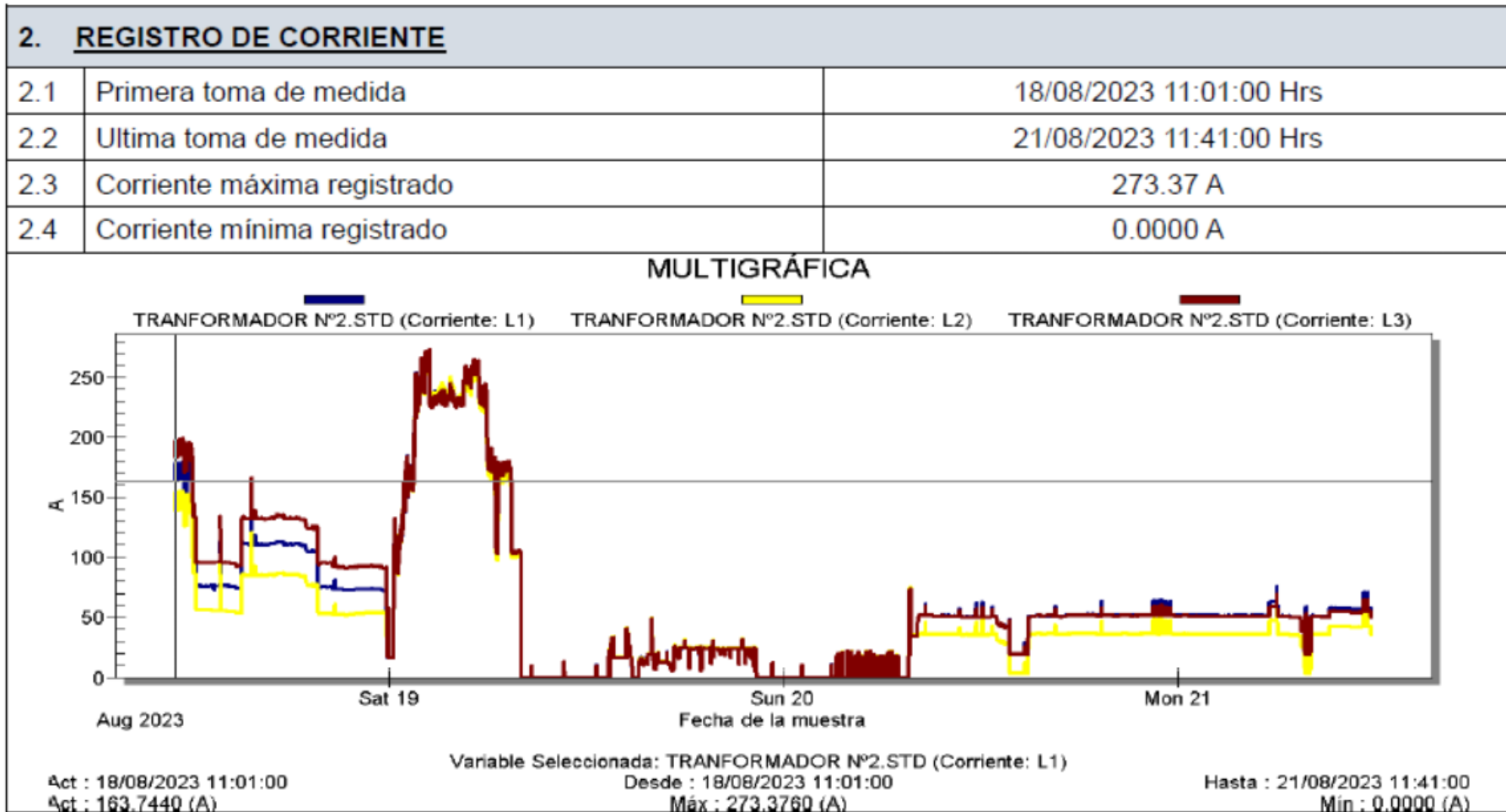
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 3. Registros de corriente-línea.



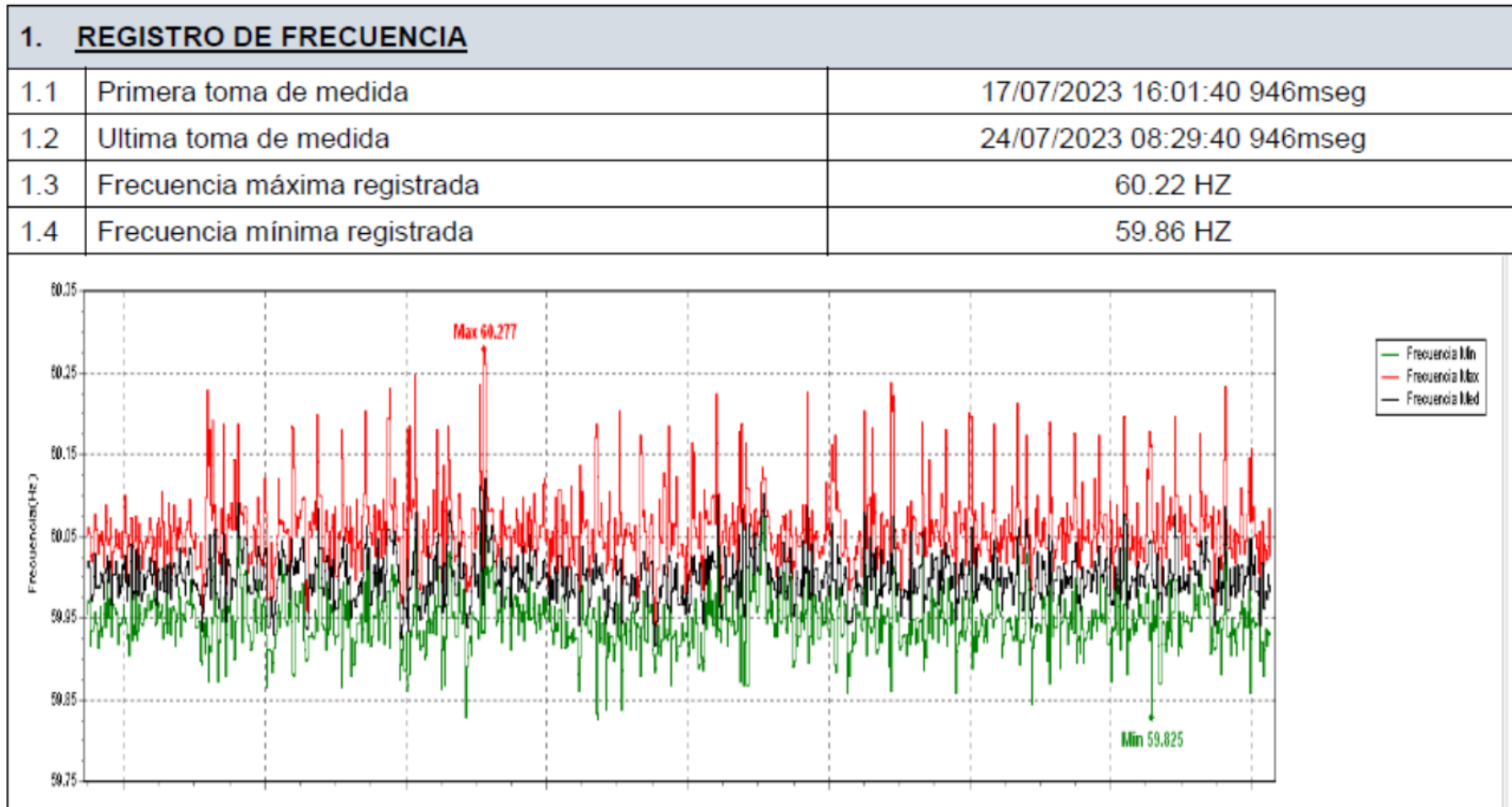
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 4. Registros de corriente.



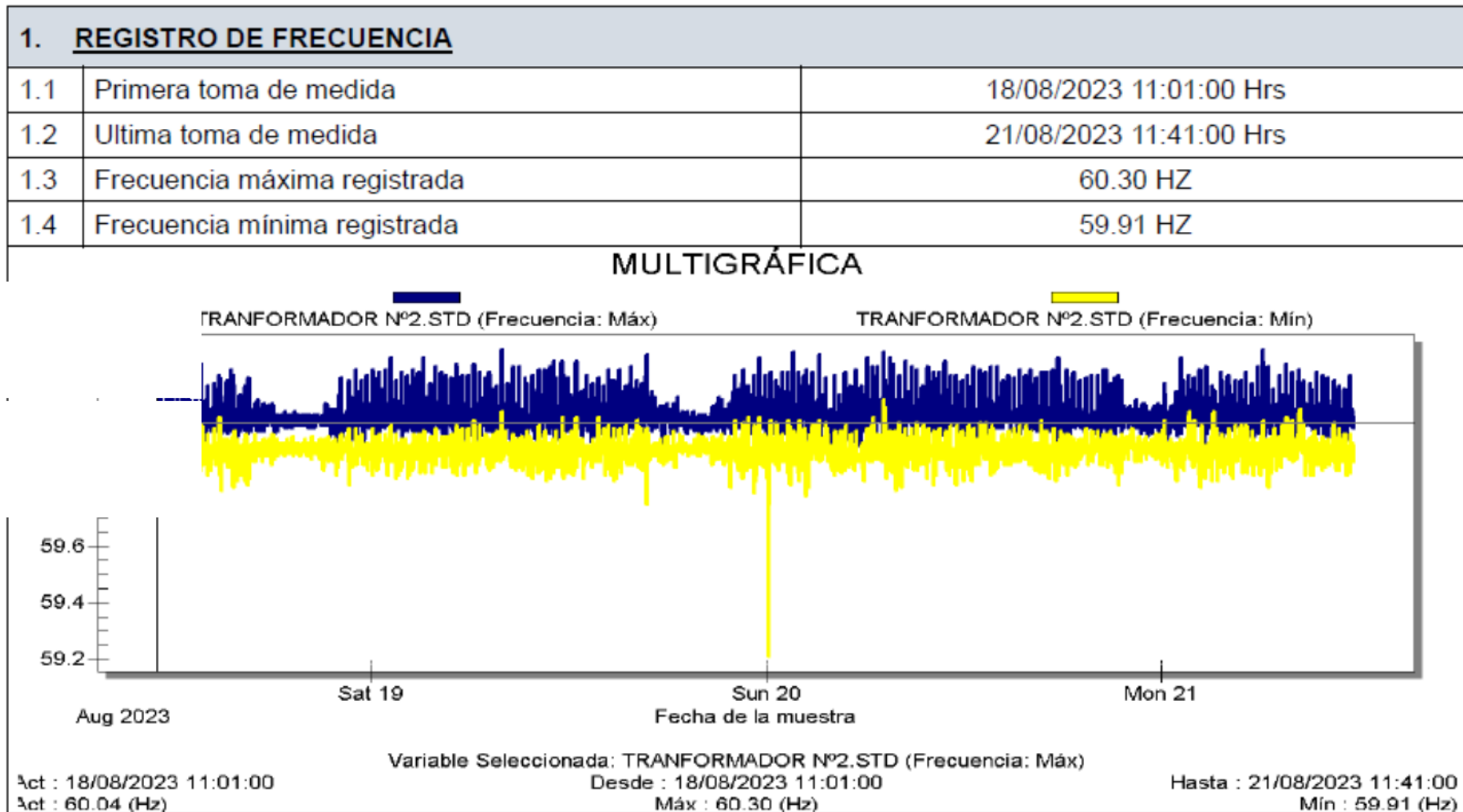
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 5. Registros de frecuencia-Sistema eléctrico.



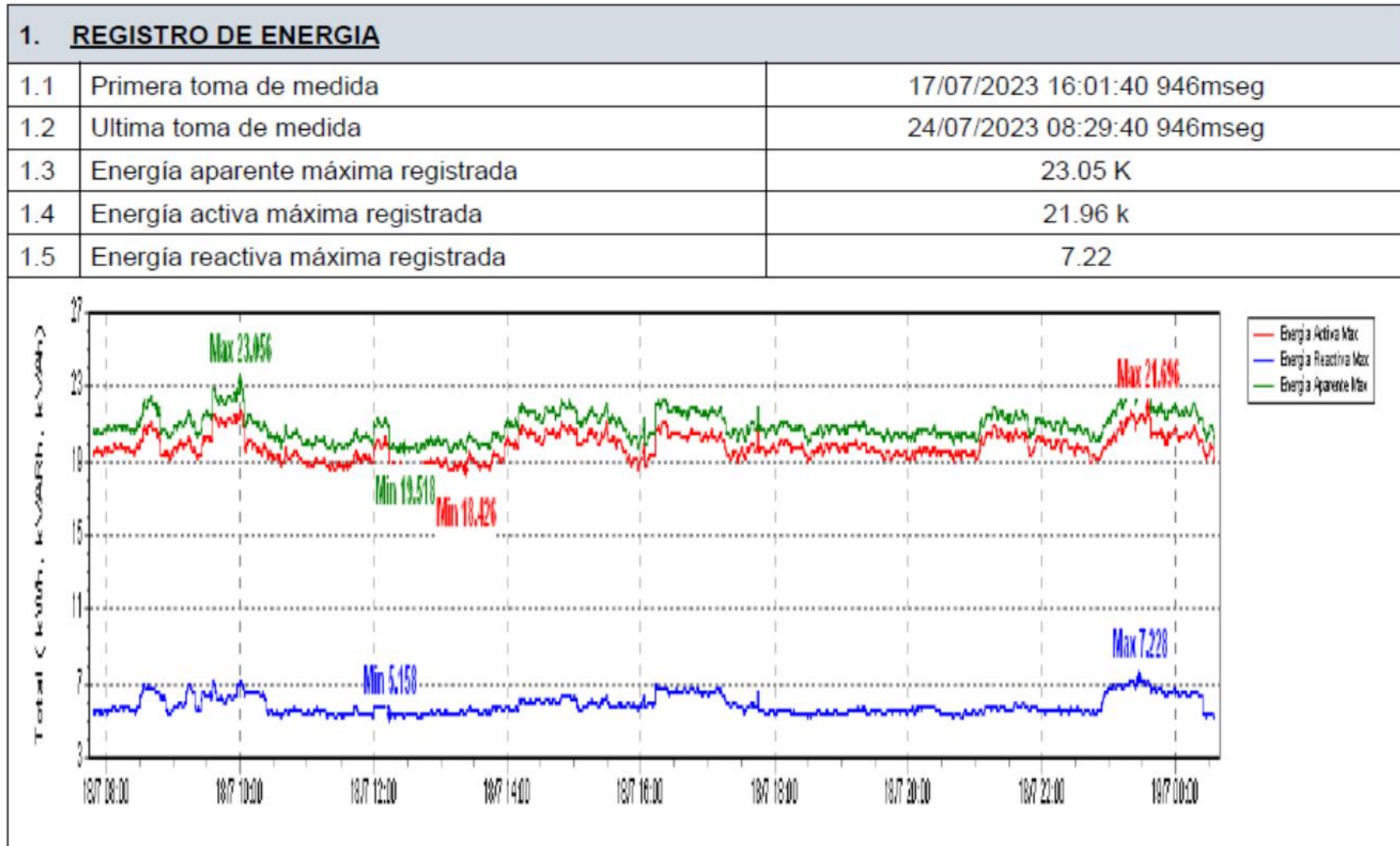
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 6. Registro estadístico de frecuencia-Sistema eléctrico.



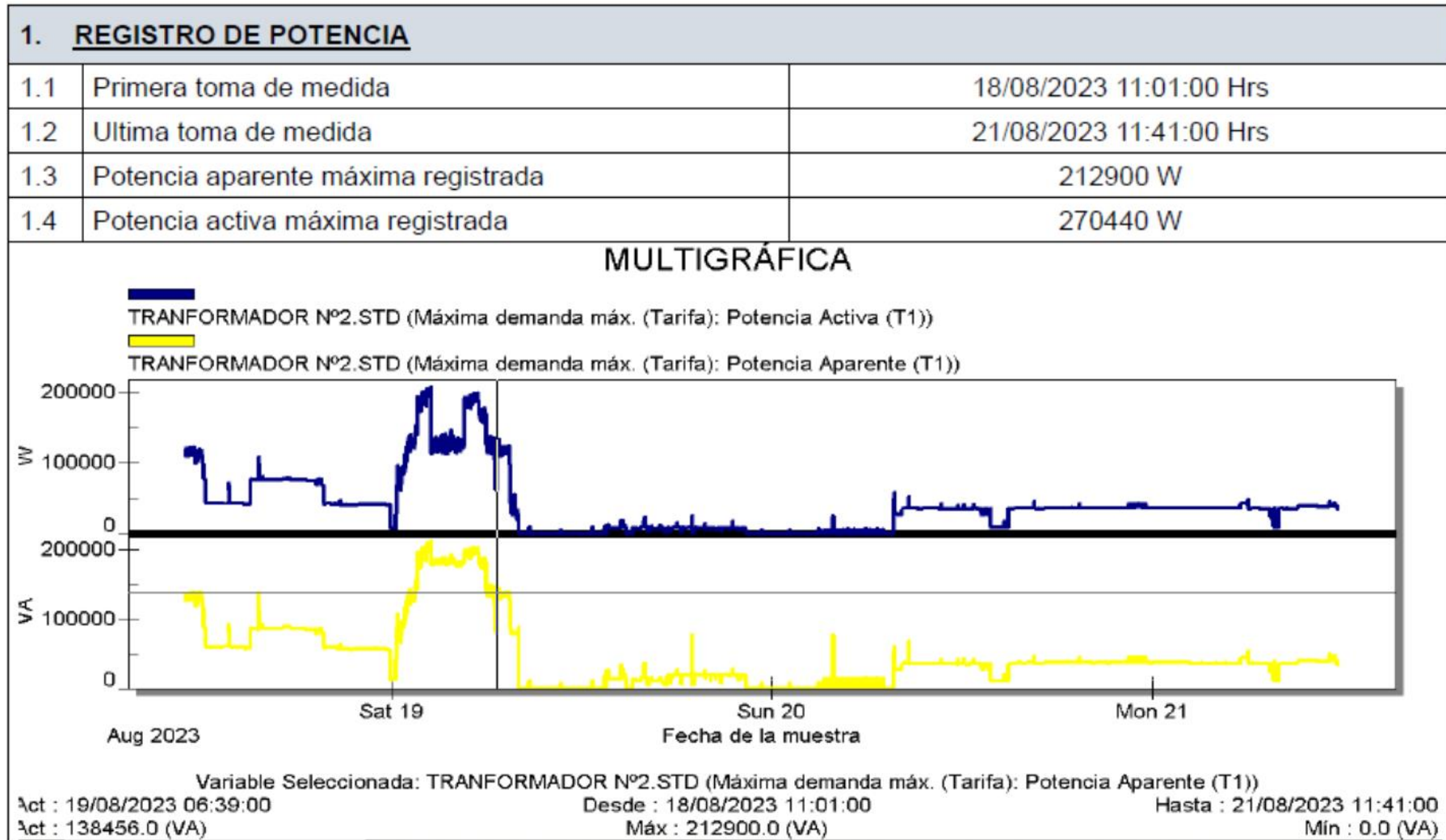
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 7. Registro potencia activa.



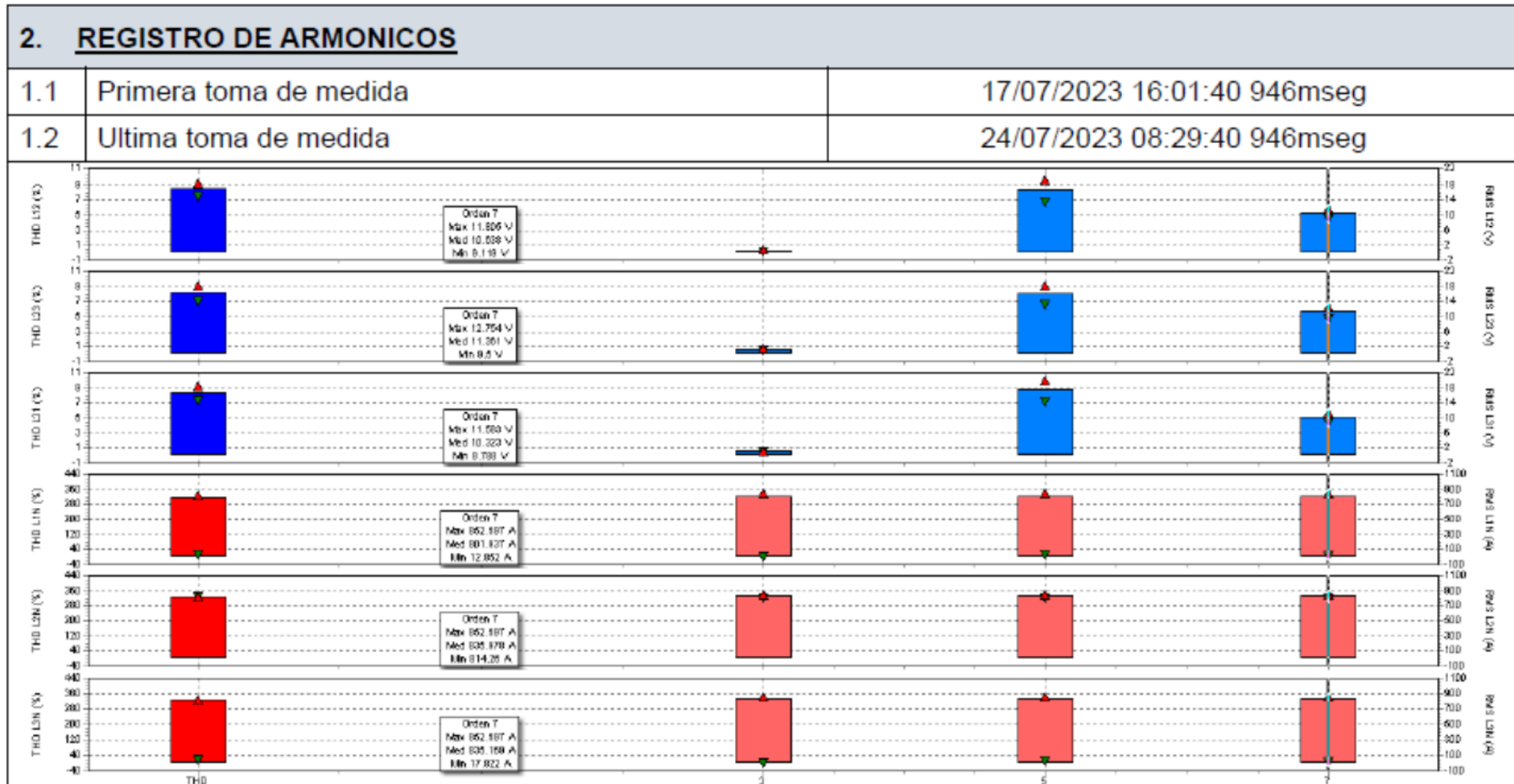
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 8. Registro estadístico de potencia activa-Consumo total.



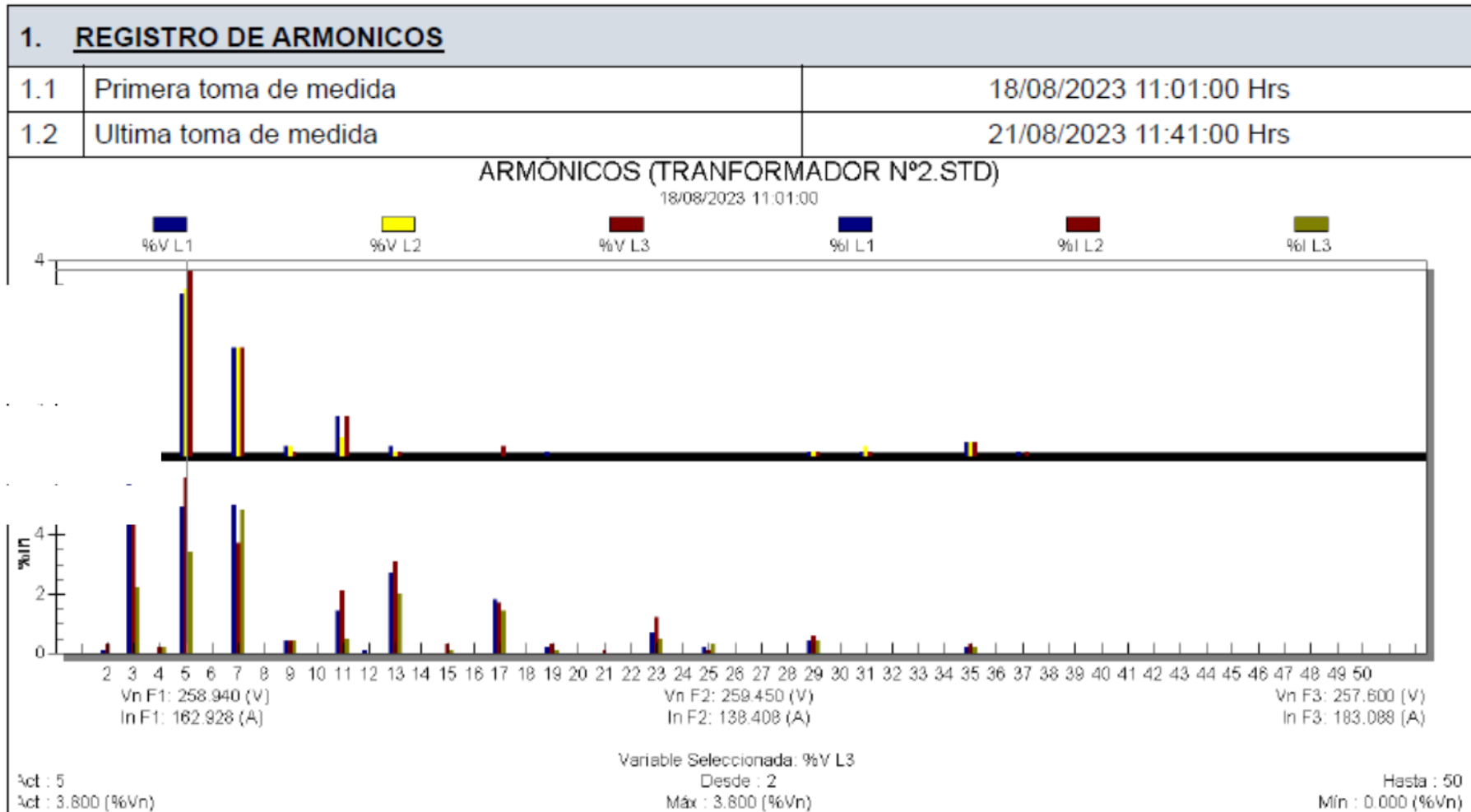
Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 9. Registro de armónicos.



Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Figura 10. Registro estadístico de armónicos.



Fuente: Elaboración propia (Datos obtenidos del medidor Fluke 435-II).

Resumen de la Inspección

A continuación, se presenta un resumen de las mediciones de Calidad de Energía realizado en el Tablero de Distribución Subestación N°1 tomando como referencia los registros representativos de fecha 16/08/2023 hasta el 24/08/2023 por ser el rango de tiempo en el cual hay mayor consumo de las cargas; así mismo se indica si cumplen con la Norma Técnica de Calidad y Servicios Eléctricos (NTCSE) y el estándar IEEE 519-2014.

Tabla 3. Resumen de tensión.

TENSIÓN (Vn=460V)							
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	% de variación de tensión		Límite permitido	Cumple
				Mínimo	Máximo		
Tensión AB (VAC)	408.72	450.48	462.66	13.29%	2.67%	±5%	NO
Tensión BC (VAC)	410.08	443.24	464.08	8.05%	4.74%	±5%	NO
Tensión AC (VAC)	408.34	455.48	462.08	11.52%	1.54%	±5%	NO
<i>Tolerancia de tensión = ±5%, según NTCSE 5.1.2</i>							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resumen de corriente.

CORRIENTE (A)						
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Desbalance	Límite Promedio	Cumple
Corriente "A"	414.54	6273.34	6277.50	-0.9%	±10%	SI
Corriente "B"	458.32	6239.53	6245.28			
Corriente "C"	453.89	6251.92	6262.70			
<i>Tolerancia de corriente = ±10%, según recomendación de RPP TEC</i>						
<i>Nota: Para el cálculo de desbalance se consideró las corrientes promedio en las 3 fases.</i>						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Resumen de frecuencia.

FRECUENCIA (Hz)							
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo	Variación de frecuencia (Hz)		Límite permitido	Cumple
				Mínimo	Máximo		
Frecuencia	59.82	60.03	60.227	0.18	0.27	±1Hz	SI
<i>Tolerancia de frecuencia = ± 1 Hz, según NTCSE 5.2.3</i>							

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resumen de Flicker.

FLICKER			
Parámetro	Promedio	Límite permisible NTCSE	Cumple
Flicker	0.32	1	SI
<i>Tolerancia = 1, según NTCSE 5.3.3 (a)</i>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Resumen de distorsión armónica total.

DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL			
Parámetro	Valores Obtenidos	Límite permitido NTCSE, IEEE519-2014	Cumple
THDV-AB (%)	9.61%	8%	NO
THDV-BC (%)	9.41%	8%	NO
THDV-CA (%)	9.54%	8%	NO
THDC-A (%)	15.91%	8%	NO
THDC-B (%)	12.54%	8%	NO
THDC-C (%)	14.01%	8%	NO
<i>Tolerancia THDV ≤ 8%, según NTCSE 5.3.3 (b) – Para tensiones ≤ 60 kV.</i>			
<i>Tolerancia TDDC ≤ 8%, según IEEE519-2014 5.2 – Tabla 2 – Para tensiones de 120V a 60Kv.</i>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Resumen de potencia.

POTENCIA			
Parámetro	Mínimo	Promedio	Máximo
Potencia Activa (kW)	6.299	18.057	21.696
Potencia Reactiva (kVar)	1.885	5.36	7.228
Potencia Aparente (kVA)	6.436	19.133	23.023

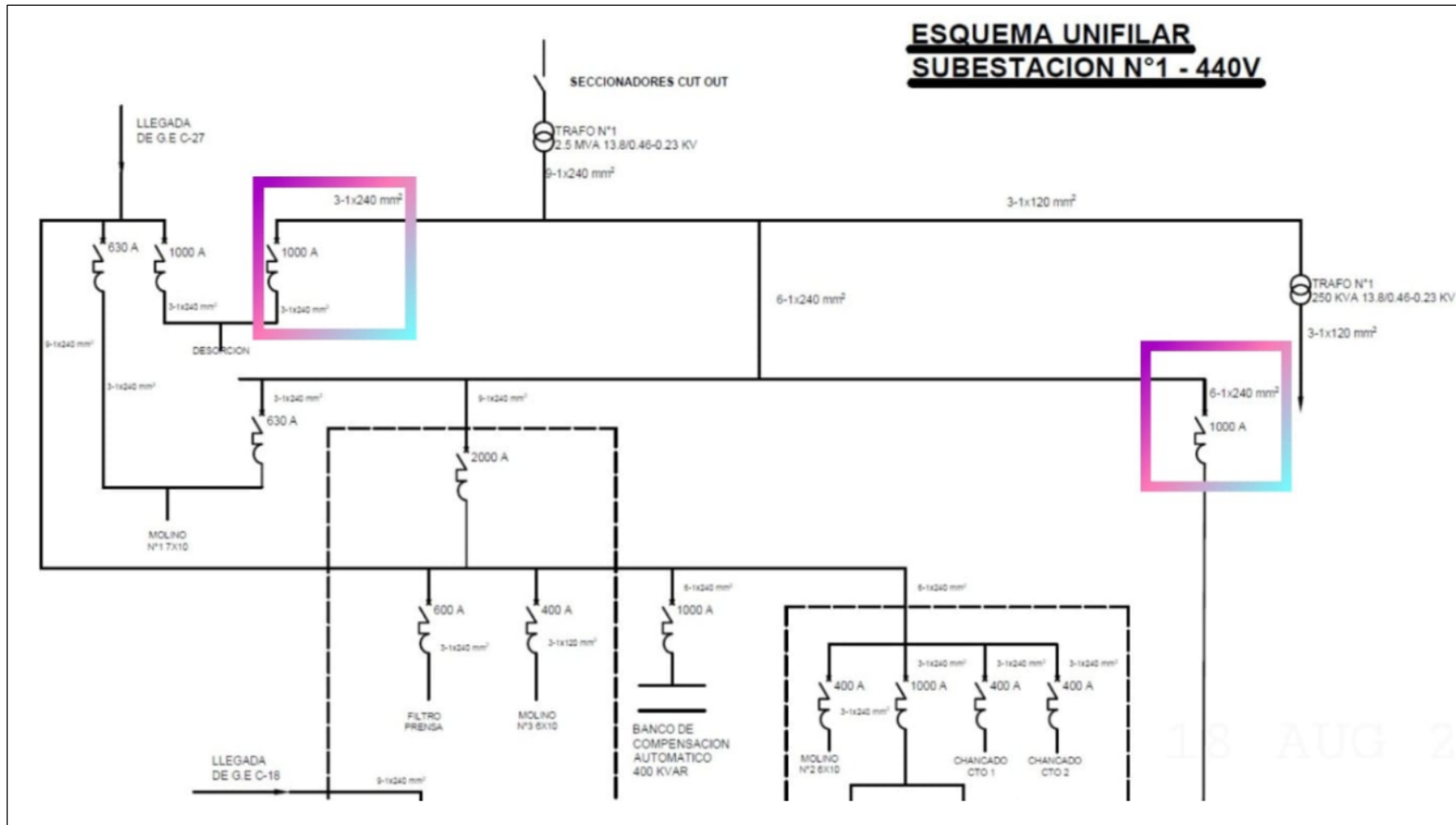
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Resumen de factor de potencia.

PARÁMETRO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO
Factor de Potencia	0.74	0.75	0.76

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Ubicación de medidores de calidad de energía Fluke 435-II y Circutor AR5L-150.



Fuente: Elaboración propia.

Resultados obtenidos:

- El analizador de red tomó lectura de registros desde el miércoles 16/08/2023 hasta el jueves 24/08/2023, por un periodo de 8 días calendario. La medición del parámetro se registró en el Tablero de Distribución Subestación N°01 y MCCs de Planta. El análisis de energía, tiene como finalidad realizar una comprobación de calidad durante un periodo prolongado de hasta una semana para cumplir con normas internacionales.
- Se registra valores de tensión L-L dentro de los rangos normales de operación siempre y cuando el margen permitido no supere el +/- 5%, el registro nos indica que las variaciones de tensión presentes se encuentran fuera de los valores permisibles. Se reduce la vida útil de los componentes y los equipos que se encuentran bajo una tensión de alimentación distorsionada de forma continuada. La identificación de estados de tensión excesiva o insuficiente, puede evitar disparos accidentales de los circuitos de protección contra fallas del variador y posibles daños en el propio variador del motor. El desequilibrio de tensión o corriente puede causar un tiempo de inactividad o daños en un variador del motor y equipos electrónicos.
- Se registra valores de corriente de línea con desbalance de -0.9% y se encuentra dentro del límite del margen recomendado por RPP TEC del +/- 10%.
- Los valores de frecuencia registrados se encuentran dentro de los rangos normales de operación 60+/- 1Hz.
- Se observa que el total de distorsión de armónicos de tensión - THDV presenta un valor de hasta 9.61% que supera al límite máximo de distorsión de tensión THDV que es 8%, según NTCSE. El Armónico individual de tensión más preponderante es el de 5° orden este armónico es generado en la planta y son características de cargas de naturaleza no lineal. La tasa de distorsión armónica de corriente es mayor a la tasa de distorsión armónica de tensión $THDV < THDI$. La consecuencia de la presencia de armónicos lo podemos observar en las formas de onda de corriente completamente deformadas producto de la carga de naturaleza no lineal generalmente provocadas por: dispositivos electrónicos que emplean una alimentación de potencia del tipo conmutada, arrancadores de estado sólido,

variadores de velocidad, UPS estáticos, rectificadores, alumbrado con balastos electrónicos, impresoras multifunción y computadoras. Algunos de los efectos que pueden causar los armónicos, tanto a los equipos como a la instalación, o a ambos, son:

Mayores pérdidas de eficiencia en el conjunto de la instalación eléctrica y los equipos.

Resonancias no previstas.

Perturbaciones en equipos electrónicos, causando fallos “lógicos” en circuitos digitales.

Sobrecargas no deseadas (o necesidad de sobredimensionar) para los transformadores y el cableado.

Funcionamiento defectuoso de motores y generadores.

Activación no deseada de disyuntores o fusión de fusibles.

- Se observa que la Distorsión de Demanda Total de Corriente - TDDC presenta un valor promedio de 5.85% que no supera al límite máximo de Distorsión de Demanda Total de Corriente TDDC que es 8%, según la IEEE 519-2014.
- La demanda en potencia activa promedio durante el periodo representativo de monitoreo fue de 18.057 kW y el valor máximo de 21.696 kW.
- El valor promedio de la potencia aparente registrada durante el periodo representativo de monitoreo fue de 6.436 kVA y el registro máximo fue de 23.023 kVA.
- El valor promedio de la potencia reactiva inductiva registrada durante el periodo representativo de monitoreo fue de 1.885 kVAr y un valor máximo de 7.228 kVAr.
- El Flicker prom. registrado es de $P_{st}=0.265$, según NTCSE 5.3.3. el valor máx. permitido es 1.
- Energización con Grupos Electrógenos; el impacto de las sobrecargas de corriente y factores de potencia en servicio de los GE generan un voltaje en aumento del

factor de potencia en servicio, causa que el regulador de voltaje regule hacia abajo y reduce la fuerza del campo del alternador. Si el AVR baja del todo, pierde el control del voltaje del sistema, lo que puede resultar en aumentos repentinos en el voltaje del sistema. El aumento de voltaje puede causar daños a las cargas, o puede causar que las cargas no funcionen con el grupo electrógeno.

- El Sistema eléctrico actual de la empresa minera no cuenta con Filtros armónicos, los cuales tienen como objetivo el resolver los conflictos generados por la distorsión armónica, su uso ayuda a limitar las fluctuaciones de tensión y a controlar el grado de contaminación armónica. Proporcionan una trayectoria a tierra de baja impedancia para los armónicos de voltaje o corriente con el fin de facilitar su circulación a tierra y prevenir su propagación en el resto del sistema.
- Los planos eléctricos no están actualizados o tienen errores de diseño, es importante tener información fidedigna de las instalaciones eléctricas por Seguridad de Personal y detección de fallos más rápidos.
- Los gabinetes de variadores no cuentan con Reactancias en la Línea AC que minimicen la contaminación armónica, ya que son estos equipos son los mayores productores de armónicos.
- Los MCCs y Salas eléctricas no cuenta con un sistema de refrigeración para mantener la temperatura permisible recomendada por el fabricante, los cuales son causas potenciales de daños y reducción de vida útil de los equipos electrónicos. Además, carecen de un sistema de Presurización con colectores de Polvo. La presión positiva es el efecto requerido cuando se quiere proteger el contenido de un ambiente o cuarto del aire exterior contaminado, de polvo o humos generados por un proceso de producción adyacente, o del exceso de humedad que se pueda filtrar por aberturas y paredes. Salas eléctricas o de Servidores en operaciones mineras están propensos a la infiltración de polvo que puede crear condiciones de trabajo desagradables y causar problemas con equipos críticos, especialmente electrónicos y VFD.

3.2. Dimensionar un sistema de filtros en las redes de baja tensión en una empresa minera, considerando dos tipos de filtros para realizar un análisis comparativo

Paso 1: Recolección de Datos

Datos de Carga:

Potencia activa (P): 2500 kW

Factor de potencia inicial (PF inicial): 0.75

Factor de potencia deseado (PF deseado): 0.96

Armónicos presentes: 5to, 7mo y 11vo armónico con THD de hasta 15.91%

Condiciones de Operación:

Tensión nominal: 460 V

Frecuencia: 60 Hz

Requisitos Normativos:

Cumplir con la normativa IEEE 519 para distorsión armónica total (THD) y corrección del factor de potencia.

Paso 2: Selección de Filtros

Filtro Pasivo:

Banco de Capacitores: Para corregir el factor de potencia.

Inductores Sintonizados: Para filtrar armónicos específicos (5to, 7mo y 11vo).

Filtro Activo:

Convertidor de Potencia: Para inyectar corrientes de compensación.

Sensores y Controladores: Para medir y corregir armónicos en tiempo real.

Paso 3: Dimensionamiento de los Filtros

Filtro Pasivo:

Cálculo de Capacidad del Banco de Capacitores:

$$Q_{capacitor} = P_{carga} \times (\tan(\cos^{-1} 0.75) - \tan(\cos^{-1} 0.96))$$

$$Q_{capacitor} = 2500 \times (0.88 - 0.29) = 1475 \text{ kVAR}$$

Sintonización de Inductores:

Para el 5to armónico (300 Hz), la inductancia LLL y capacitancia CCC se calculan para resonar a esa frecuencia.

Valores de L y C se eligen para cumplir con la resonancia a 300 Hz.

Entonces, se debe seleccionar un banco de condensadores de 1500 kVAR, pero en el mercado existen de hasta 1000 kVAR, por lo que se optó por dos bancos de condensadores conectados en paralelos con una capacidad de 750 kVAR cada uno, de manera que se balancee adecuadamente el sistema.

En el Anexo 5 se adjuntó la ficha técnica del banco de condensadores seleccionado.

Filtro Activo:

Capacidad del Convertidor:

Para un THD del 15.91%, la potencia de armónicos es 15.91% de la potencia activa.

$$P_{harm} = 0.1591 \times 2500 = 397.75 \text{ kW}$$

La corriente de compensación es:

$$I_{compensación} = \frac{P_{harm}}{V \times F.P. \times \sqrt{3}}$$

$$I_{compensación} = \frac{397.75 \text{ kW}}{460 \text{ V} \times 0.95 \times \sqrt{3}} = 520 \text{ A}$$

El filtro activo debe tener una capacidad de 520 A, que se seleccionaron 3 filtros, dos con una capacidad de 200 A y uno con una capacidad de 120 A. Las fichas técnicas se aprecian en el Anexo 5.

Paso 4: Análisis Comparativo

Eficiencia:

Filtro Pasivo: Puede reducir armónicos específicos, pero es menos efectivo para armónicos variables.

Filtro Activo: Proporciona una mejor corrección global del THD y mejora el factor de potencia en tiempo real.

Costo:

Filtro Pasivo: Menor costo inicial pero mayor mantenimiento y posible necesidad de ajuste si cambian las condiciones de la red.

Filtro Activo: Mayor costo inicial pero menor mantenimiento y mejor adaptación a cambios en la red.

Mantenimiento:

Filtro Pasivo: Requiere chequeos periódicos y reemplazo de componentes.

Filtro Activo: Mantenimiento electrónico, menos frecuente, pero puede ser más costoso en caso de falla.

Beneficios Operativos:

Filtro Pasivo: Adecuado para condiciones estables y armónicos predecibles.

Filtro Activo: Mejor rendimiento en redes con cargas variables y armónicos fluctuantes.

Paso 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones: El filtro activo ofrece una mejor solución global para la corrección de armónicos y mejora del factor de potencia en la red de baja tensión de la empresa minera, aunque su costo inicial es mayor.

Recomendaciones: Implementar el filtro activo para asegurar una mejor calidad de energía y menor impacto de armónicos en los equipos eléctricos. El filtro pasivo podría ser considerado en situaciones específicas donde el costo inicial sea una limitante y las condiciones de operación sean estables.

3.3. Simular el sistema de filtros para determinar la calidad de energía en una empresa minera mediante el software DigSILENT

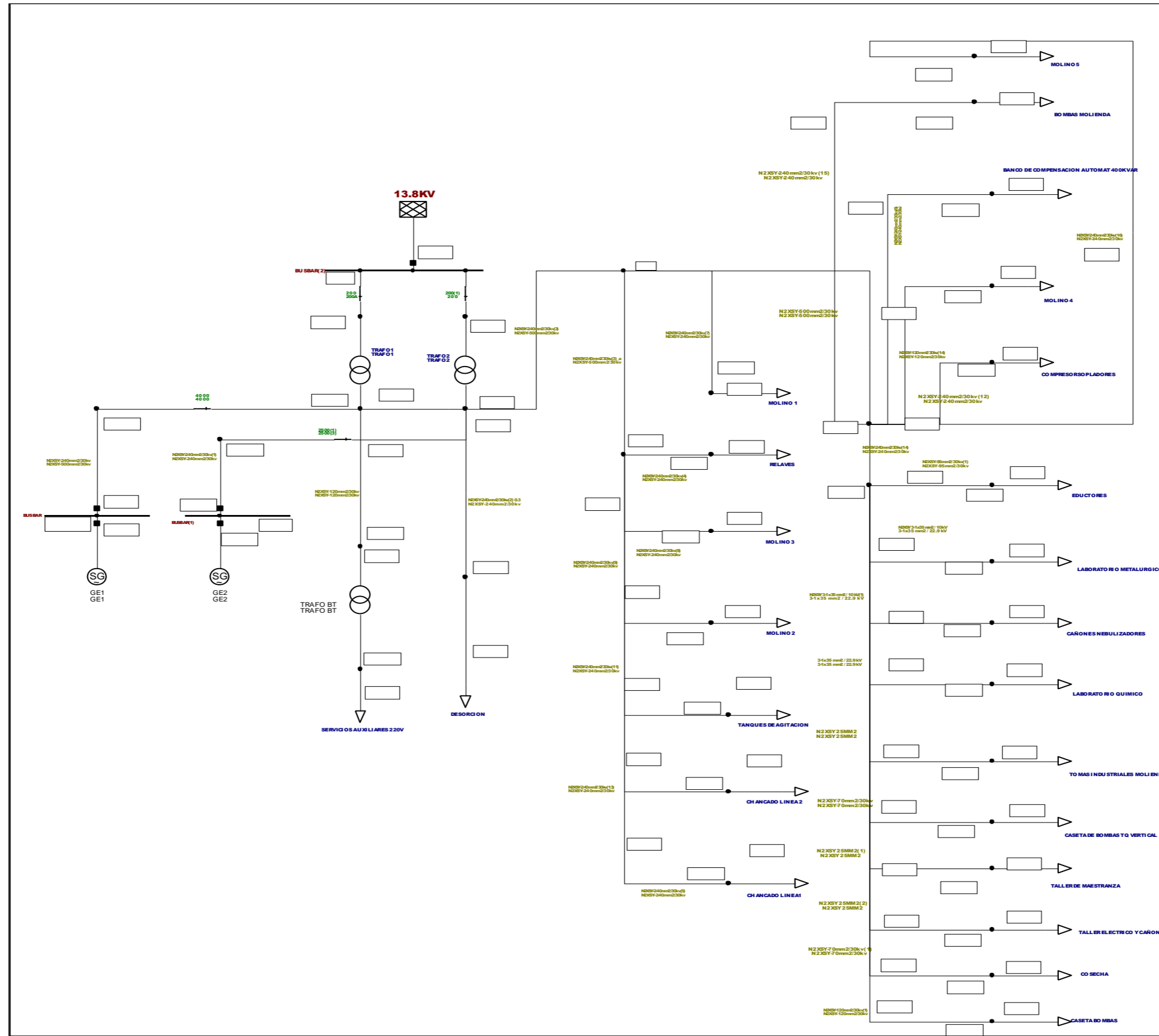
Para el modelado del sistema eléctrico de la minera, se empleó el software DigSilent para poder realizar el análisis comparativo con el sistema de filtro pasivo y activo, pero para ello se necesitó el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la empresa minera, el cual se puede visualizar en el Anexo 5, donde se pueden apreciar las cargas, tipo y sección de cada cableado, equipamiento empleado, entre otros detalles.

En primer lugar, se modeló el diagrama completo antes de que se corra el programa para obtener el diagrama de flujo en el programa DigSilent Power Factory 15.1.7 de la subestación N° 1 de la empresa sin ningún filtro, como se puede apreciar en la Figura 12.

Luego, se realizó el diagrama corriendo el flujo de carga de manera general, siendo alimentado por los transformadores, donde se abre el mecanismo de seccionamiento en los generadores que entregan la potencia existente, observando que las líneas que salen hacia las cargas se saturan, como se puede visualizar en la Figura 13.

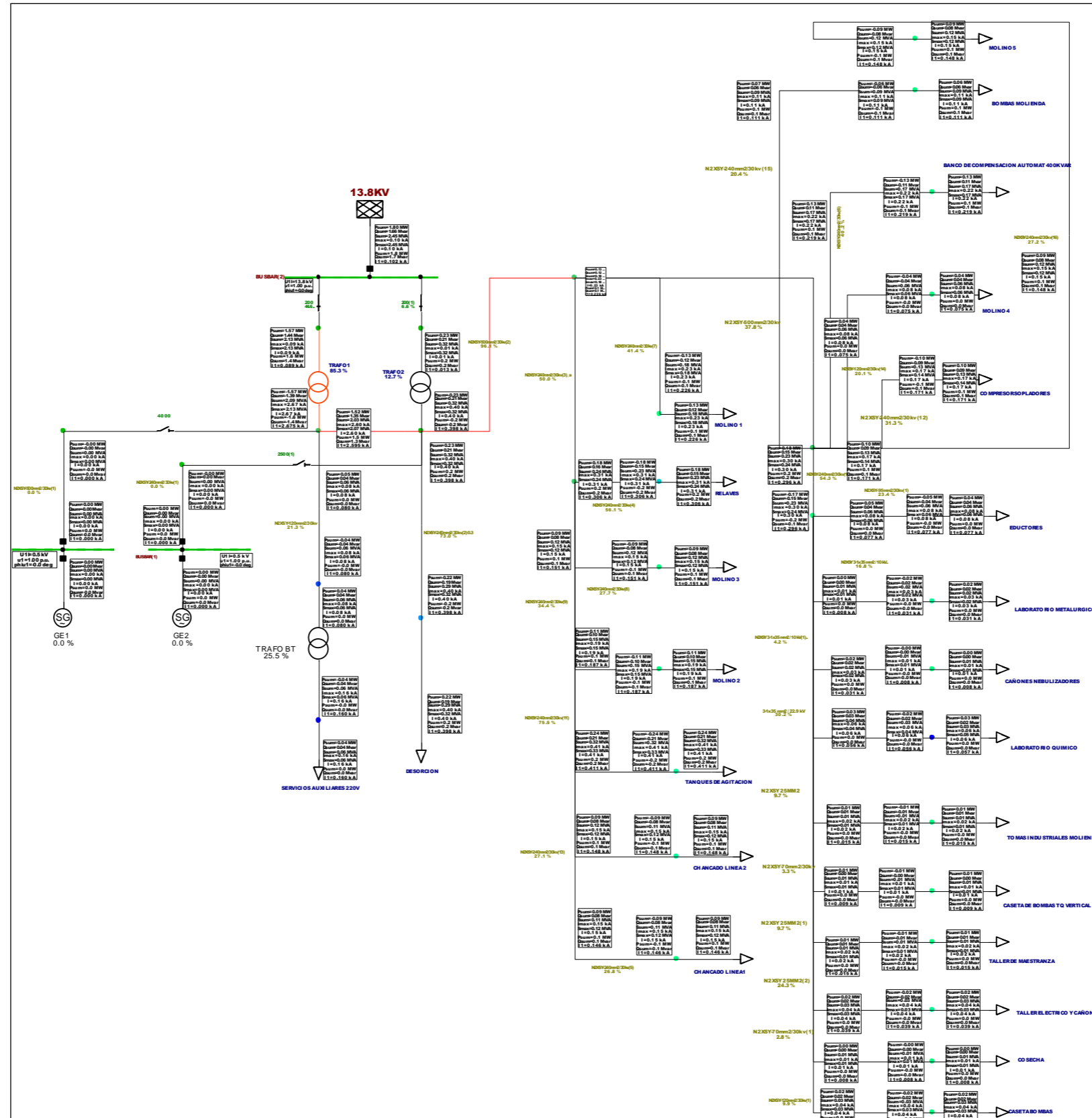
Seguidamente, se realizó el diagrama de carga de manera general, alimentado por los generadores, abriendo el mecanismo de seccionamiento en los transformadores, observando como las líneas del generador hacia las cargas se saturan en el programa DigSilent Power Factory 15.1.7, tal como se aprecia en la Figura 14.

Figura 12. Diagrama completo del sistema eléctrico de la empresa minera sin filtros (Factor de potencia de 0.75).



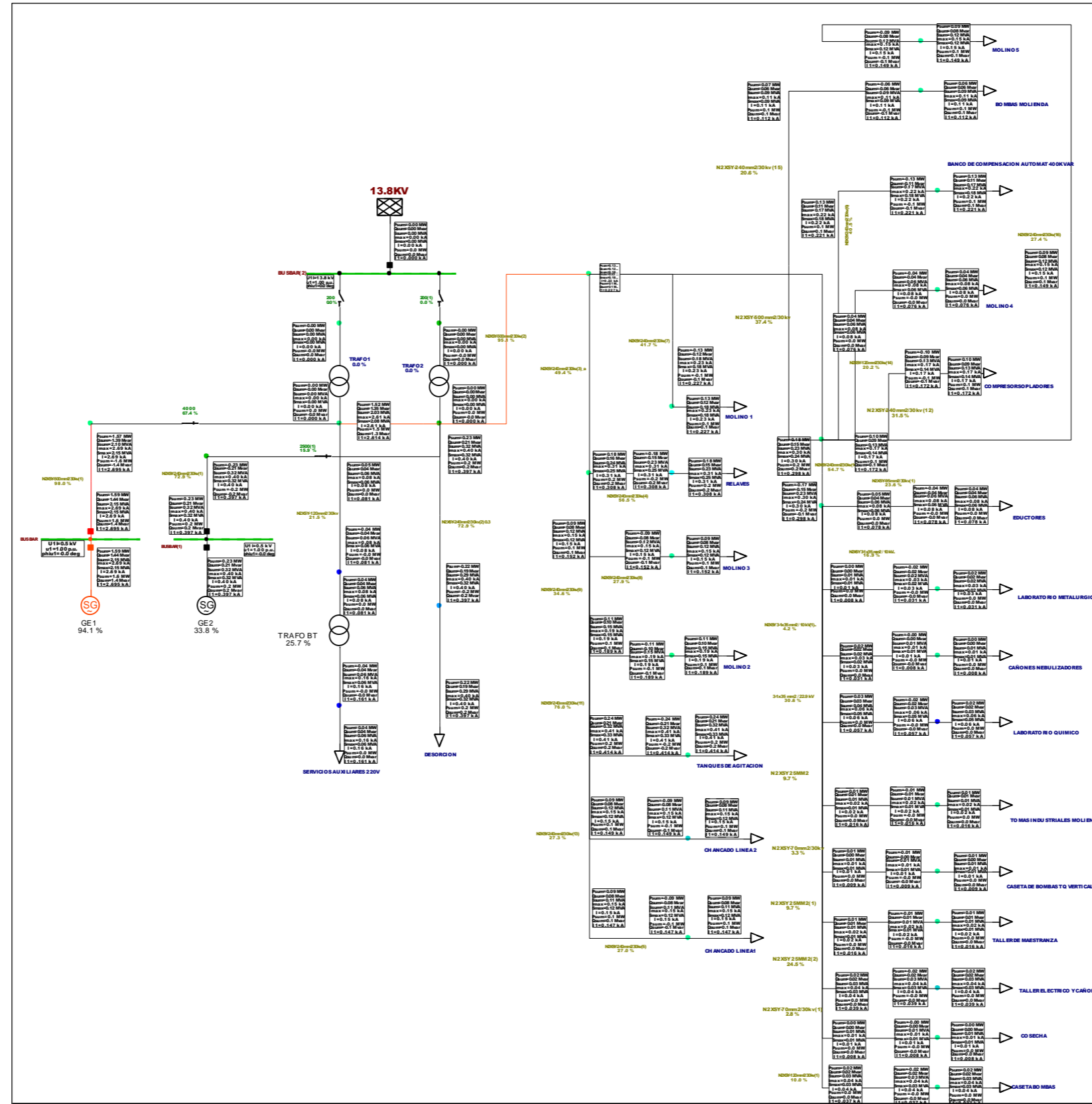
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 13. Diagrama completo del sistema eléctrico con flujo de carga de manera general alimentado por los transformadores en la empresa minera (sin filtros y con factor de potencia de 0.75).



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 14. Diagrama de carga general alimentado por los generadores de la empresa minera.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Se obtuvieron los datos de cómo trabaja el generador 1, donde el programa dio como resultado que opera a un 94.1% (Figura 15) de su potencia total, obteniendo los siguientes parámetros:

Potencia activa total: 1.57 MW.

Potencia reactiva total: 1.39 MVAR.

Potencia aparente total: 2.10 MVA.

Corriente máxima: 2.69 kA.

Máxima potencia aparente: 2.15 MVA.

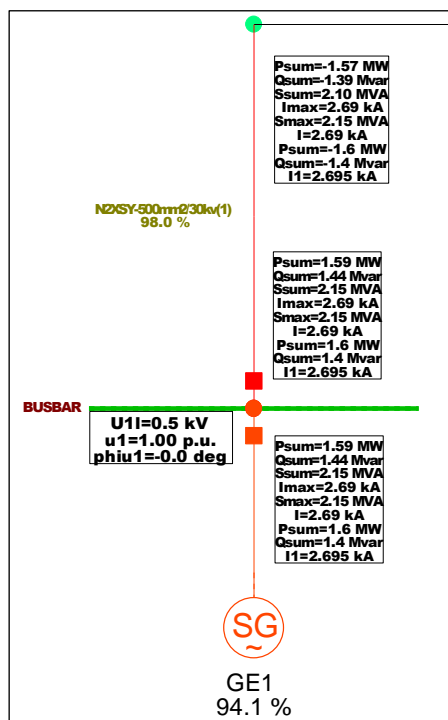
Magnitud de la corriente de paso: 2.69 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 1.40 MVAR.

Magnitud de corriente de secuencia positiva: 2.695kA.

Figura 15. Parámetros de trabajo del generador 1.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Posteriormente, se obtuvieron los datos de cómo trabaja el generador 2, el cual opera a una capacidad de 33.8% (Figura 16), obteniéndose los siguientes parámetros:

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.21 MVAR.

Potencia aparente total: 0.32 MVA.

Máxima corriente: 0.40 kA.

Potencia máxima 0.32 MVA.

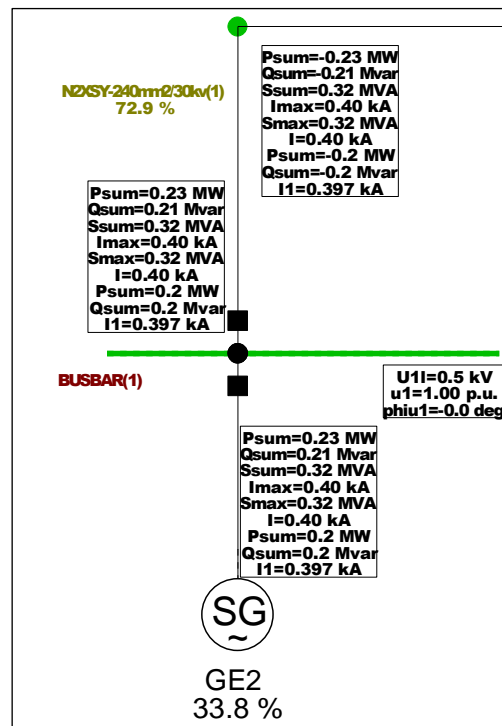
Magnitud de corriente de paso: 0.40 kA.

Potencia activa total: 0.2 MW.

Potencia reactiva total: 0.2 MVAR.

Magnitud de corriente de secuencia positiva: 0.397 kA.

Figura 16. Parámetros de trabajo del generador 2.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Luego, se obtuvieron los datos de operación del transformador 1 y 2, los cuales

funcionan a una capacidad de 85.3% y 12.70% (Figura 17), respectivamente, esto es sin ningún filtro. A continuación, se aprecian los parámetros de operación:

LADO DE ALTA TRAF0 1

Potencia activa total: 1.57 MW.

Potencia reactiva total: 1.44 MVAR.

Potencia aparente total: 2.13 MVA.

Corriente máxima: 0.09 kA.

Potencia máxima: 2.13 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.09 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 1.40 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.089 kA.

LADO DE BAJA TRAF0 1

Potencia activa total: 1.57 MW.

Potencia reactiva total: 1.39 MVAR.

Potencia aparente total: 2.09 MVA.

Corriente máxima: 2.67 kA.

Potencia máxima: 2.13 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 2.67 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 1.40 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 2.675 kA.

LADO DE ALTA TRAF0 2

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.21 MVAR.

Potencia aparente total: 0.32 MVA.

Corriente máxima: 0.01 kA.

Potencia máxima: 0.32 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.01 kA.

Potencia activa total: 0.2 MW.

Potencia reactiva total: 0.2 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.013 kA.

LADO DE BAJA TRAF0 2

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.21 MVAR.

Potencia aparente total: 0.32 MVA.

Corriente máxima: 0.40 kA.

Potencia máxima: 0.32 MVA.

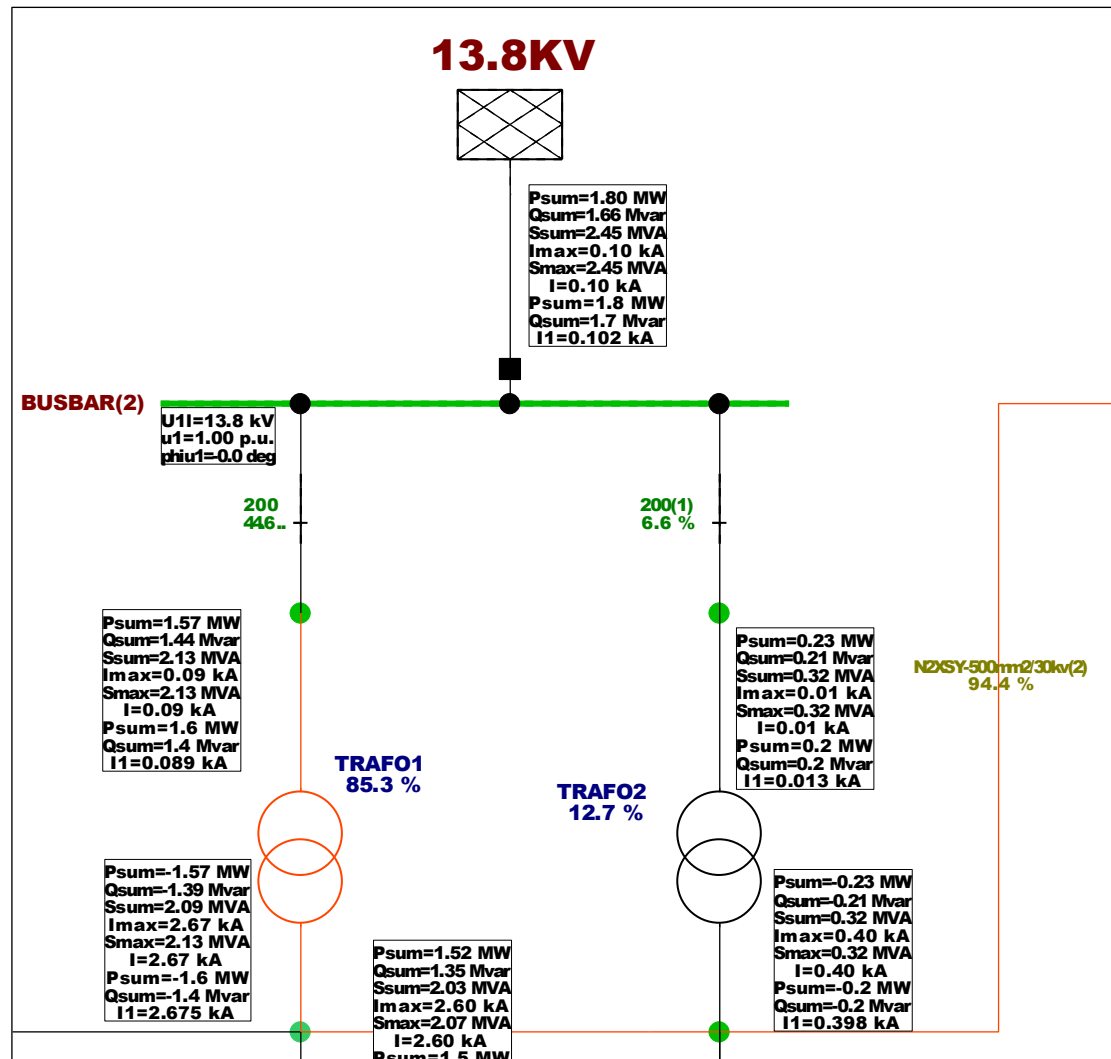
Magnitud de corriente de paso: 0.40 kA.

Potencia activa total: 0.20 MW.

Potencia reactiva total: 0.2 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.398 kA.

Figura 17. Parámetros de operación de trafo 1 y trafo 2.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

El transformador 3 de baja tensión trabaja a un 25.5% (Figura 18) de su potencia total, sin ningún filtro.

BOBINA PRIMARIA 460 V

Potencia activa total: 0.04 MW.

Potencia reactiva total: 0.04 MVAR.

Potencia aparente total: 0.06 MVA.

Corriente máxima: 0.08 kA.

Potencia máxima: 0.06 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.08 kA.

Potencia activa total: 0.0 MW.

Potencia reactiva total: 0.0 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.08 kA.

BOBINA SECUNDARIA 230V

Potencia activa total: 0.04 MW.

Potencia reactiva total: 0.04 MVAR.

Potencia aparente total: 0.06 MVA.

Corriente máxima: 0.16 kA.

Potencia máxima: 0.06 MVA.

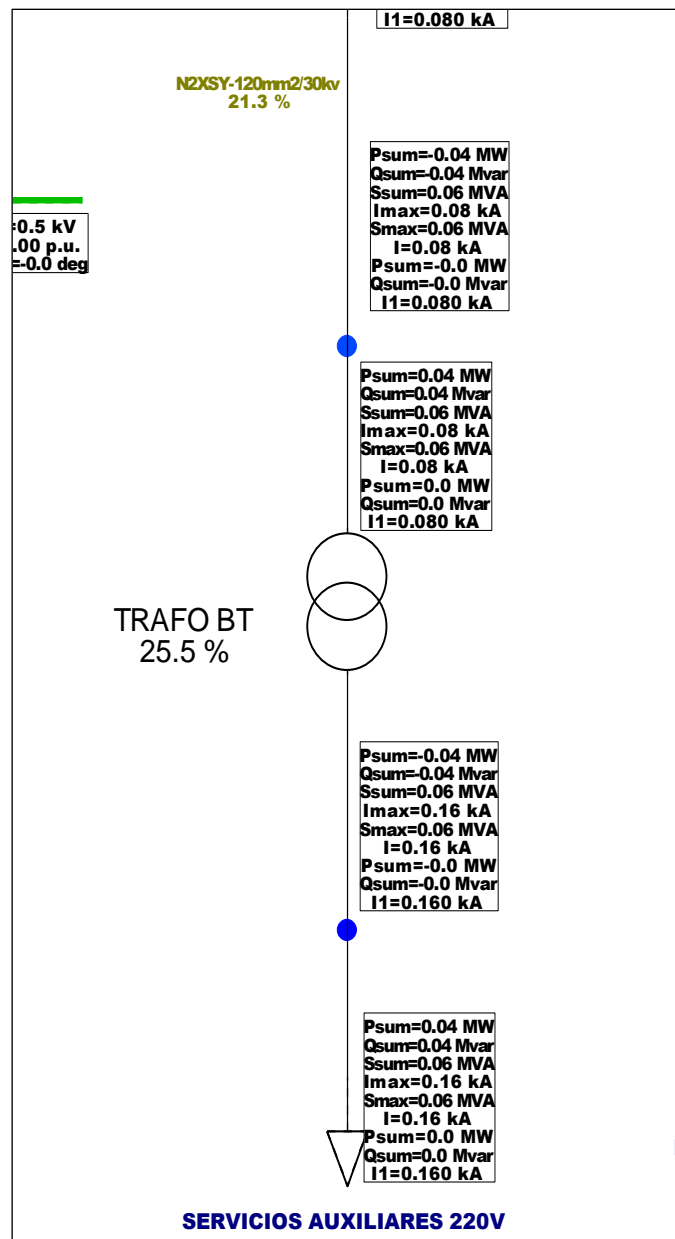
Magnitud de corriente de paso: 0.16 kA.

Potencia activa total: 0.0 MW.

Potencia reactiva total: 0.0 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.160 kA.

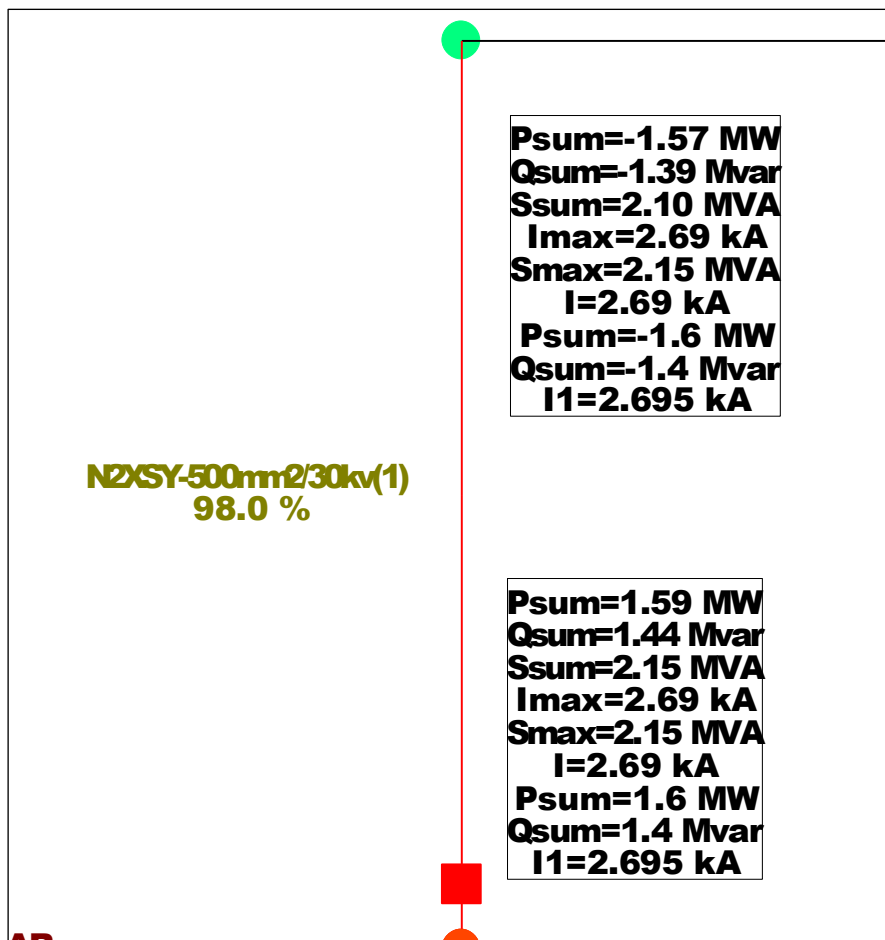
Figura 18. *Parámetros de trabajo del trafo de baja tensión (BT).*



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

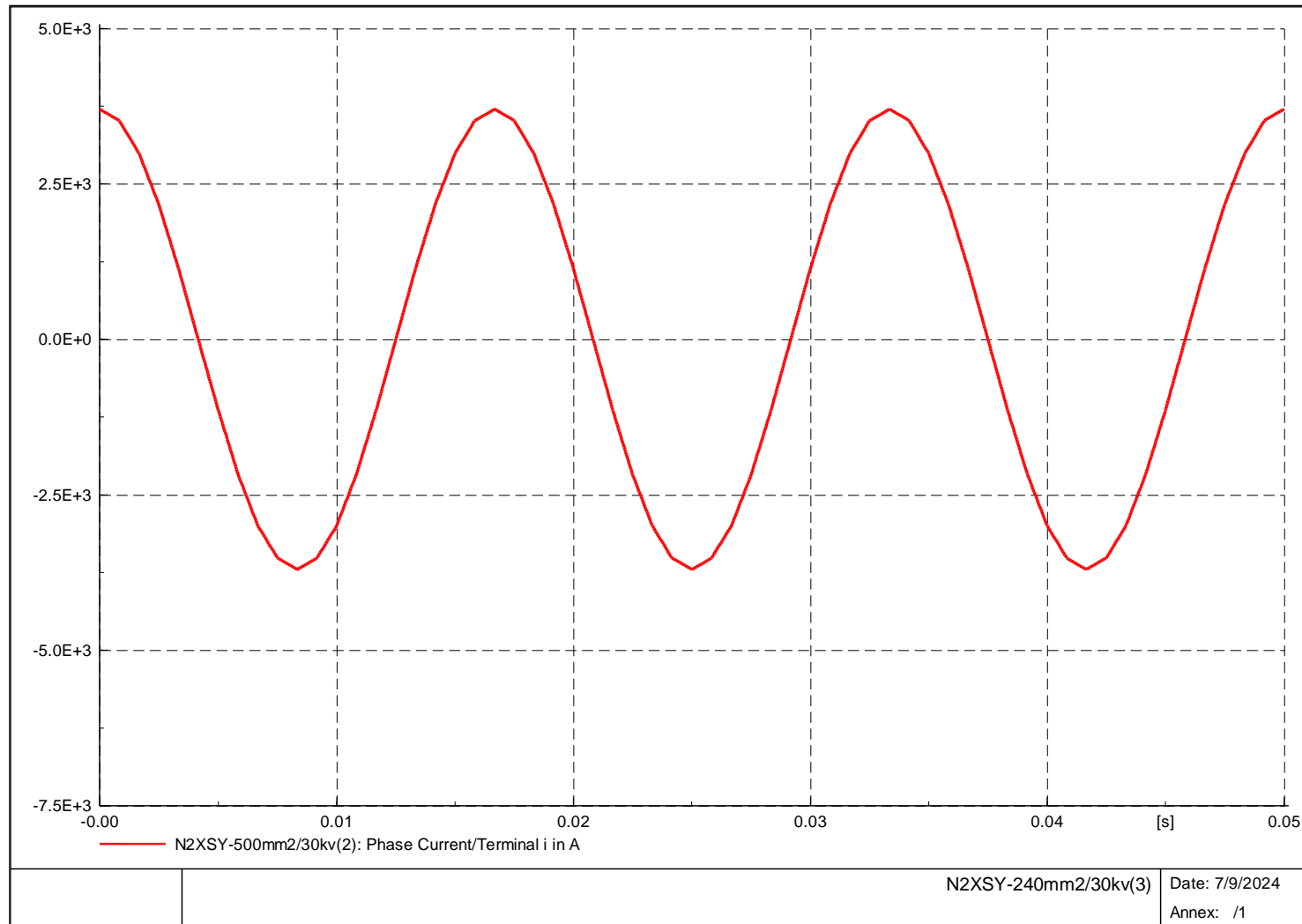
A continuación, se adjuntó la gráfica del cable y su Pick Up (máxima corriente), donde la sección del cable es N2XS(Y) de 500 mm², el cual sale del primer generador y que se encuentra trabajando a 98%, como se aprecia en la Figura 19 y Figura 20.

Figura 19. Parámetros de operación de cable N2XSY de 500 mm².



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

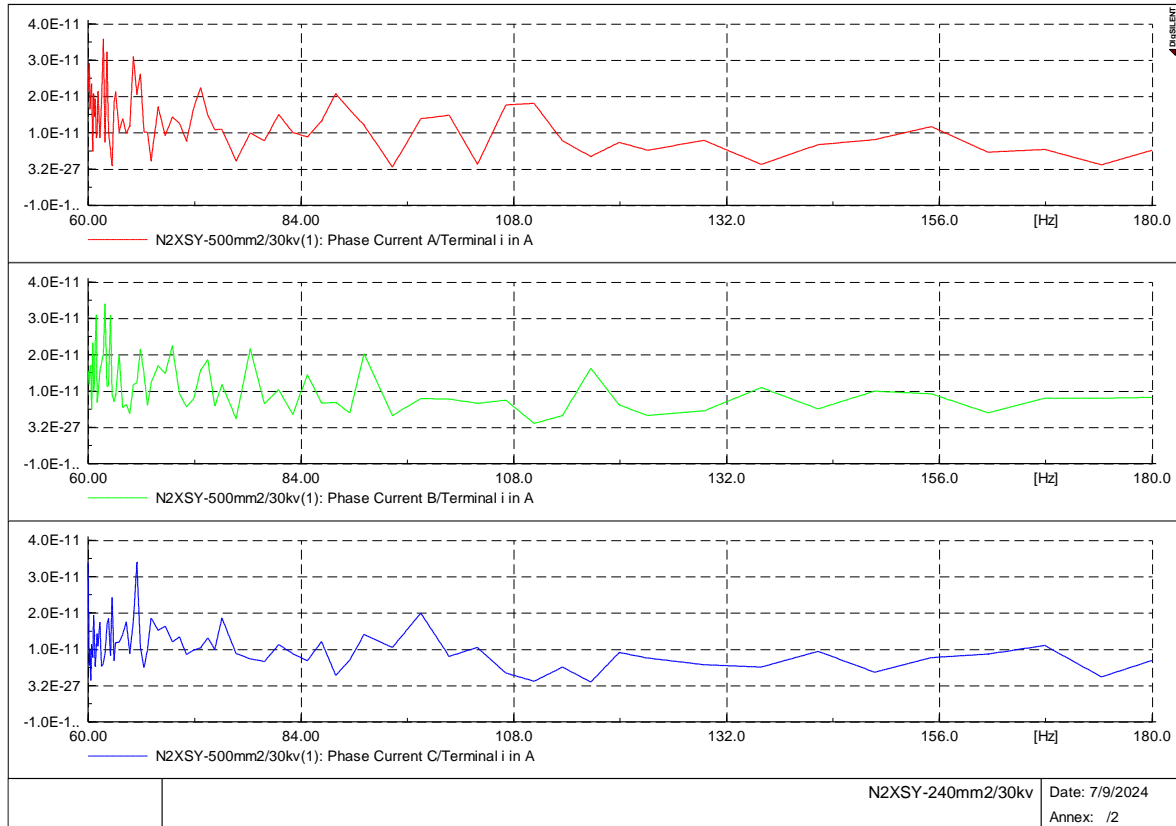
Figura 20. Gráfica de corriente máxima o Pick Up de cable N2XSY de 500 mm².



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

A continuación, se adjunta la gráfica del cable y de Barrido de Frecuencia del cable saturado N2XSY de 500 mm² que sale del primer generador (sin filtro), fase a, b, c, no selecciona el rango ni separa las distintas frecuencias, como se aprecia a continuación, en la Figura 21:

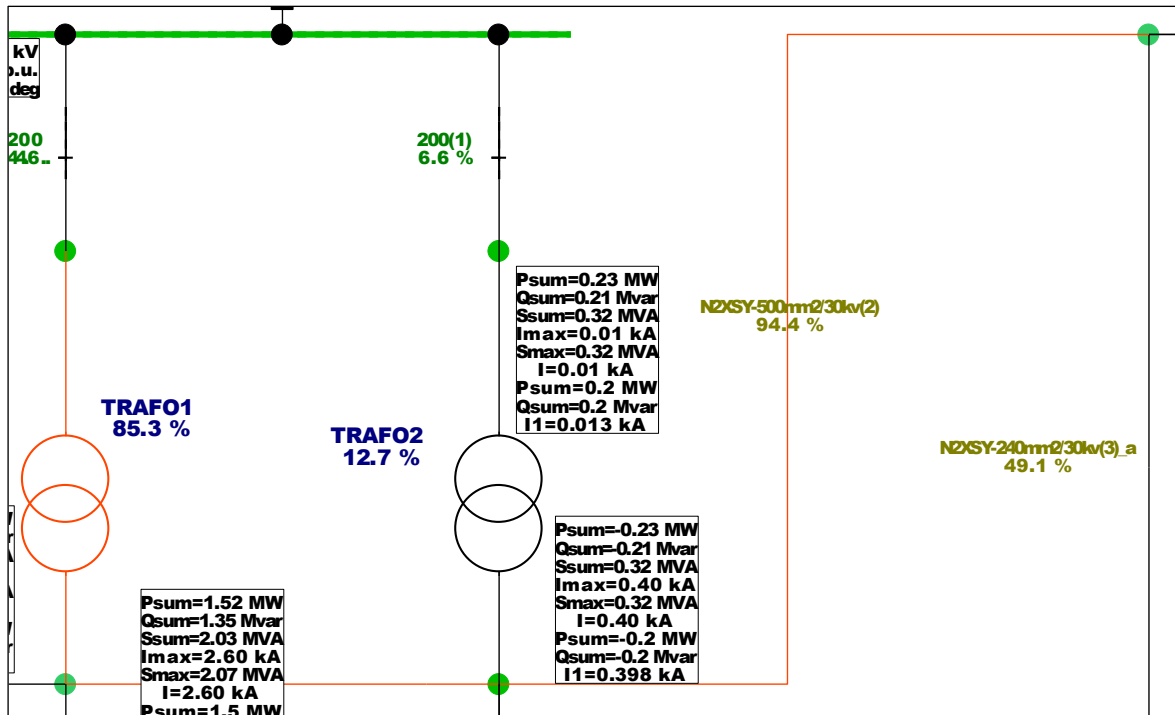
Figura 21. Gráfica de corriente de fase A, B, C en terminal de cable N2XSY de 500 mm².



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

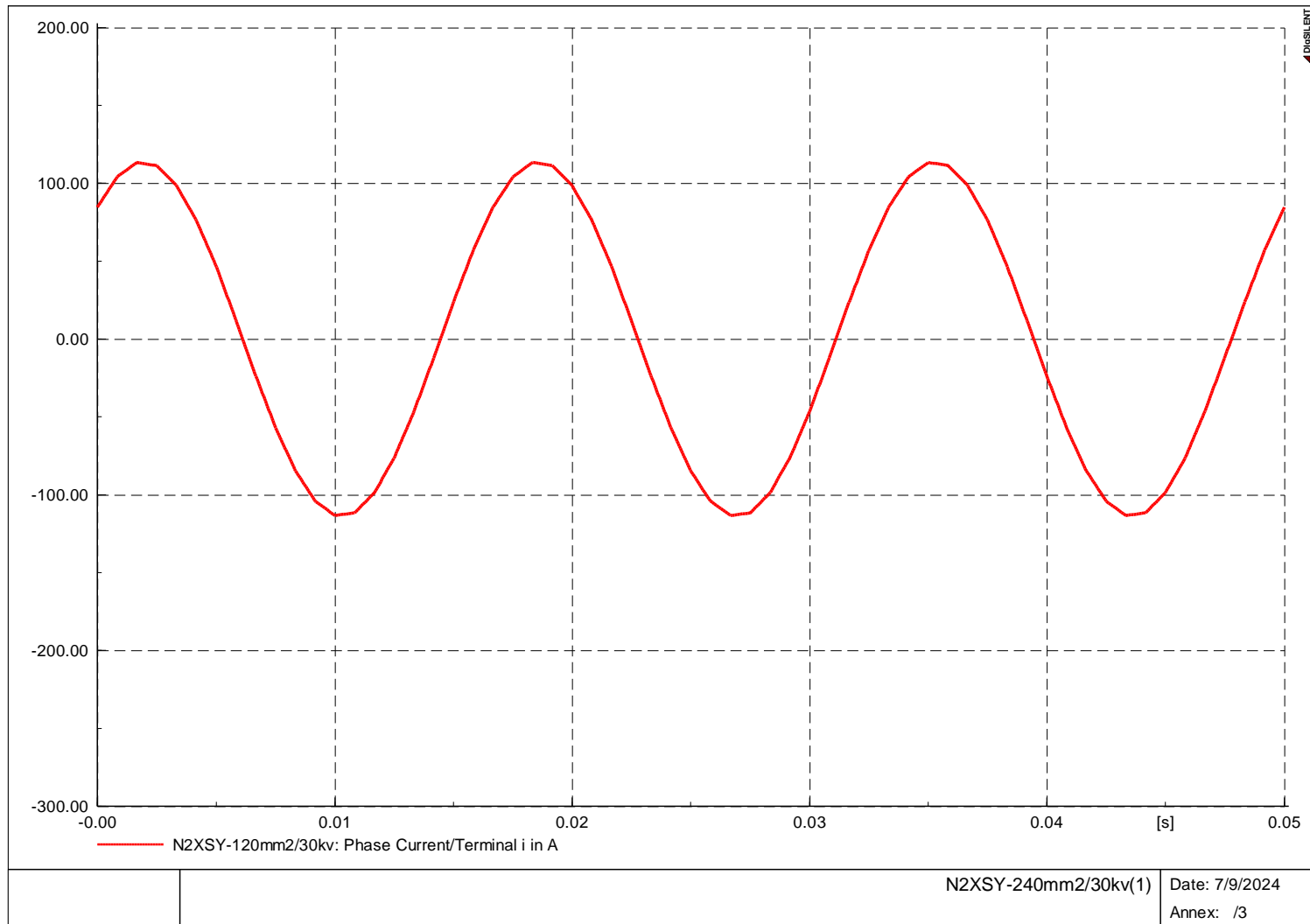
A continuación, se adjuntó la gráfica del cable y gráfica de pick up (máxima corriente) del cable saturado N2XSY de 500mm² (3) que sale del primer generador (filtros activos), apreciándose en la Figura 22 y Figura 23.

Figura 22. Gráfica del cable N2XSy de 500 mm² (3).



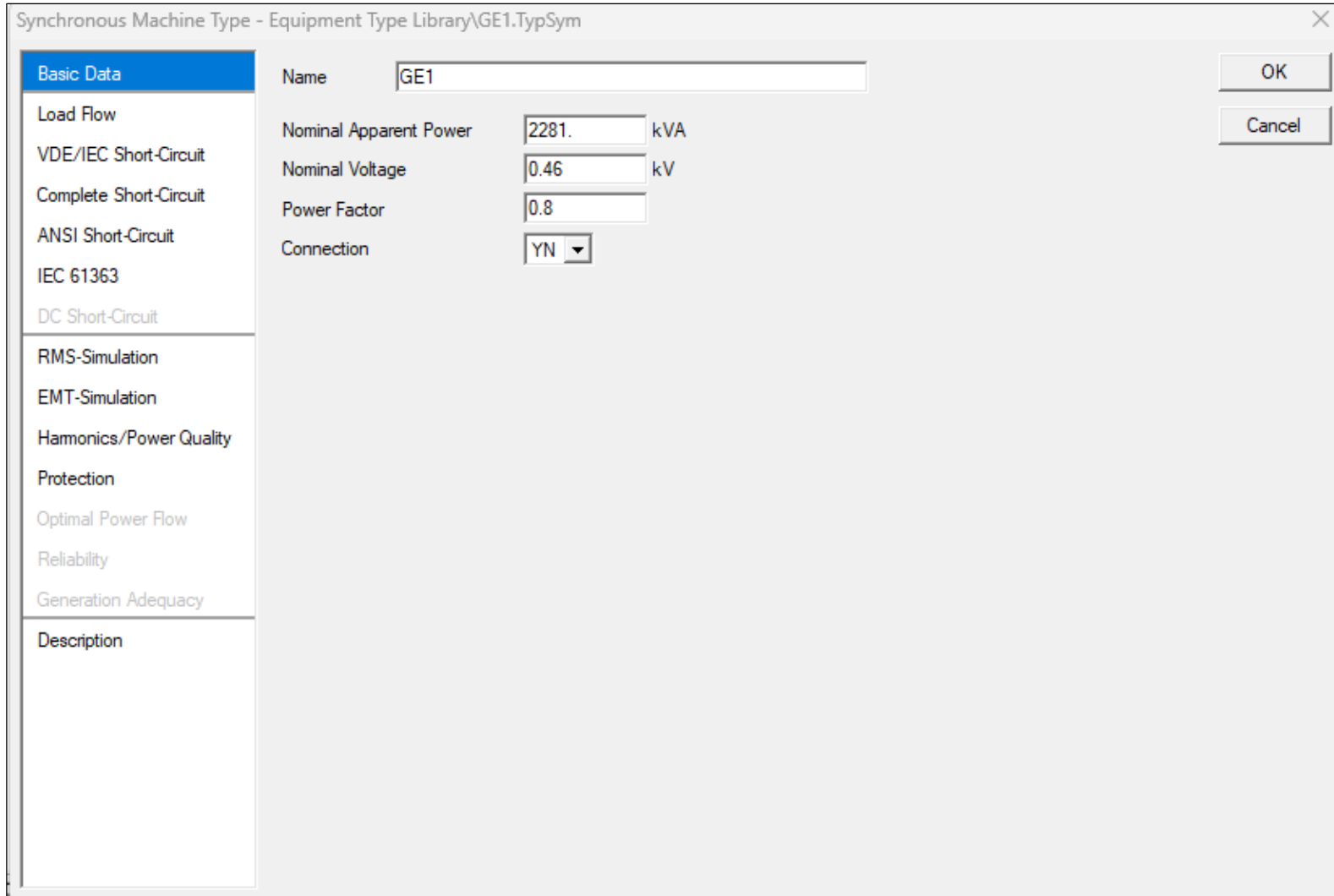
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 23. Gráfica de corriente máxima o Pick Up de cable N2XSY de 120 mm² para 30 kV.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 24. Datos del generador GE1 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).

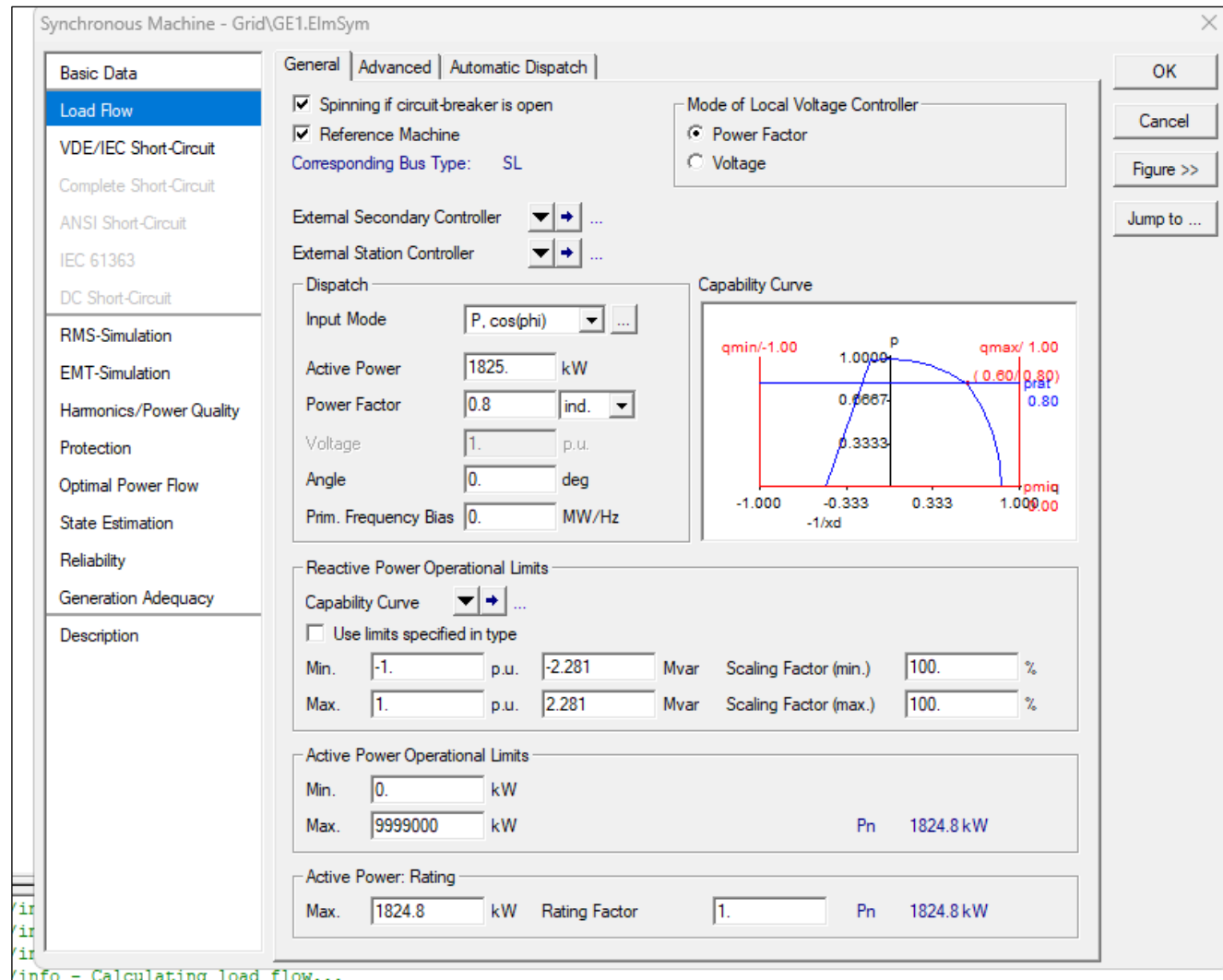


Synchronous Machine Type - Equipment Type Library\GE1.TypeSym

Basic Data	Name	GE1	OK
Load Flow	Nominal Apparent Power	2281. kVA	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage	0.46 kV	
Complete Short-Circuit	Power Factor	0.8	
ANSI Short-Circuit	Connection	YN	
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Hamonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 25. Datos del generador GE1 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia activa, límites de potencia activa).

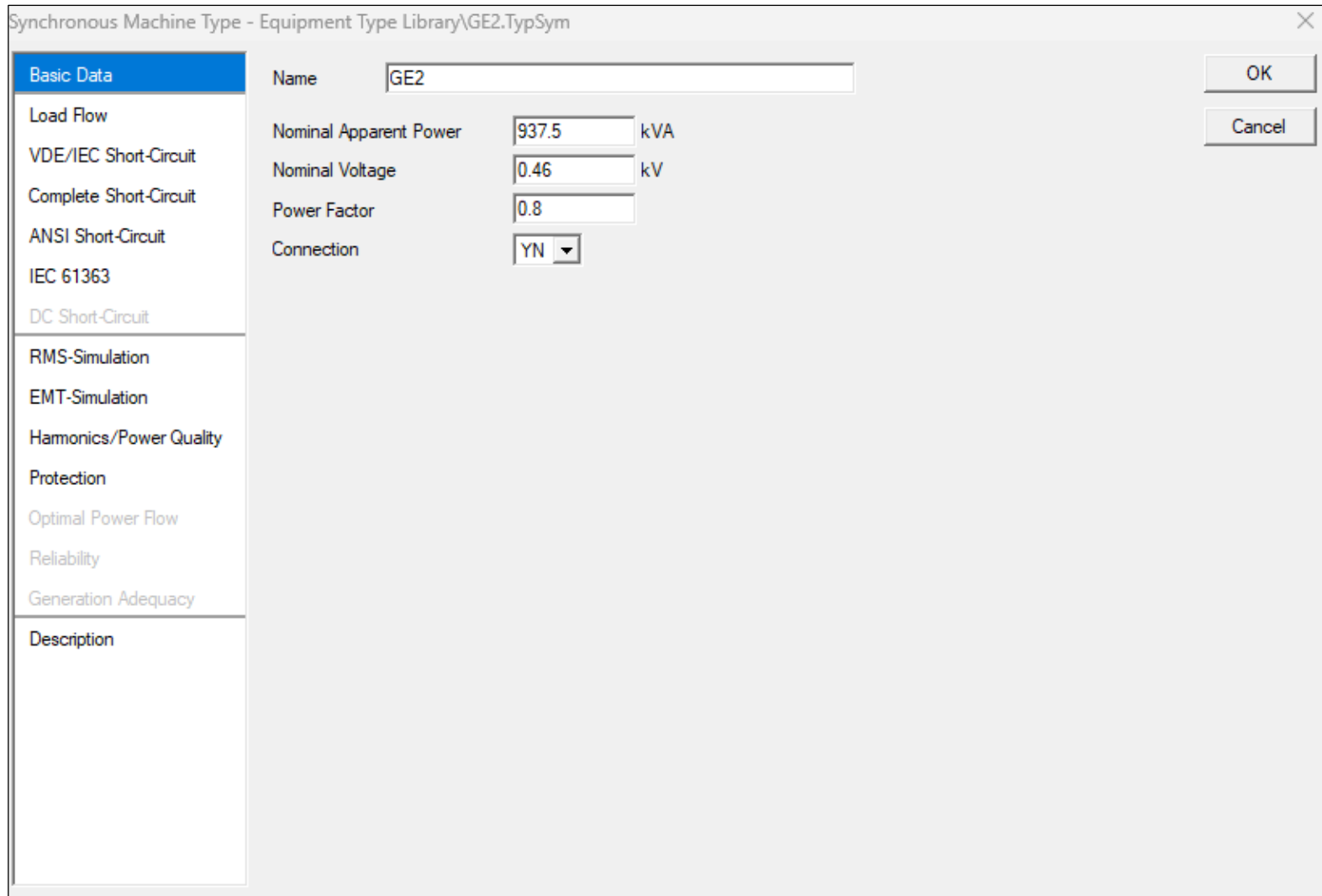


The screenshot displays the configuration window for a synchronous machine. The left sidebar lists various simulation and analysis options, with 'Load Flow' selected. The main area is divided into several sections:

- General:** Includes checkboxes for 'Spinning if circuit-breaker is open' and 'Reference Machine'. The 'Mode of Local Voltage Controller' is set to 'Power Factor'. 'Corresponding Bus Type' is 'SL'.
- Dispatch:** 'Input Mode' is 'P, cos(phi)'. 'Active Power' is 1825 kW, 'Power Factor' is 0.8 (inductive), and 'Voltage' is 1 p.u.
- Capability Curve:** A graph showing the relationship between active power (P) and reactive power (q). The curve is a semi-ellipse with a peak at P=1824.8 kW and q=0. The x-axis ranges from -1.000 to 1.000, and the y-axis ranges from -1.000 to 1.000. Key points on the curve are labeled: (0.6667, 0.80) and (0.80, 0.80).
- Reactive Power Operational Limits:** 'Use limits specified in type' is unchecked. Min. reactive power is -2.281 Mvar, and Max. reactive power is 2.281 Mvar. Both have a scaling factor of 100%.
- Active Power Operational Limits:** Min. active power is 0 kW, and Max. active power is 9999000 kW. The current active power (Pn) is 1824.8 kW.
- Active Power: Rating:** Max. active power is 1824.8 kW, Rating Factor is 1, and Pn is 1824.8 kW.

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 26. Datos del generador GE2 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).



Synchronous Machine Type - Equipment Type Library\GE2.TypSym

Basic Data	Name	GE2	
Load Flow	Nominal Apparent Power	937.5	kVA
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage	0.46	kV
Complete Short-Circuit	Power Factor	0.8	
ANSI Short-Circuit	Connection	YN	
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Hamonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			

OK
Cancel

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 27. Datos del generador GE2 sin filtro con factor de potencia de 0.75 (potencia activa, límites de potencia activa).

Synchronous Machine - Grid\GE2.ElmSym

Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | DC Short-Circuit | RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics/Power Quality | Protection | Optimal Power Flow | State Estimation | Reliability | Generation Adequacy | Description

General | Advanced | Automatic Dispatch

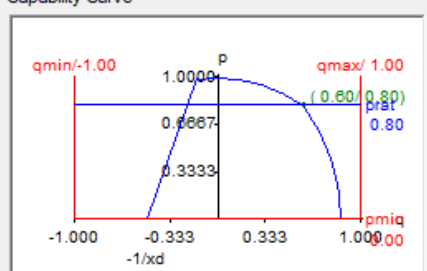
Spinning if circuit-breaker is open
 Reference Machine
 Corresponding Bus Type: SL

Mode of Local Voltage Controller
 Power Factor
 Voltage

External Secondary Controller: [dropdown] [button] ...
 External Station Controller: [dropdown] [button] ...

Dispatch
 Input Mode: P, cos(phi)
 Active Power: 750 kW
 Power Factor: 0.8 ind.
 Voltage: 1 p.u.
 Angle: 0 deg
 Prim. Frequency Bias: 0 MW/Hz

Capability Curve



Reactive Power Operational Limits
 Capability Curve: [dropdown] [button] ...
 Use limits specified in type
 Min. -1 p.u. -0.9375 Mvar Scaling Factor (min.) 100 %
 Max. 1 p.u. 0.9375 Mvar Scaling Factor (max.) 100 %

Active Power Operational Limits
 Min. 0 kW
 Max. 9999000 kW Pn 750 kW

Active Power: Rating
 Max. 750 kW Rating Factor 1 Pn 750 kW

OK
 Cancel
 Figure >>
 Jump to ...

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 28. Datos del transformador 1 con factor de potencia de 0.75.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAFO1.TypTr2

Basic Data	Name	TRAFO1	OK
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	2500. kVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz	
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group
IEC 61363	HV-Side	13.8 kV	HV-Side: D
DC Short-Circuit	LV-Side	0.46 kV	LV-Side: YN
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift: 5. *30deg
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	3. %	Name: Dyn5
Hamonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW	
Protection	Zero Sequence Impedance		
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	3. %	
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %	
Generation Adequacy			
Description			

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

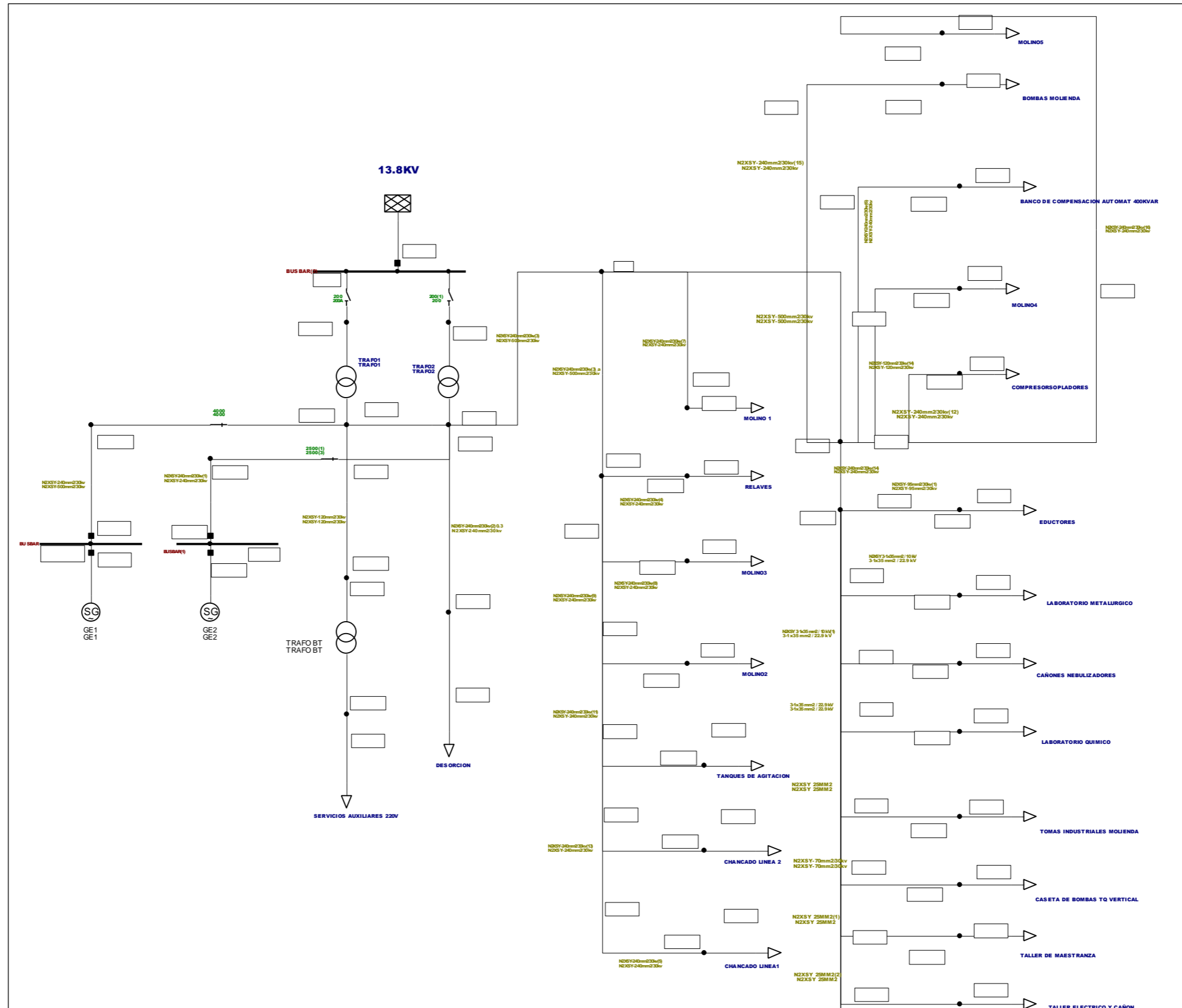
Figura 29. Datos del transformador 2 con factor de potencia de 0.75.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAFO2.TypTr2

Basic Data	Name	TRAFO2	OK
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	2500. kVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz	
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group
IEC 61363	HV-Side	13.8 kV	HV-Side D
DC Short-Circuit	LV-Side	0.46 kV	LV-Side YN
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	3. %	5. *30deg
Hamonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW	Name Dyn5
Protection	Zero Sequence Impedance		
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	3. %	
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %	
Generation Adequacy			
Description			

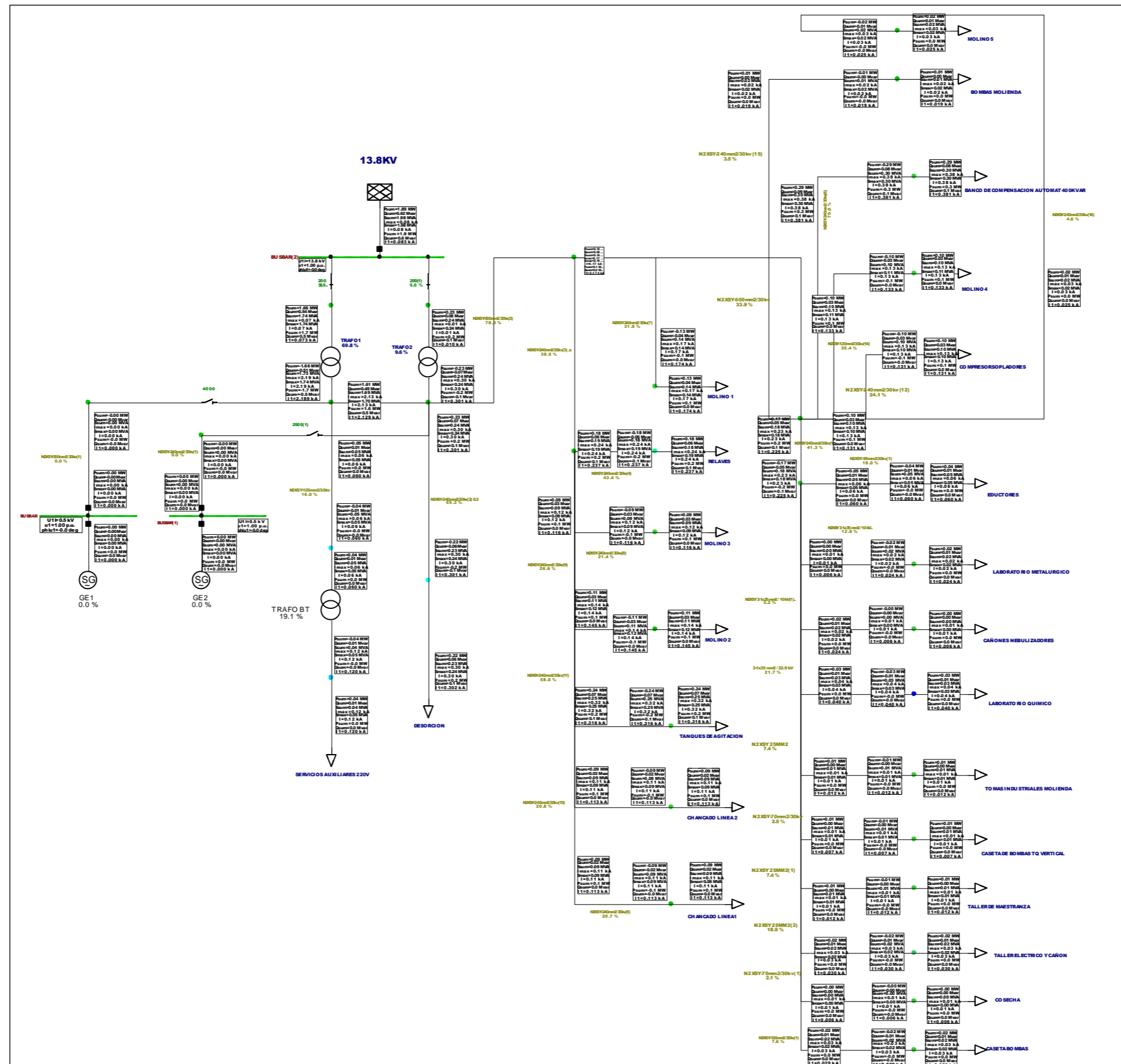
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 30. Diagrama completo del sistema eléctrico de la subestación N° 1 de la empresa minera con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.



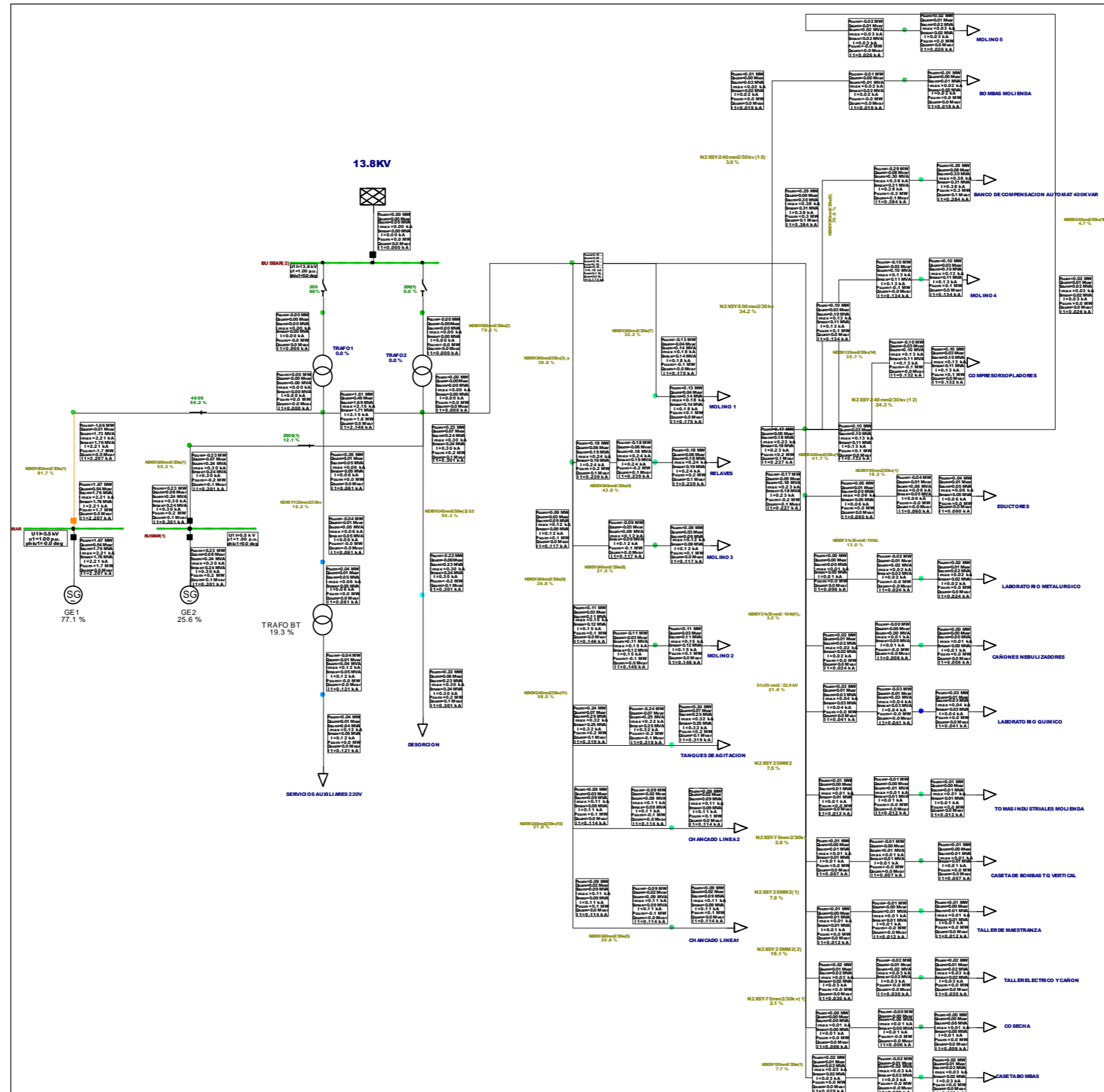
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 31. Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los transformadores con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.



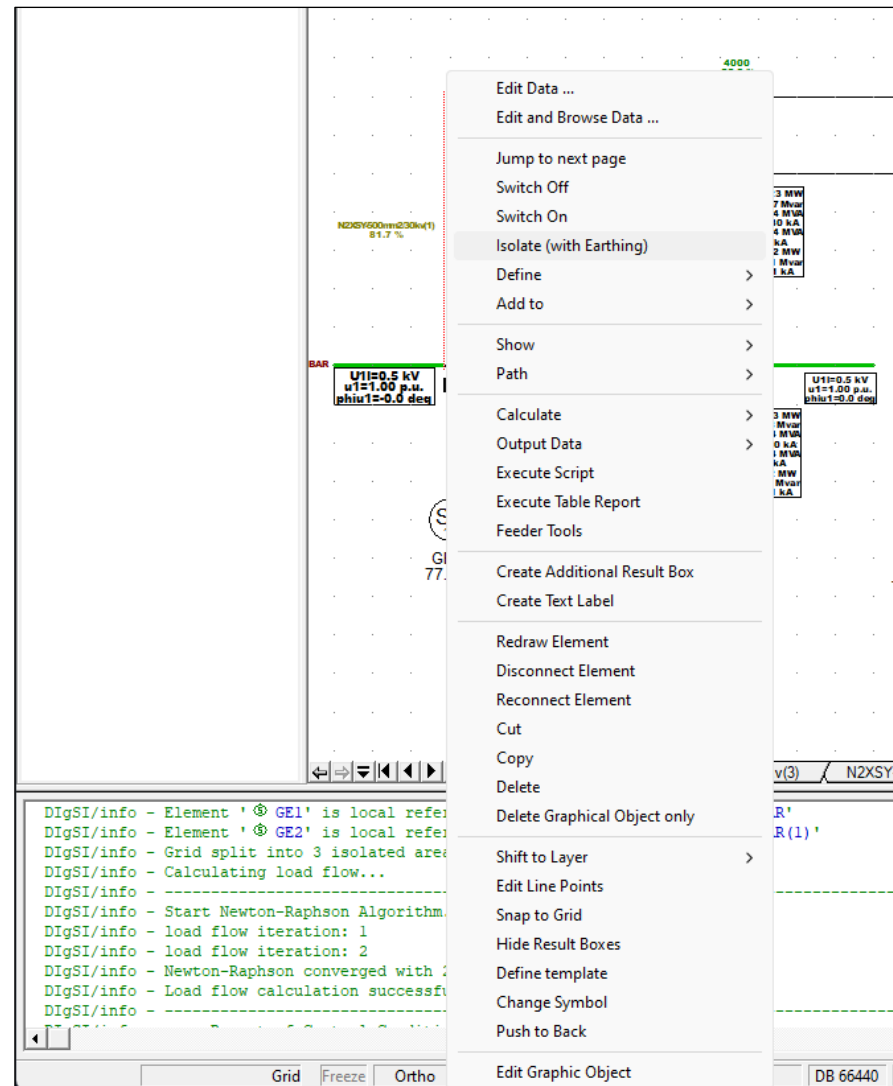
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 32. Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los generadores con filtro pasivo además de factor de potencia 0.96.



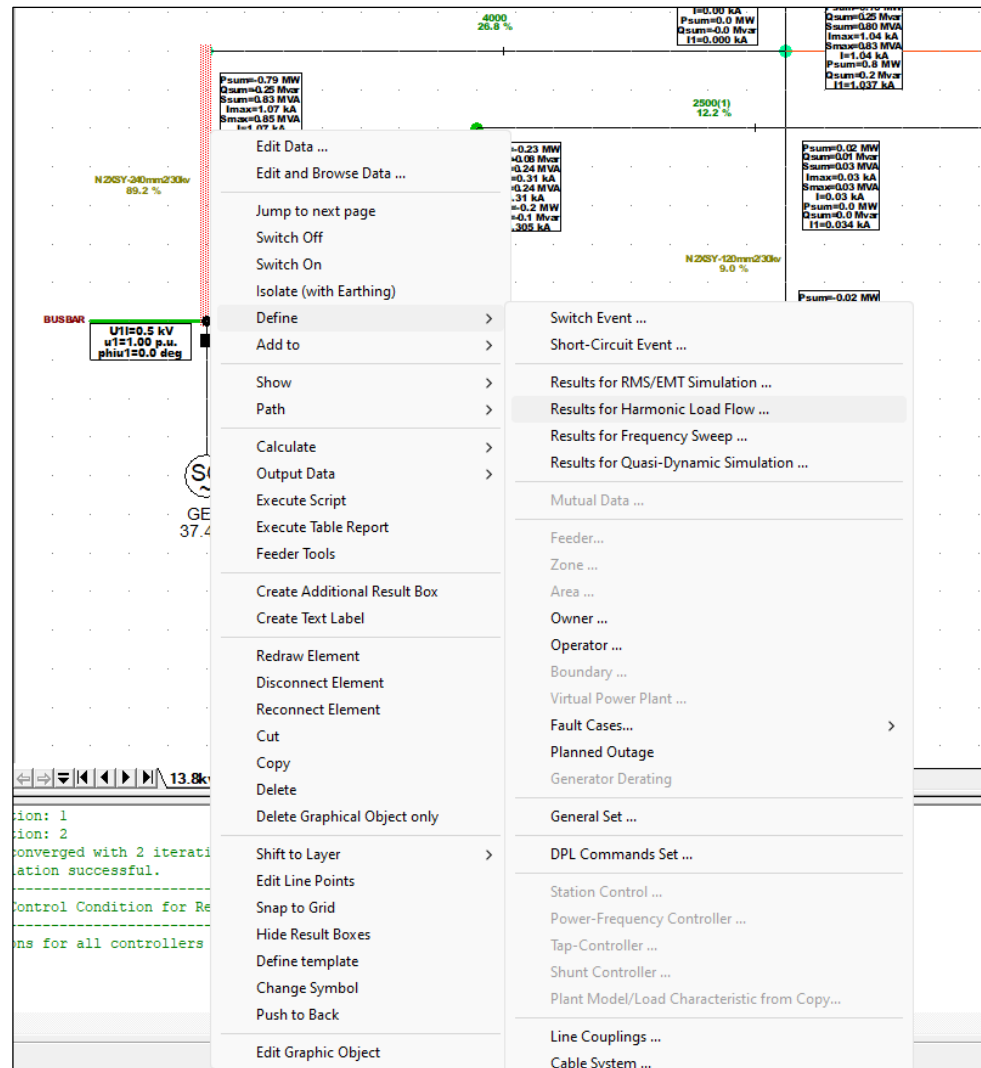
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 33. Paso 1 para agregar el filtro pasivo.



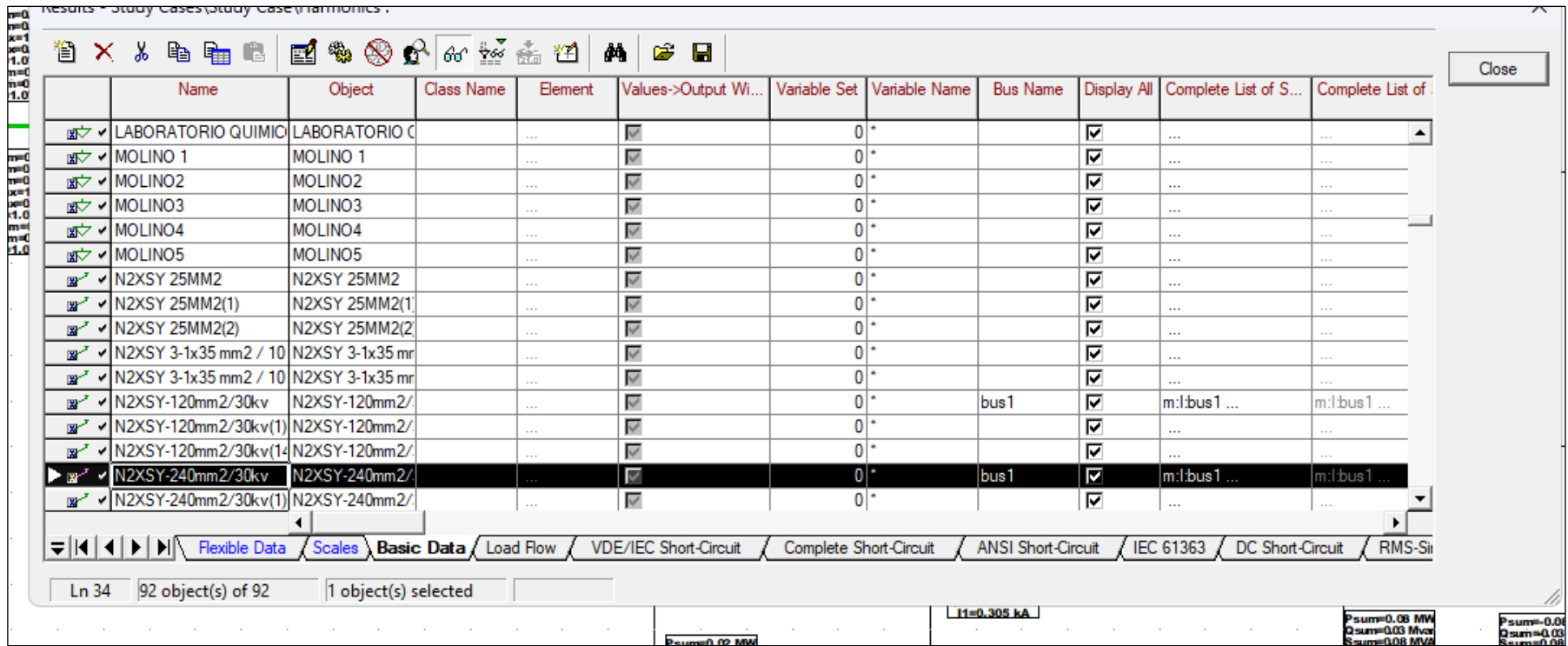
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 34. Paso 2 para agregar el filtro pasivo.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 35. Paso 3.1 para agregar el filtro pasivo.



The screenshot shows the 'Results' window in DigSilent Power Factory. The table below lists the objects in the project. The row for 'N2XSY-240mm2/30kv' is highlighted, indicating it is the selected object for adding a passive filter.

Name	Object	Class Name	Element	Values->Output Wi...	Variable Set	Variable Name	Bus Name	Display All	Complete List of S...	Complete List of
✓ LABORATORIO QUIMICO	LABORATORIO C	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ MOLINO 1	MOLINO 1	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ MOLINO2	MOLINO2	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ MOLINO3	MOLINO3	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ MOLINO4	MOLINO4	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ MOLINO5	MOLINO5	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY 25MM2	N2XSY 25MM2	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY 25MM2(1)	N2XSY 25MM2(1)	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY 25MM2(2)	N2XSY 25MM2(2)	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY 3-1x35 mm2 / 10	N2XSY 3-1x35 mr	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY 3-1x35 mm2 / 10	N2XSY 3-1x35 mr	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY-120mm2/30kv	N2XSY-120mm2/	...	...	✓	0 *		bus1	✓	m:bus1 ...	m:bus1 ...
✓ N2XSY-120mm2/30kv(1)	N2XSY-120mm2/	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY-120mm2/30kv(1)	N2XSY-120mm2/	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY-120mm2/30kv(1)	N2XSY-120mm2/	...	...	✓	0 *			✓	...	...
✓ N2XSY-240mm2/30kv	N2XSY-240mm2/	...	...	✓	0 *		bus1	✓	m:bus1 ...	m:bus1 ...
✓ N2XSY-240mm2/30kv(1)	N2XSY-240mm2/	...	...	✓	0 *			✓	...	...

At the bottom of the window, the status bar shows: Ln 34, 92 object(s) of 92, 1 object(s) selected, and I_t=0.305 kA. Summary statistics for Psum, Qsum, and Ssum are also visible.

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 36. Paso 3.2 para agregar el filtro pasivo.

Variable Selection - Study Cases\Study Case\Harmonics\N2XSY-240mm2/30kv.IntMon *

Selection Editor

Object Grid\N2XSY-240mm2/30kv

Filter for

Variable Set Currents, Voltages and Powers

Variable Name *

Bus Name bus1

Available Variables

Variable	Unit	Description
<input checked="" type="checkbox"/> I:bus1	A	Current, Magnitude
<input type="checkbox"/> i:bus1	p.u.	Current, Magnitude
<input type="checkbox"/> I1:bus1	A	Positive-Sequence Current, Magnitude
<input type="checkbox"/> I2:bus1	A	Negative Sequence Current, Magnitude
<input type="checkbox"/> phiui:bus1	deg	Angle between Voltage and Current
<input checked="" type="checkbox"/> phi:bus1	deg	Current Angle, Absolute
<input type="checkbox"/> P:bus1	kW	Active Power
<input type="checkbox"/> Q:bus1	kvar	Reactive Power
<input type="checkbox"/> S:bus1	kVA	Apparent Power
<input type="checkbox"/> cosphi:bus1		Power Factor
<input type="checkbox"/> HD:bus1	%	Harmonic Distortion (Current)
<input type="checkbox"/> Irms:bus1	kA	Current, RMS-Value
<input type="checkbox"/> irms:bus1	p.u.	Current, RMS-Value
<input type="checkbox"/> THD:bus1	%	Total Harmonic Distortion (Current)
<input type="checkbox"/> TP:bus1	MW	Total Active Power
<input type="checkbox"/> TQ:bus1	Mvar	Total Reactive Power
<input type="checkbox"/> TS:bus1	MVA	Total Apparent Power
<input type="checkbox"/> Tcosphi:bus1		Total Power Factor
<input type="checkbox"/> IT:bus1	kA	IT-Product
<input type="checkbox"/> TAD:bus1	%	Arithmetic Distortion
<input type="checkbox"/> ki:bus1		Current Diversity Factor
<input type="checkbox"/> kv:bus1		Voltage Diversity Factor

Selected Variables

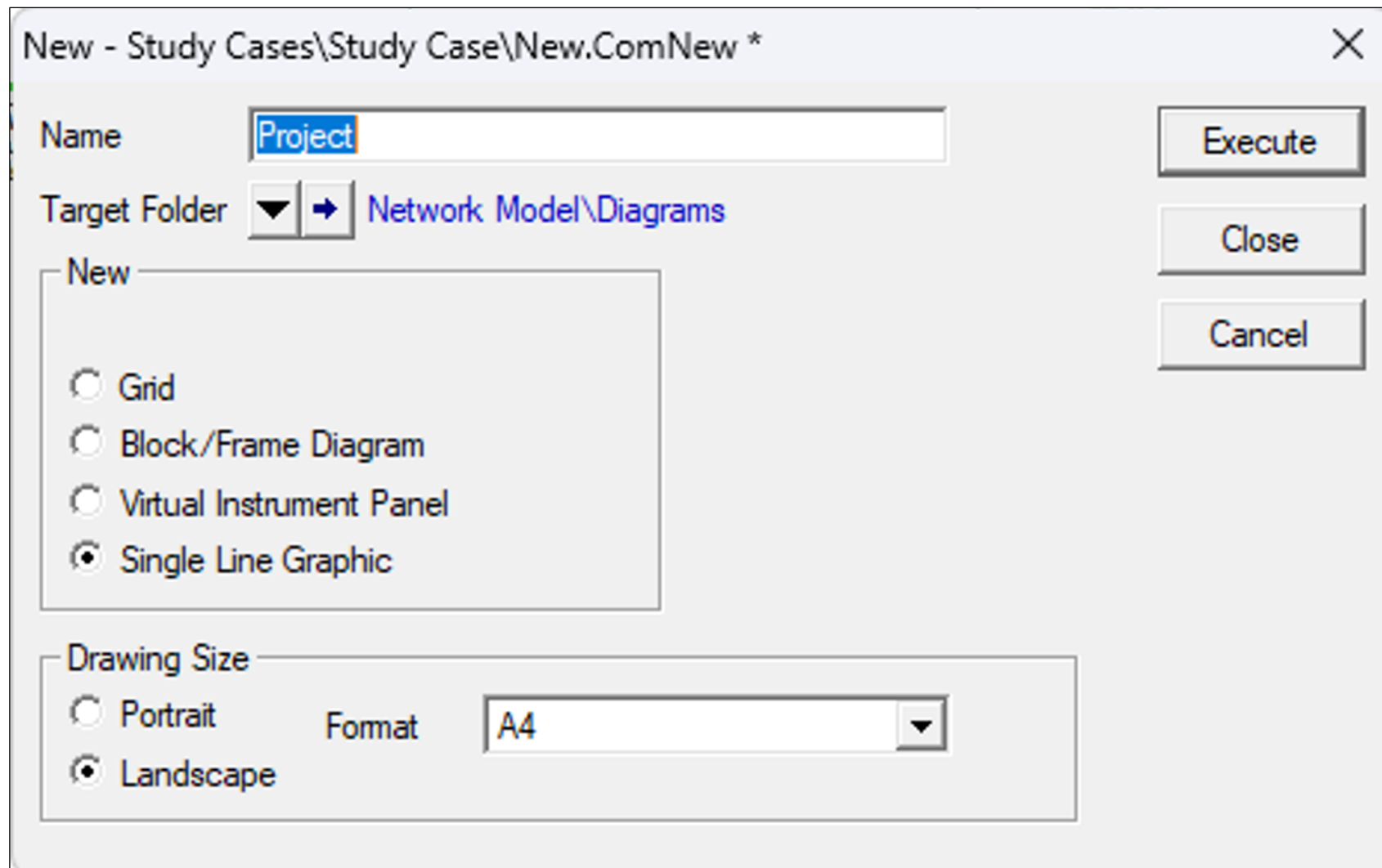
m:I:bus1
m:phi:bus1

Display All

OK
Cancel
balanced
Print Values
Variable List
V. List (page)

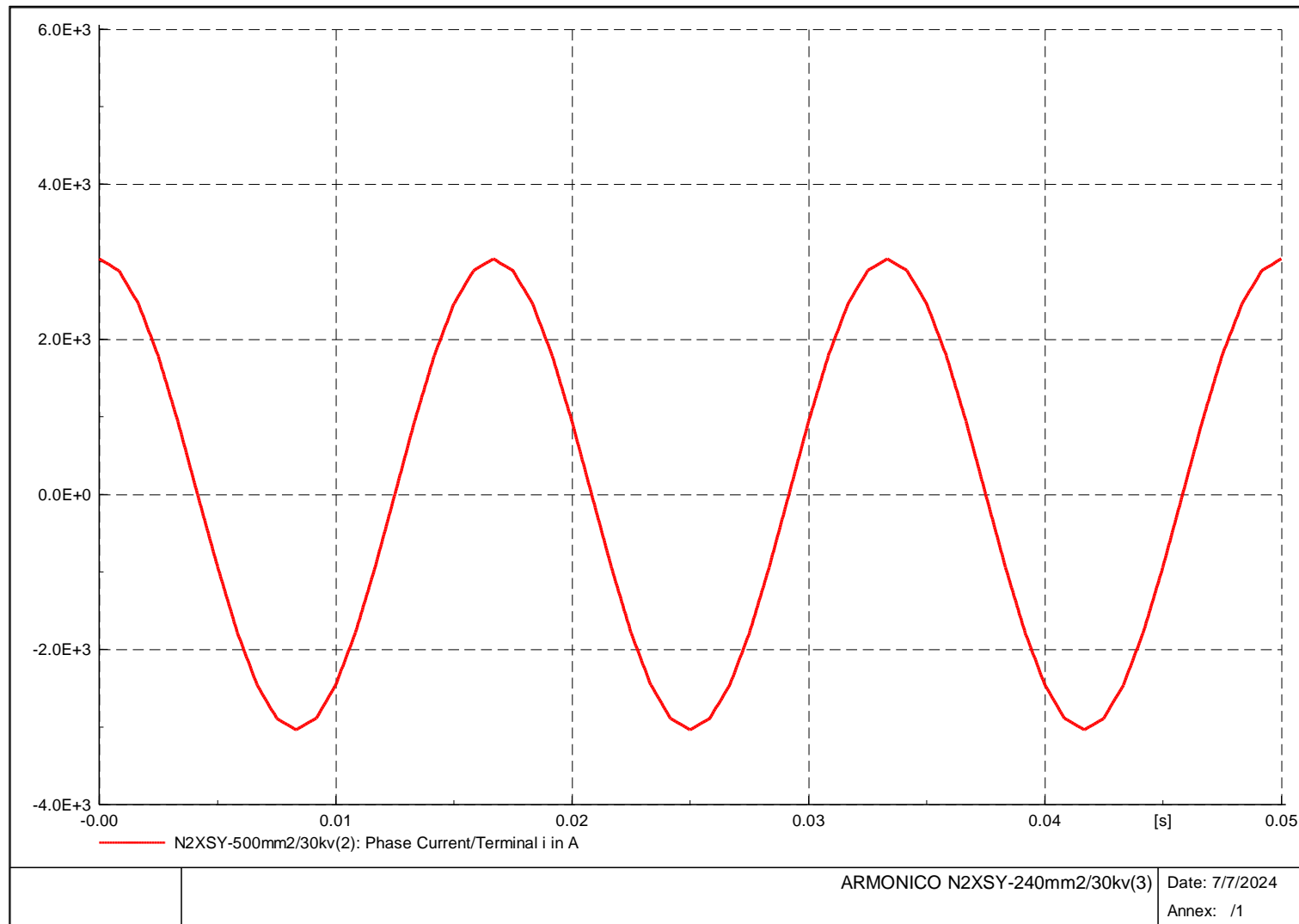
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 37. Paso 4 para agregar el filtro pasivo.



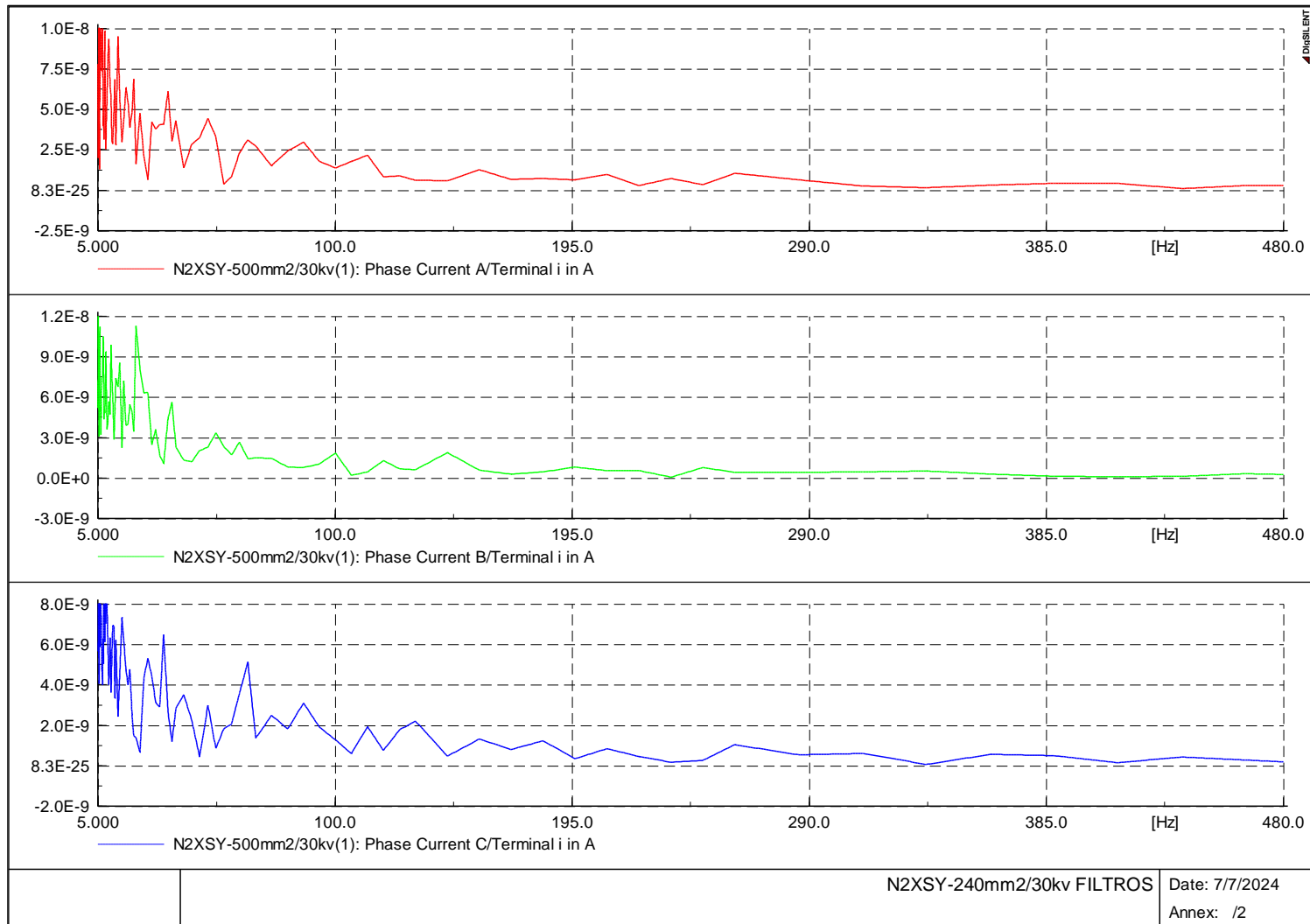
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 38. Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro pasivo.



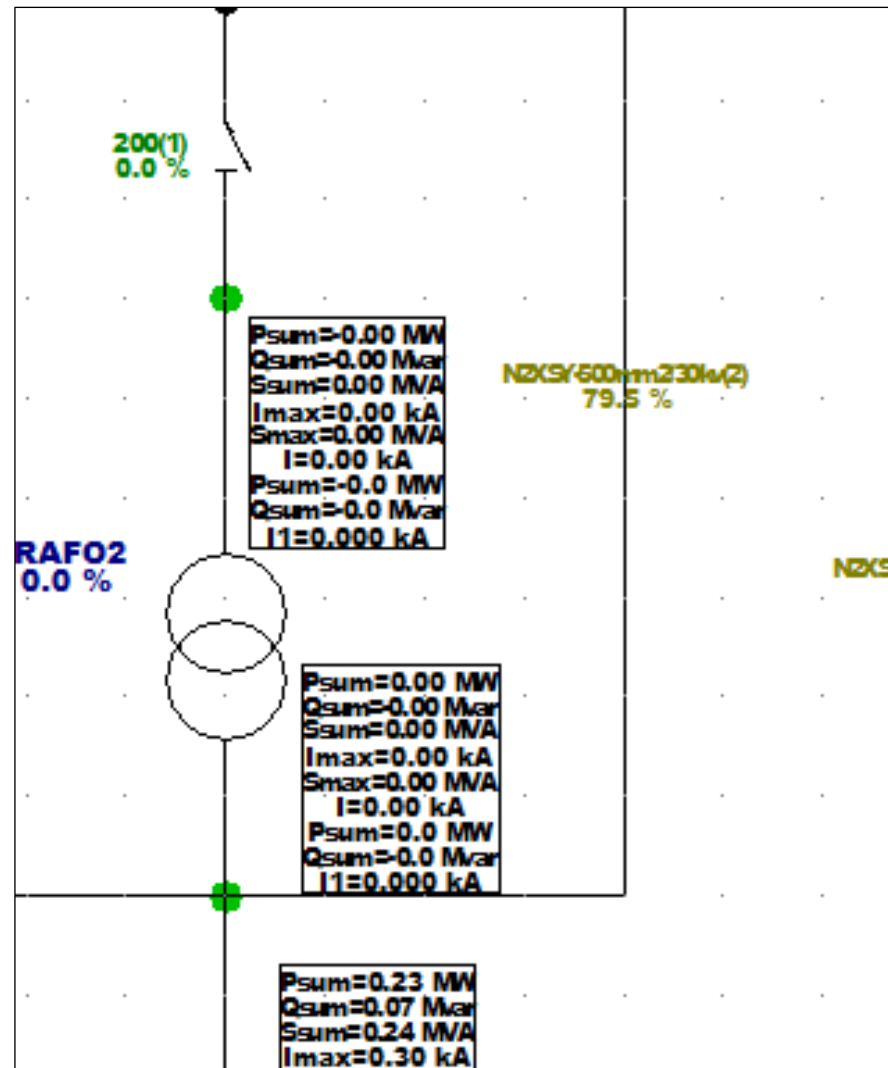
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 39. Gráfica de barrido de frecuencia en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro pasivo.



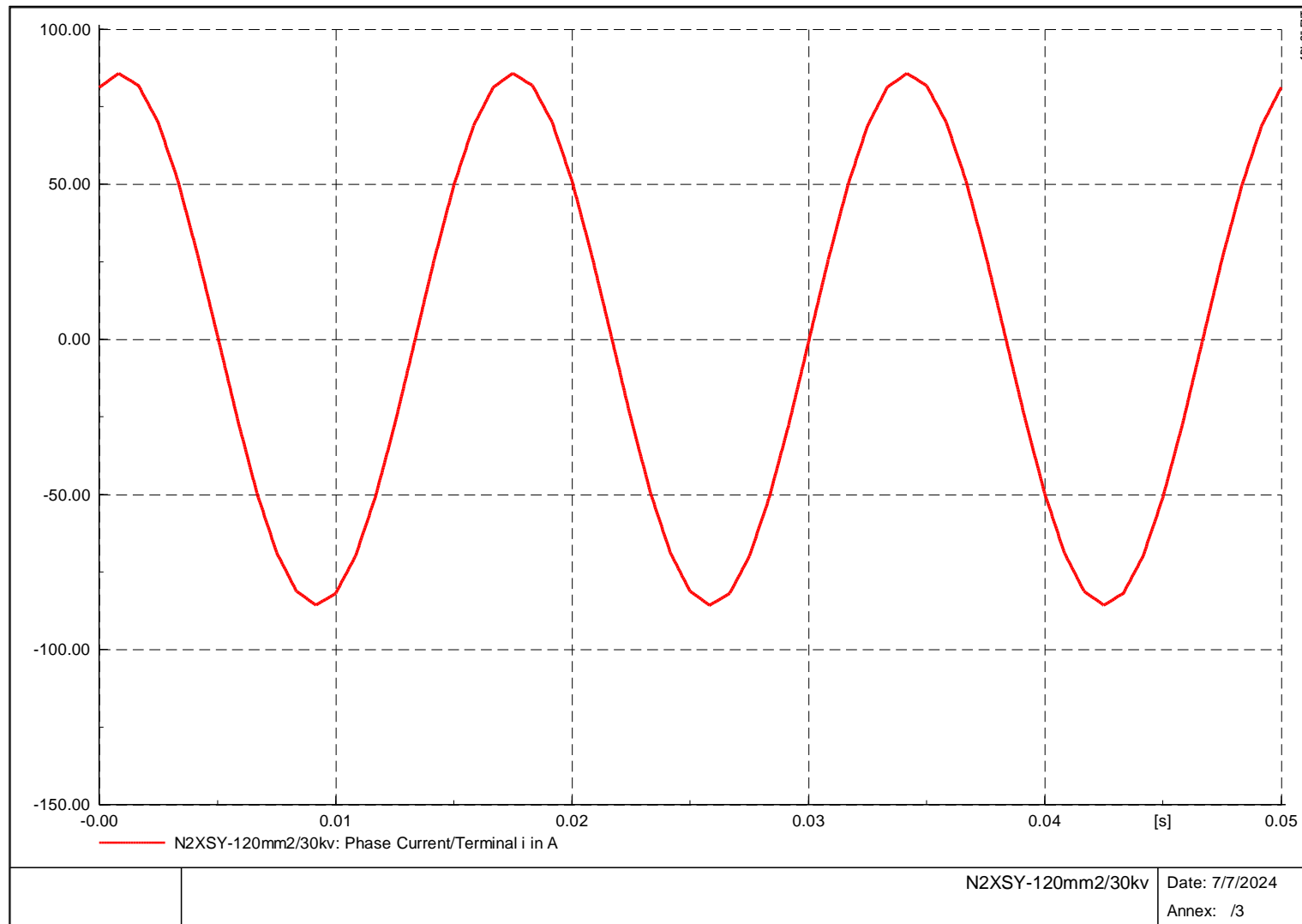
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 40. Porcentaje de trabajo del cable N2XSY de 500 mm² con filtro pasivo.



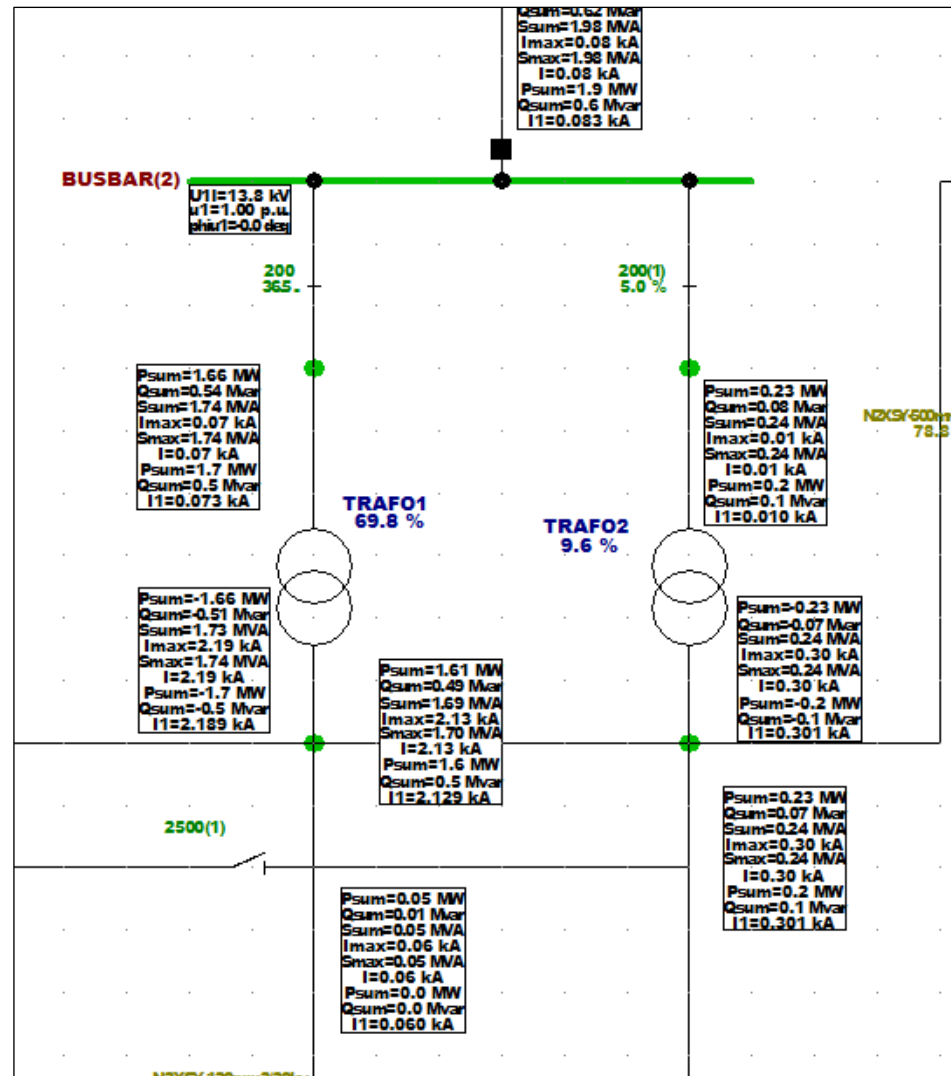
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 41. Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 120 mm² con filtro pasivo.



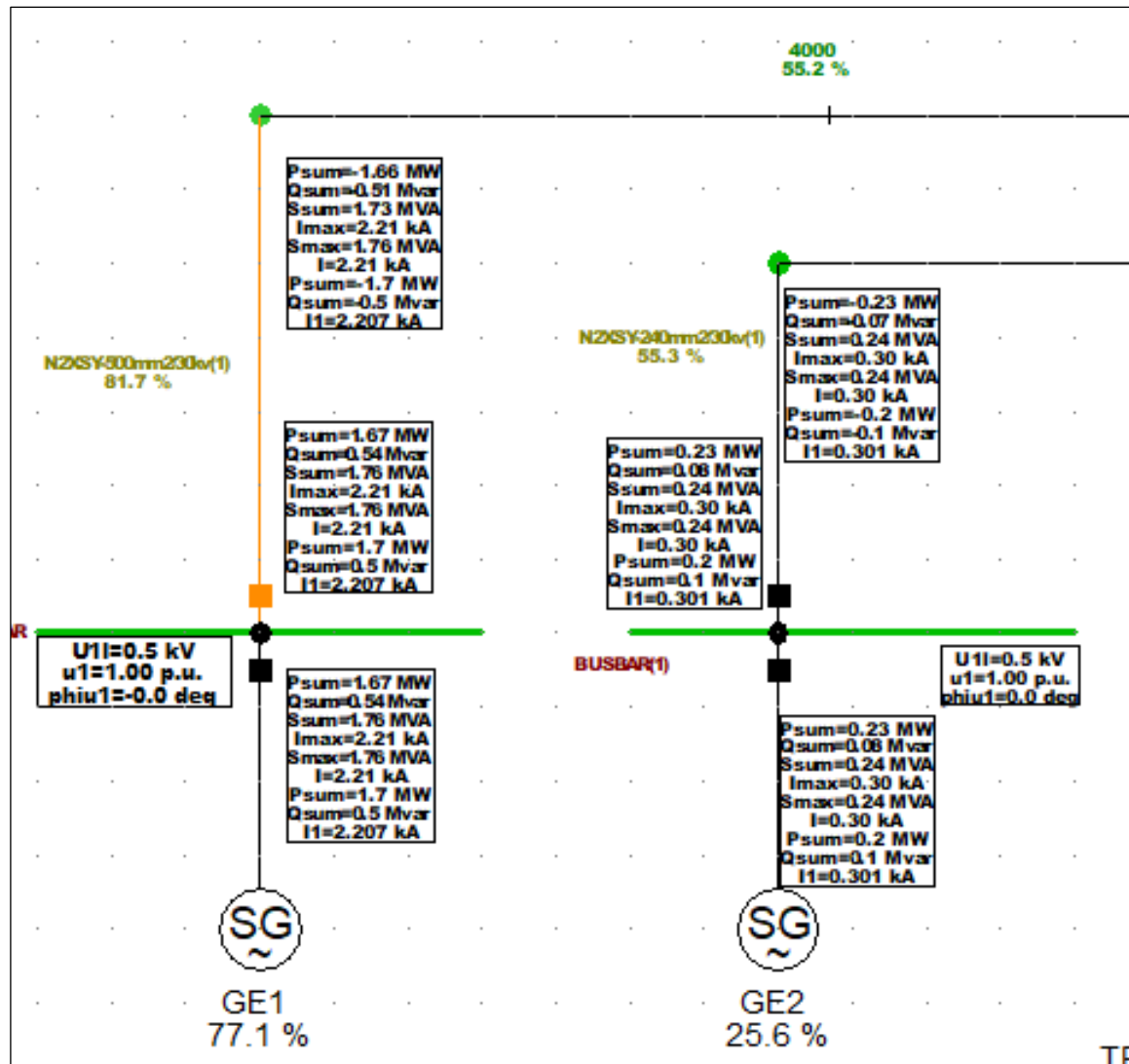
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 42. Porcentaje de trabajo de los transformadores 1 y 2 con filtro pasivo.



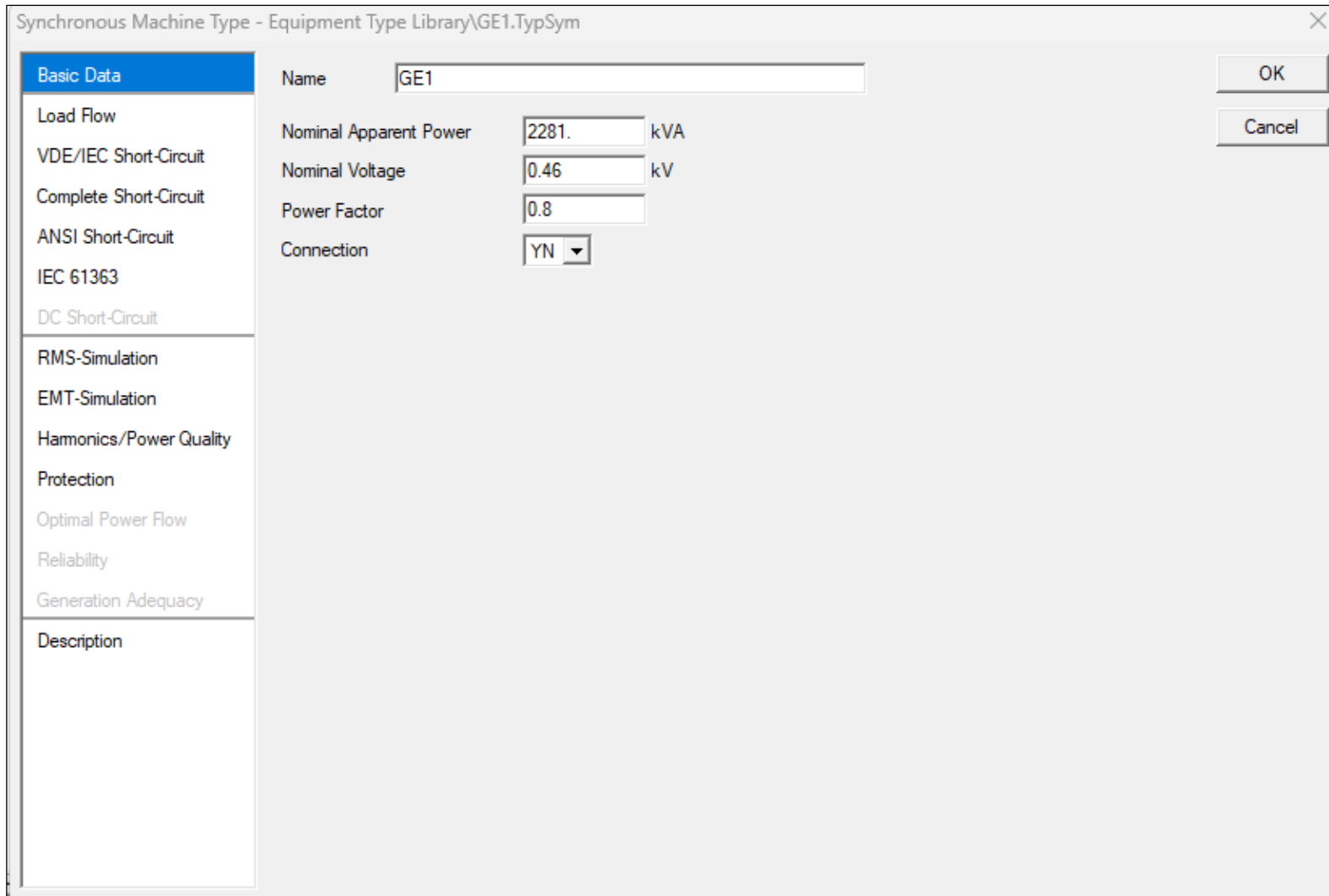
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 43. Porcentaje de trabajo de los generadores 1 y 2 además del cable de transmisión con filtro pasivo.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 44. Datos del generador GE1 con filtro pasivo y factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).



Synchronous Machine Type - Equipment Type Library\GE1.TypSym

Basic Data	Name	GE1	OK
Load Flow	Nominal Apparent Power	2281. kVA	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage	0.46 kV	
Complete Short-Circuit	Power Factor	0.8	
ANSI Short-Circuit	Connection	YN	
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Hamonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 45. Datos del generador GE1 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).

Synchronous Machine - Grid\GE1.ElmSym

Basic Data | Load Flow | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | DC Short-Circuit | RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics/Power Quality | Protection | Optimal Power Flow | State Estimation | Reliability | Generation Adequacy | Description

General | Advanced | Automatic Dispatch

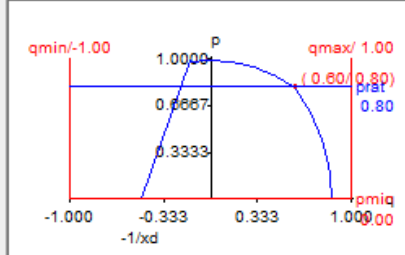
Spinning if circuit-breaker is open
 Reference Machine
 Corresponding Bus Type: SL

Mode of Local Voltage Controller
 Power Factor
 Voltage

External Secondary Controller: ...
 External Station Controller: ...

Dispatch
 Input Mode: P, cos(phi)
 Active Power: 1825 kW
 Power Factor: 0.8 ind.
 Voltage: 1 p.u.
 Angle: 0 deg
 Prim. Frequency Bias: 0 MW/Hz

Capability Curve



Reactive Power Operational Limits
 Capability Curve: ...
 Use limits specified in type
 Min. -1 p.u. -2.281 Mvar Scaling Factor (min.) 100 %
 Max. 1 p.u. 2.281 Mvar Scaling Factor (max.) 100 %

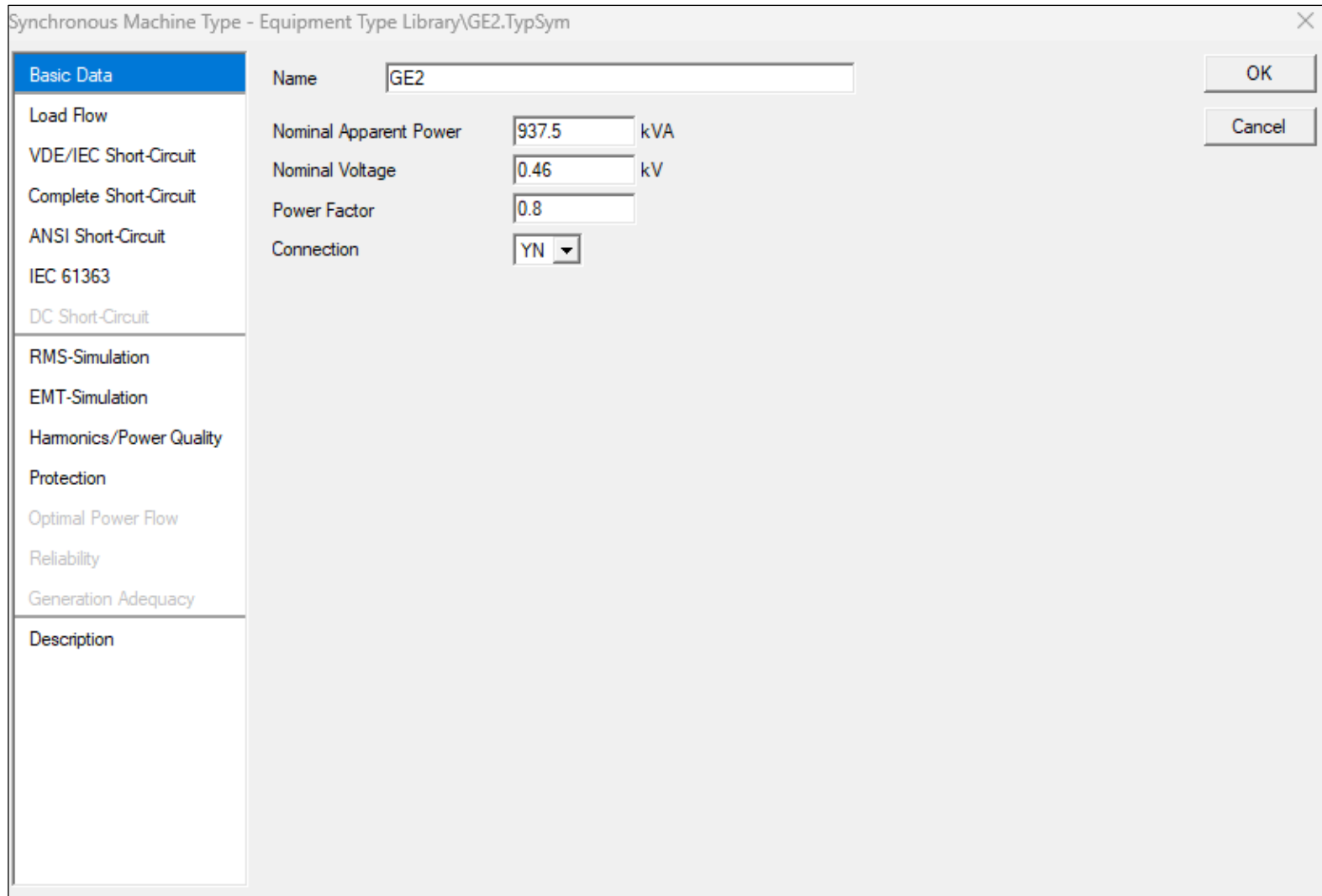
Active Power Operational Limits
 Min. 0 kW
 Max. 9999000 kW Pn 1824.8 kW

Active Power: Rating
 Max. 1824.8 kW Rating Factor 1 Pn 1824.8 kW

info - Calculating load flow...

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 46. Datos del generador GE2 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).



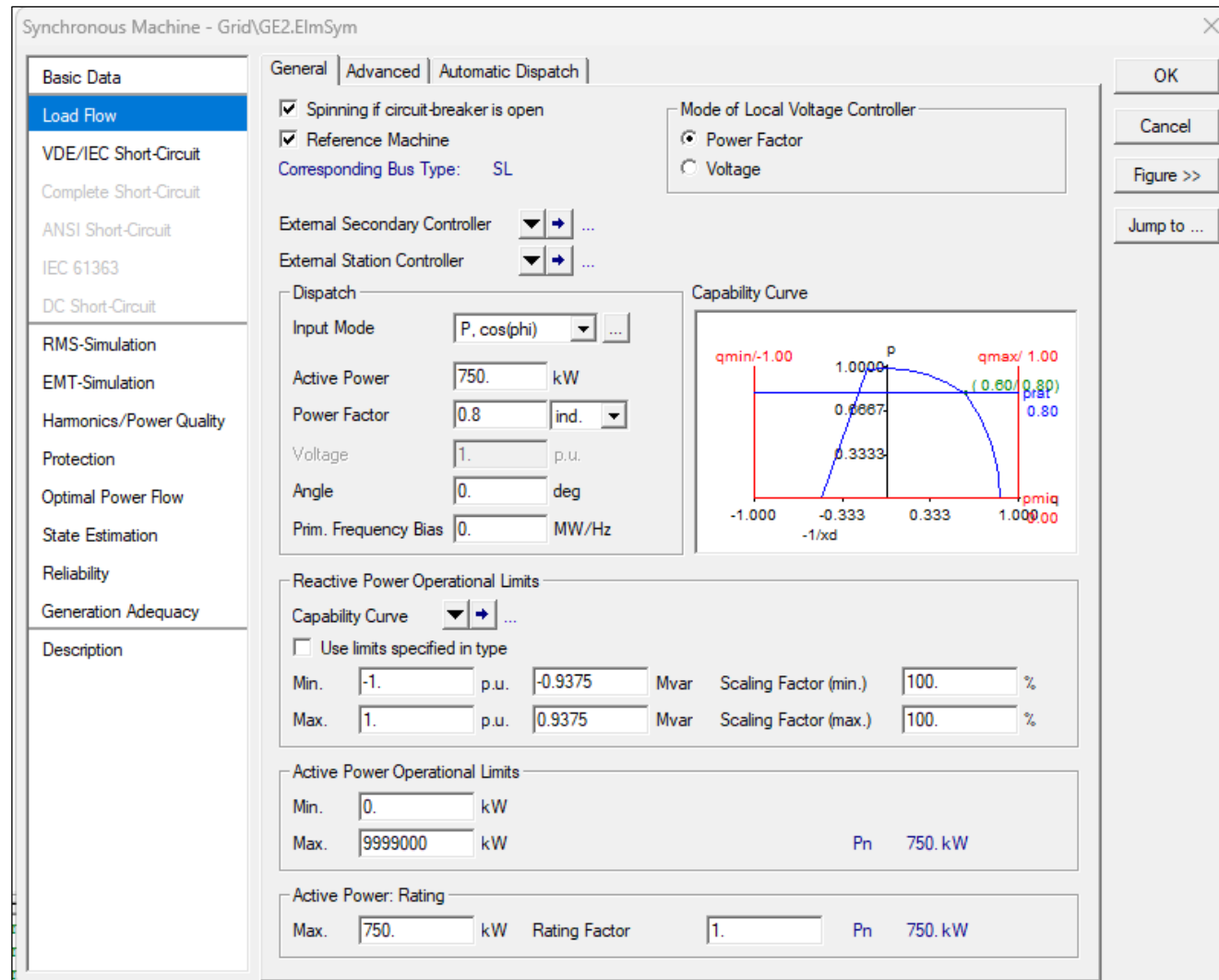
Synchronous Machine Type - Equipment Type Library\GE2.TypSym

Basic Data	Name	GE2	
Load Flow	Nominal Apparent Power	937.5	kVA
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage	0.46	kV
Complete Short-Circuit	Power Factor	0.8	
ANSI Short-Circuit	Connection	YN	
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Hamonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			

OK
Cancel

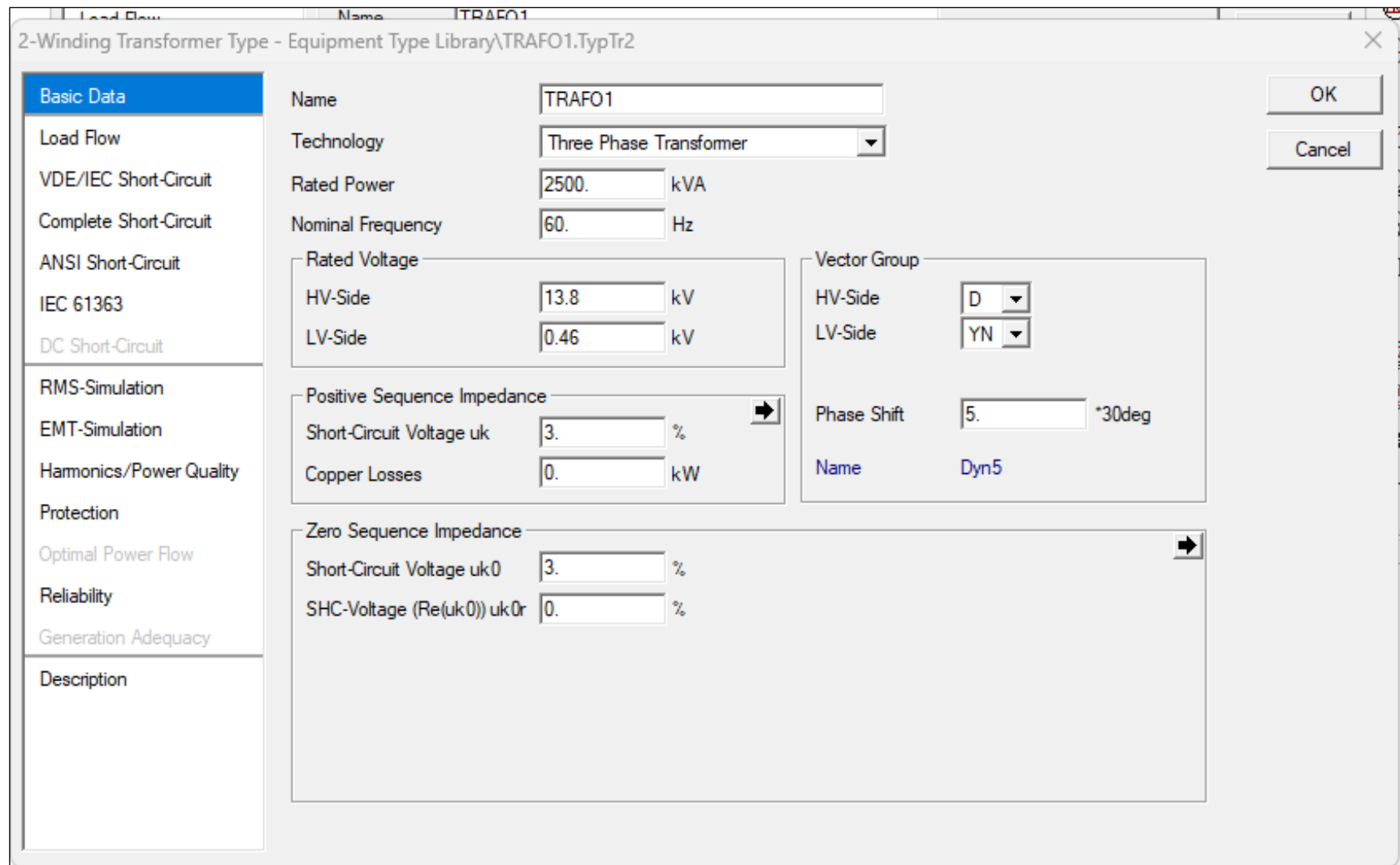
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 47. Datos del generador GE2 con filtro pasivo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 48. Datos del transformador 1 con factor de potencia de 0.96 y filtro pasivo.



2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAF01.TypTr2

Basic Data	Name	TRAF01	OK
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	2500. kVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz	
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group
IEC 61363	HV-Side	13.8 kV	HV-Side: D
DC Short-Circuit	LV-Side	0.46 kV	LV-Side: YN
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift: 5. *30deg
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	3. %	Name: Dyn5
Hamonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW	
Protection	Zero Sequence Impedance		
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	3. %	
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %	
Generation Adequacy			
Description			

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

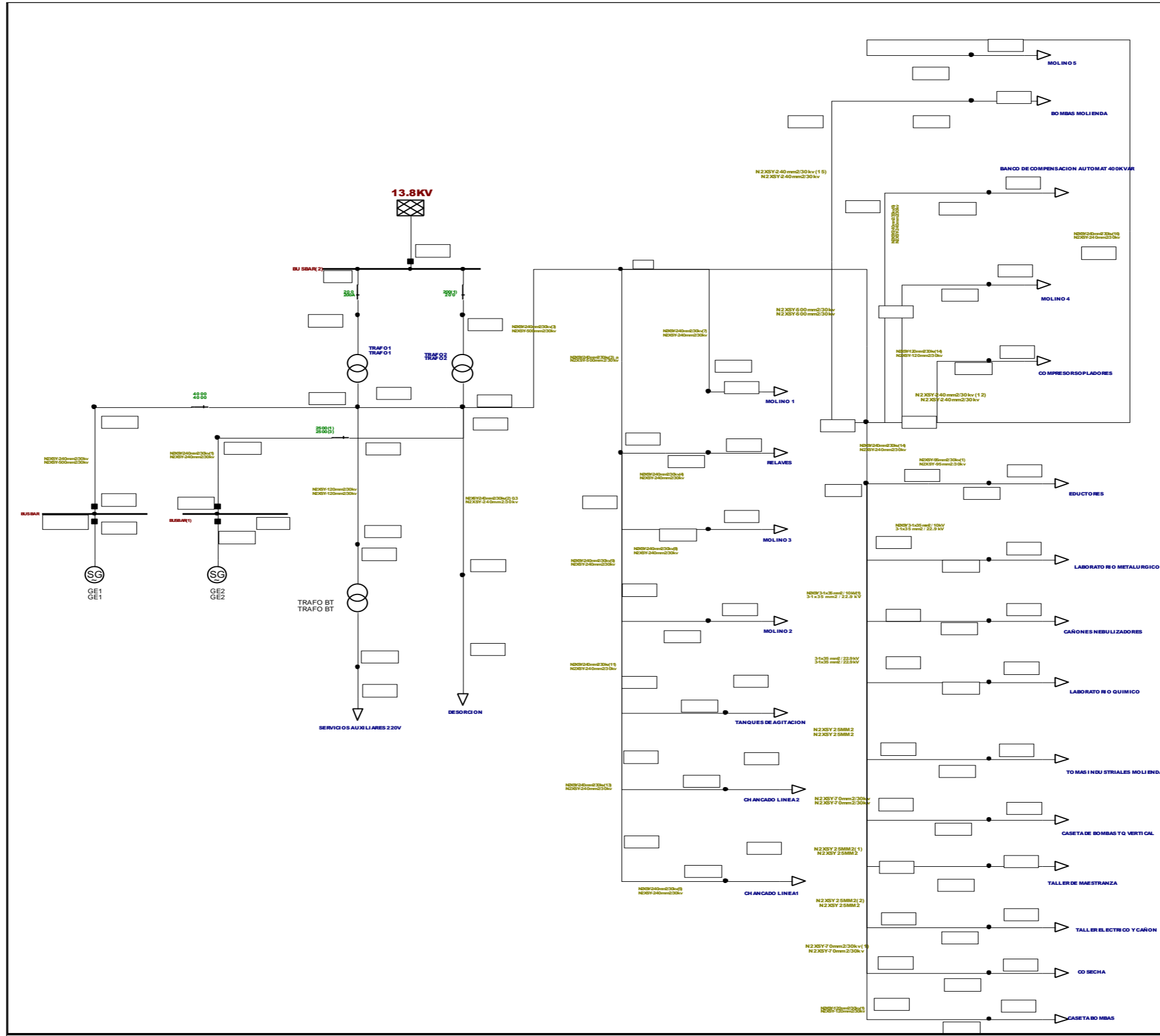
Figura 49. Datos del transformador 2 con factor de potencia de 0.96 y filtro pasivo.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAFO2.TypTr2

Basic Data	Name	TRAFO2	OK
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	2500. kVA	
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz	
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group
IEC 61363	HV-Side	13.8 kV	HV-Side
DC Short-Circuit	LV-Side	0.46 kV	LV-Side
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	3. %	5. *30deg
Hamonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW	Name
Protection	Zero Sequence Impedance		Dyn5
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	3. %	
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %	
Generation Adequacy			
Description			

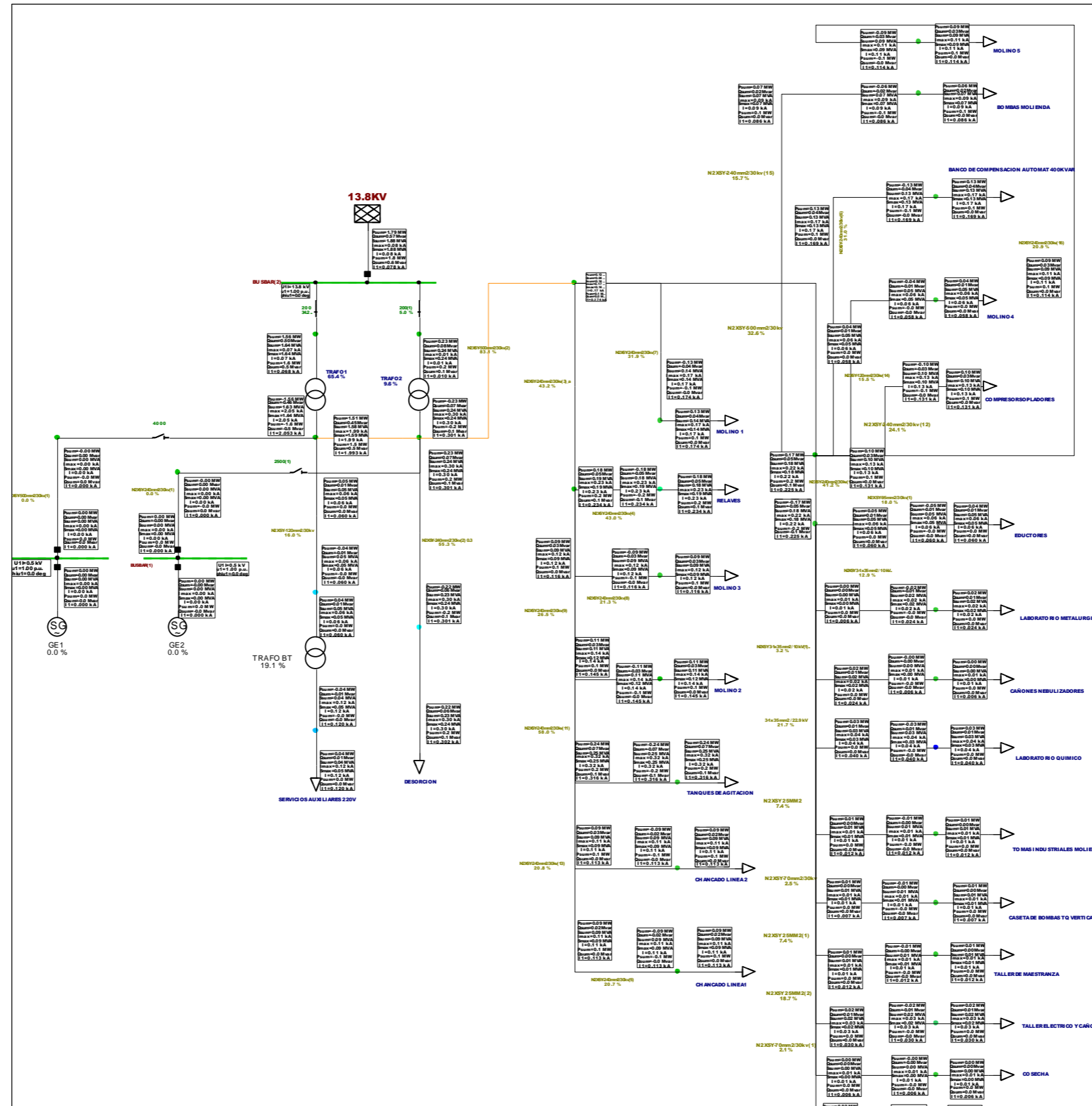
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 50. Diagrama completo del sistema eléctrico de la subestación N° 1 de la empresa minera con filtro activo además de factor de potencia 0.96.



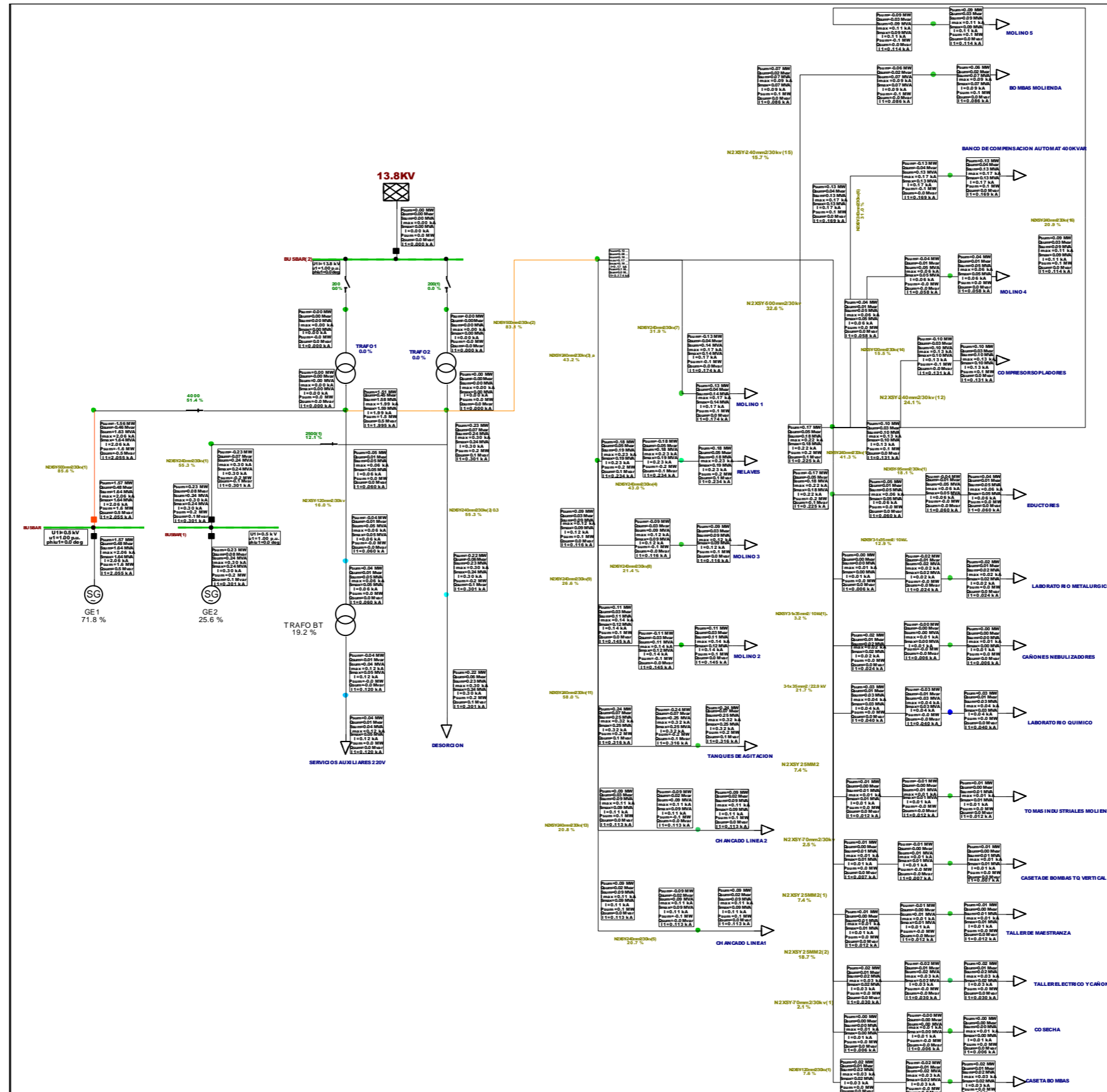
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 51. Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los transformadores con filtro activo además de factor de potencia 0.96.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 52. Diagrama de flujo de carga de forma general alimentado por los generadores con filtro activo además de factor de potencia 0.96.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Se obtuvieron los datos de cómo trabaja el generador 1, donde el programa dio como resultado que opera a un 71.80% (Figura 53) de su potencia total, obteniendo los siguientes parámetros:

Potencia activa total: 1.57 MW.

Potencia reactiva total: 0.48 MVAR.

Potencia aparente total: 1.64 MVA.

Corriente máxima: 2.06 kA.

Máxima potencia aparente: 1.64 MVA.

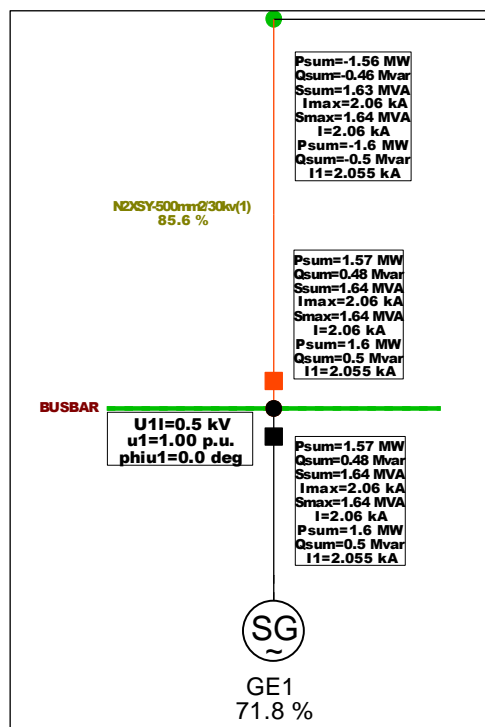
Magnitud de la corriente de paso: 2.06 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 0.50 MVAR.

Magnitud de corriente de secuencia positiva: 2.055 kA.

Figura 53. Parámetros de trabajo del generador 1.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Se obtuvieron los datos de cómo trabaja el generador 2, el cual opera a una capacidad de 25.60% (Figura 54), obteniéndose los siguientes parámetros:

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.08 MVAR.

Potencia aparente total: 0.24 MVA.

Máxima corriente: 0.30 kA.

Potencia máxima 0.24 MVA.

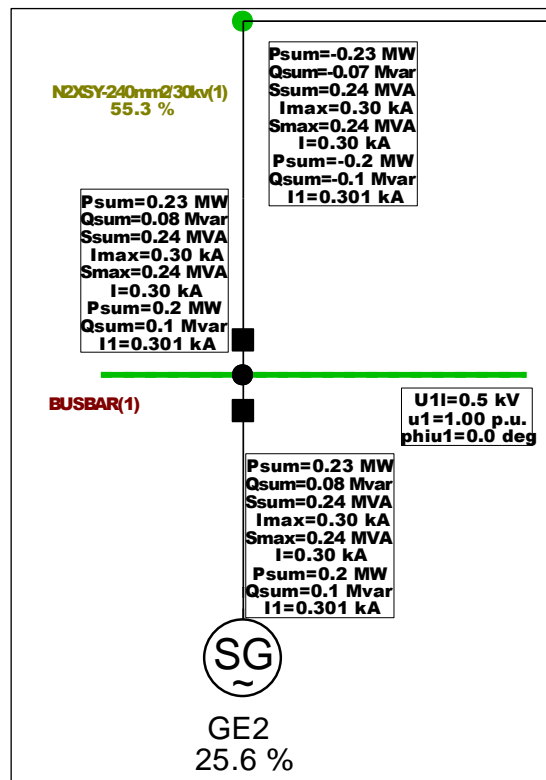
Magnitud de corriente de paso: 0.30 kA.

Potencia activa total: 0.20 MW.

Potencia reactiva total: 0.10 MVAR.

Magnitud de corriente de secuencia positiva: 0.301 kA.

Figura 54. Parámetros de trabajo del generador 2.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Luego, se obtuvieron los datos de operación del transformador 1 y 2, los cuales funcionan a una capacidad de 65.40% y 9.60% (Figura 55), respectivamente, esto es sin ningún filtro. A continuación, se aprecian los parámetros de operación:

LADO DE ALTA TRAF0 1

Potencia activa total: 1.56 MW.

Potencia reactiva total: 0.50 MVAR.

Potencia aparente total: 1.64 MVA.

Corriente máxima: 0.07 kA.

Potencia máxima: 1.64 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.07 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 0.50 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.068 kA.

LADO DE BAJA TRAF0 1

Potencia activa total: 1.56 MW.

Potencia reactiva total: 0.46 MVAR.

Potencia aparente total: 1.63 MVA.

Corriente máxima: 2.05 kA.

Potencia máxima: 1.64 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 2.05 kA.

Potencia activa total: 1.60 MW.

Potencia reactiva total: 0.50 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 2.053 kA.

LADO DE ALTA TRAF0 2

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.08 MVAR.

Potencia aparente total: 0.24 MVA.

Corriente máxima: 0.01 kA.

Potencia máxima: 0.24 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.01 kA.

Potencia activa total: 0.2 MW.

Potencia reactiva total: 0.1 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.010 kA.

LADO DE BAJA TRAF0 2

Potencia activa total: 0.23 MW.

Potencia reactiva total: 0.07 MVAR.

Potencia aparente total: 0.24 MVA.

Corriente máxima: 0.30 kA.

Potencia máxima: 0.24 MVA.

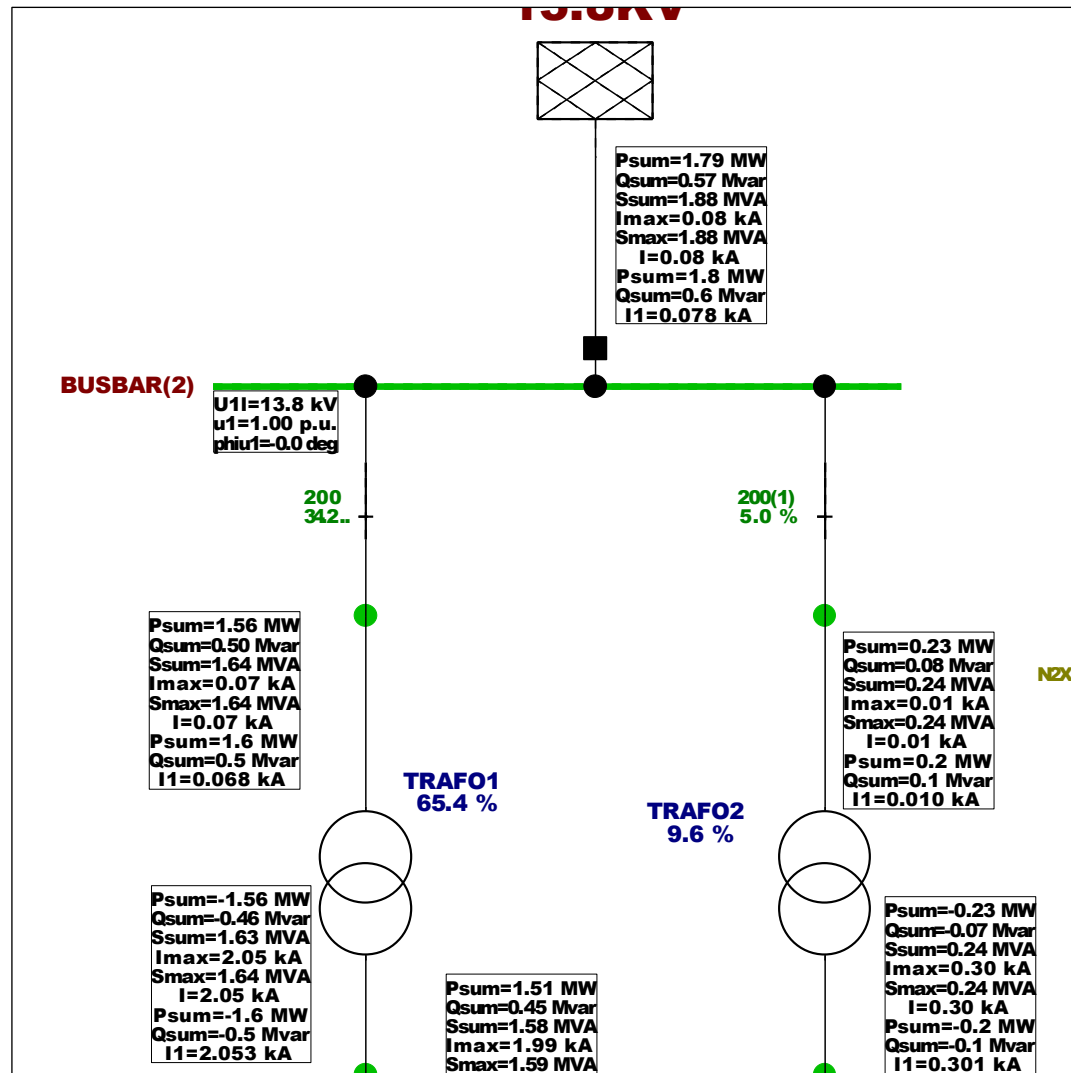
Magnitud de corriente de paso: 0.30 kA.

Potencia activa total: 0.20 MW.

Potencia reactiva total: 0.1 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.301 kA.

Figura 55. Parámetros de operación de transformador 1 y transformador 2 con filtro activo y factor de potencia de 0.96.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

El transformador 3 de baja tensión trabaja a un 19.10% (Figura 56) de su potencia total, sin ningún filtro.

BOBINA PRIMARIA 460 V

Potencia activa total: 0.04 MW.

Potencia reactiva total: 0.01 MVAR.

Potencia aparente total: 0.05 MVA.

Corriente máxima: 0.06 kA.

Potencia máxima: 0.05 MVA.

Magnitud de corriente de paso: 0.06 kA.

Potencia activa total: 0.0 MW.

Potencia reactiva total: 0.0 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.06 kA.

BOBINA SECUNDARIA 230V

Potencia activa total: 0.04 MW.

Potencia reactiva total: 0.01 MVAR.

Potencia aparente total: 0.04 MVA.

Corriente máxima: 0.12 kA.

Potencia máxima: 0.05 MVA.

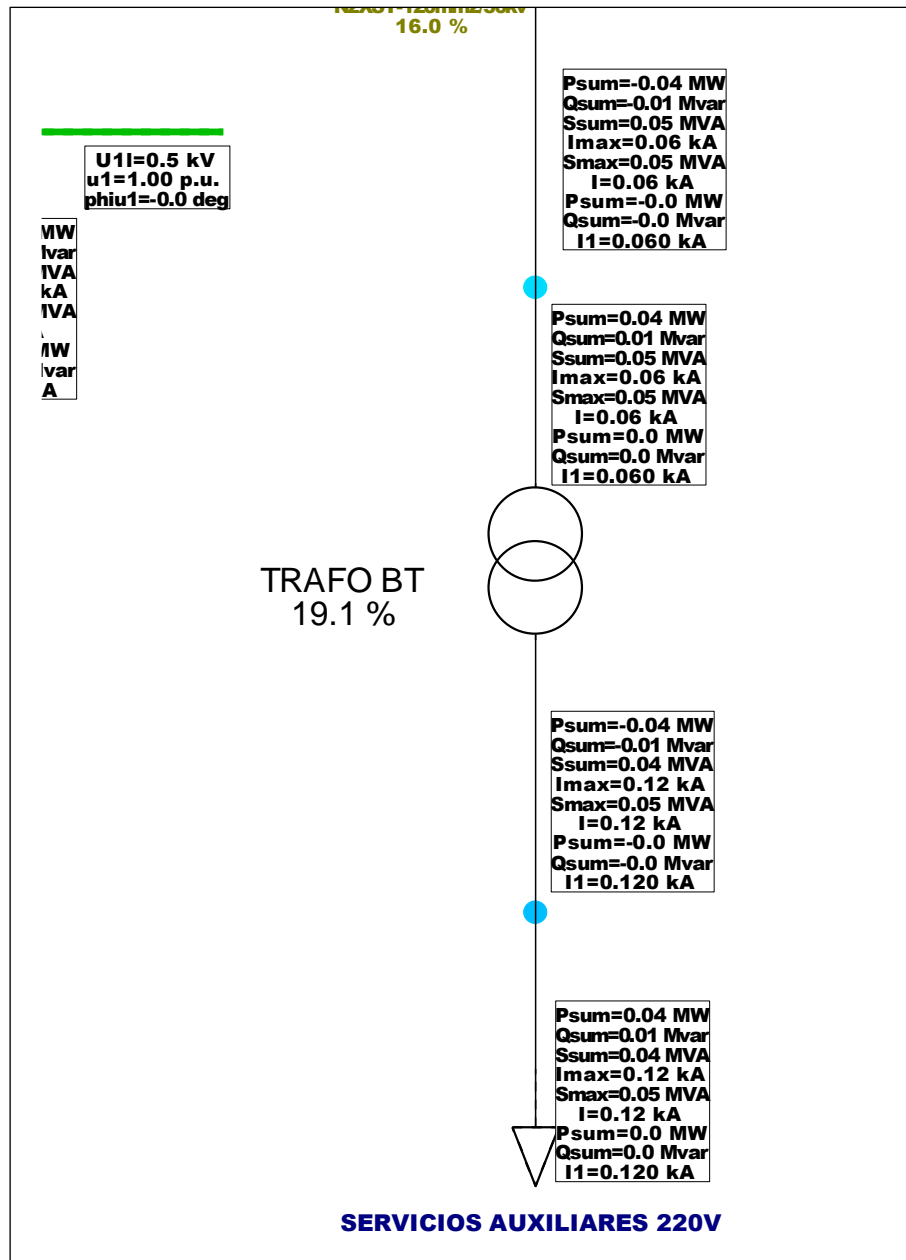
Magnitud de corriente de paso: 0.12 kA.

Potencia activa total: 0.0 MW.

Potencia reactiva total: 0.0 MVAR.

Magnitud de la corriente de secuencia positiva: 0.120 kA.

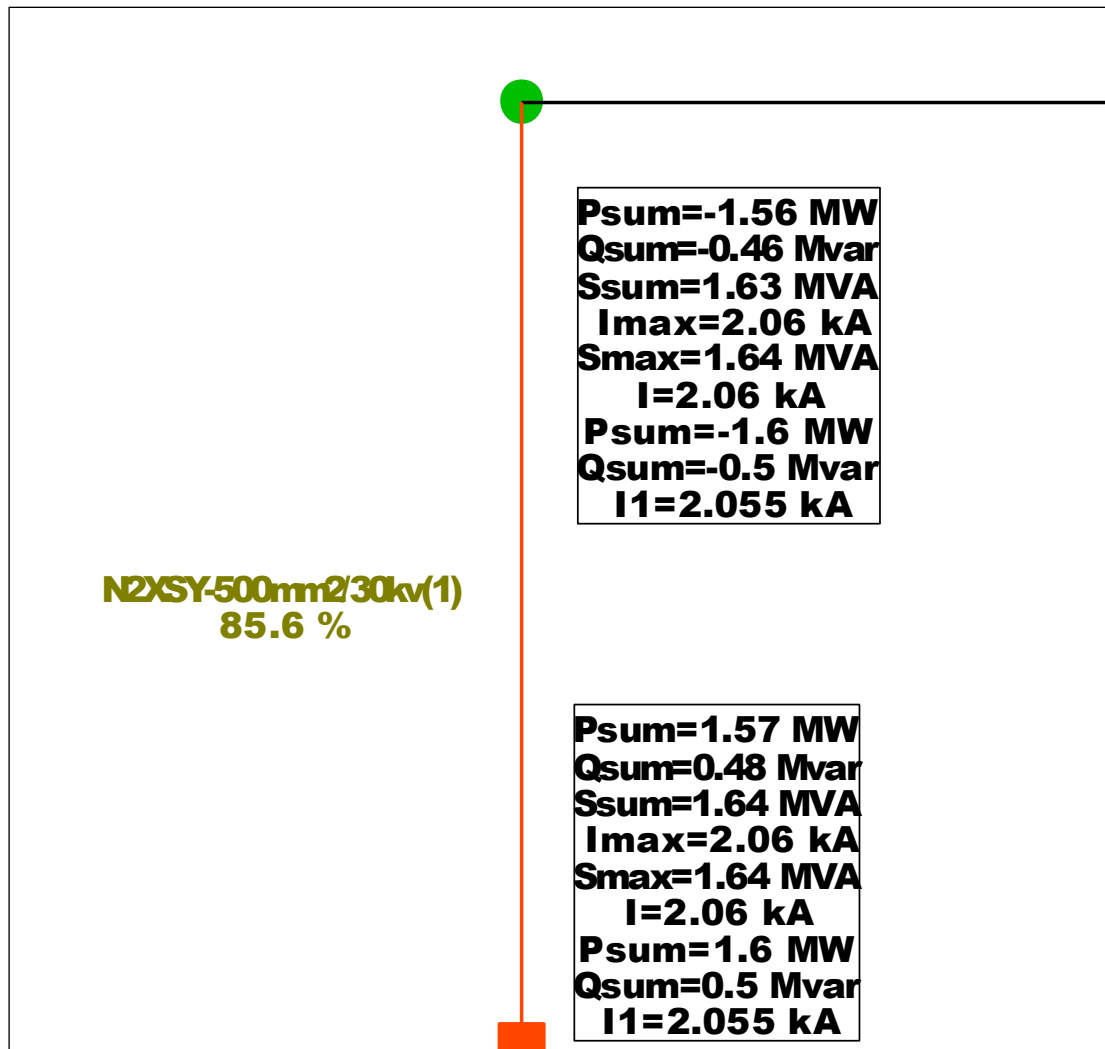
Figura 56. Parámetros de trabajo del transformador de baja tensión (BT) con filtro activo y factor de potencia de 0.96.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

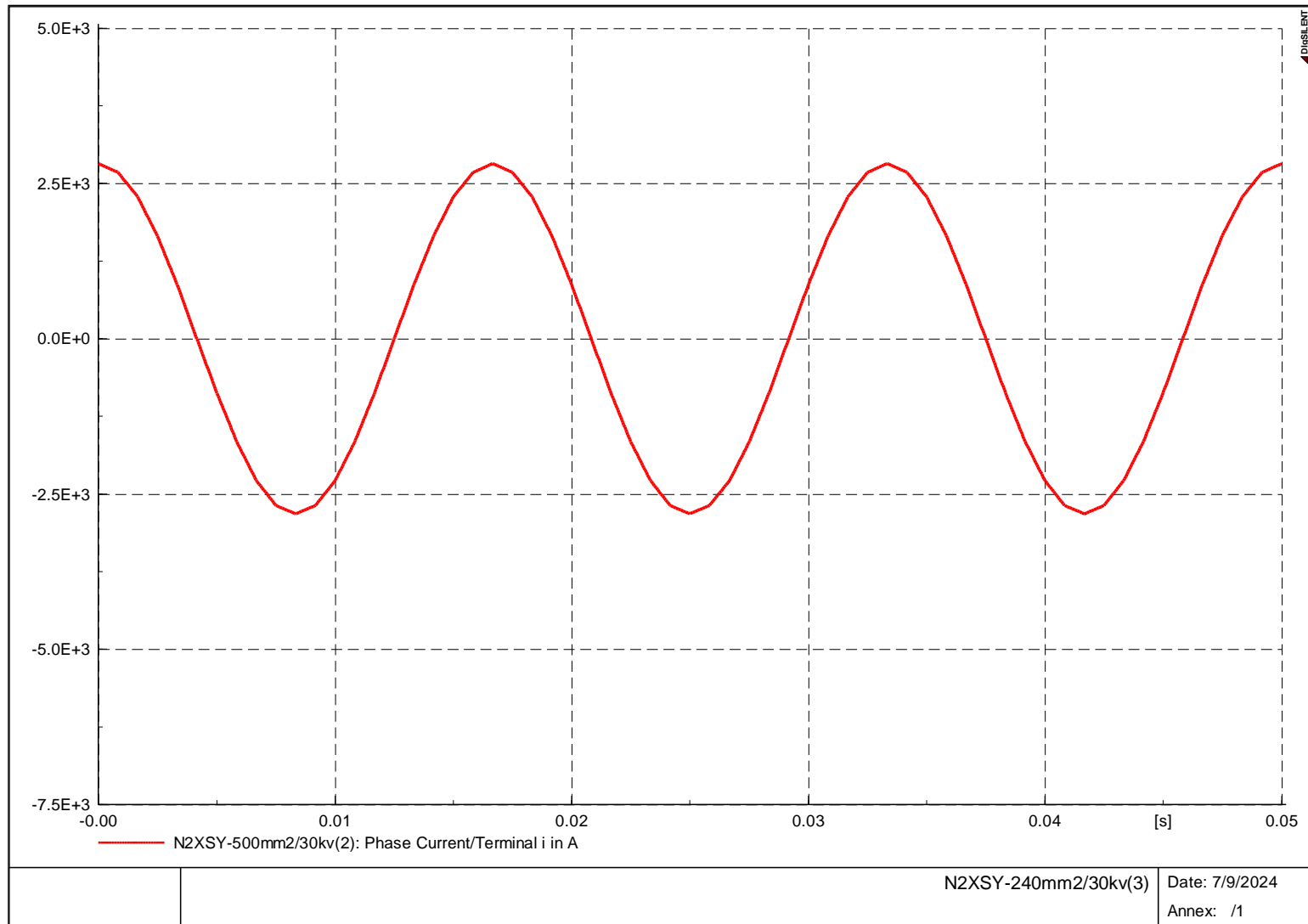
A continuación, se adjuntó la gráfica del cable y su Pick Up (máxima corriente), donde la sección del cable es N2XSY de 500 mm², el cual sale del primer generador y que se encuentra trabajando a 85.60%, como se aprecia en la Figura 57 y Figura 58.

Figura 57. Parámetros de operación de cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo y factor de potencia de 0.96.



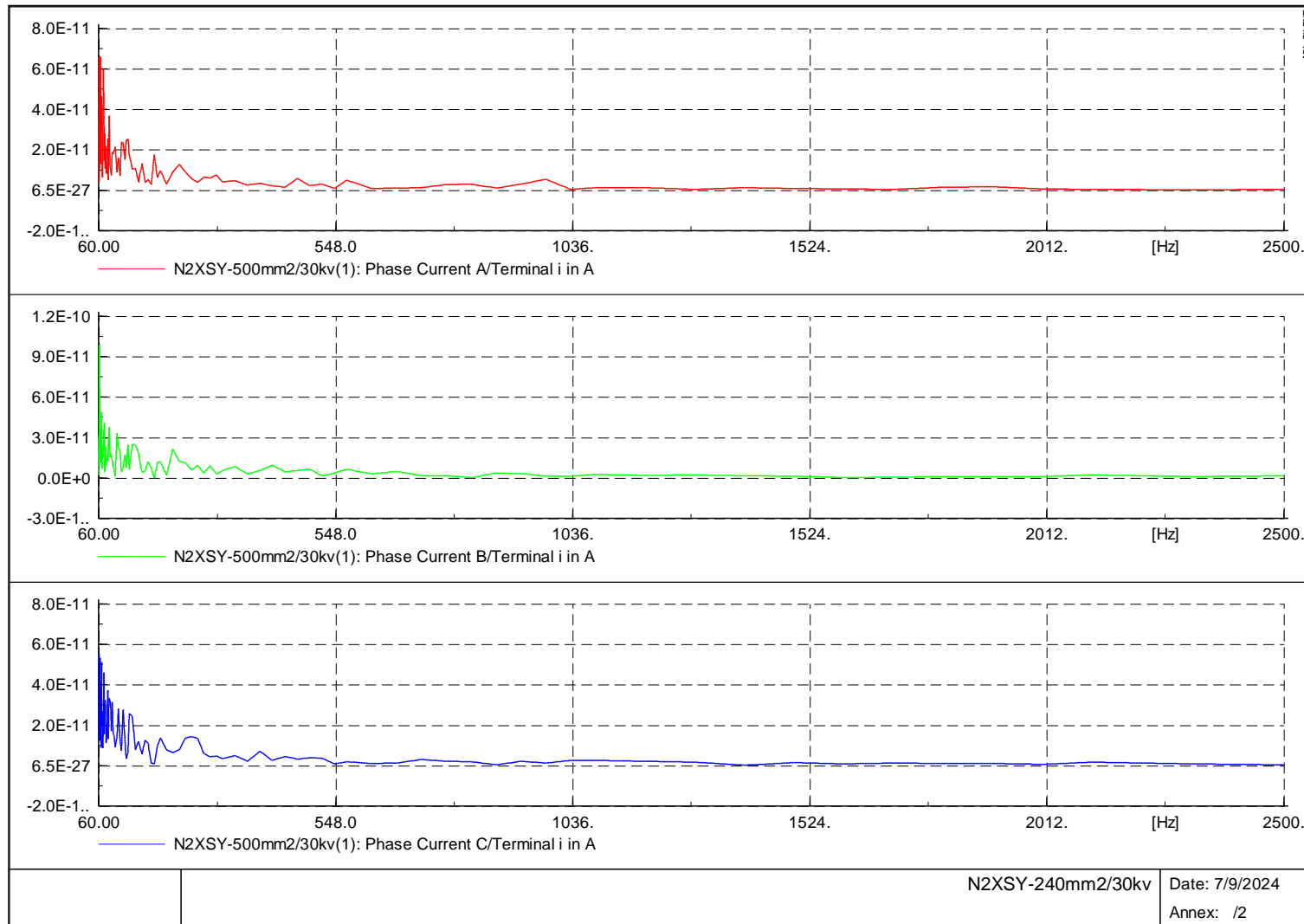
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 58. Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.



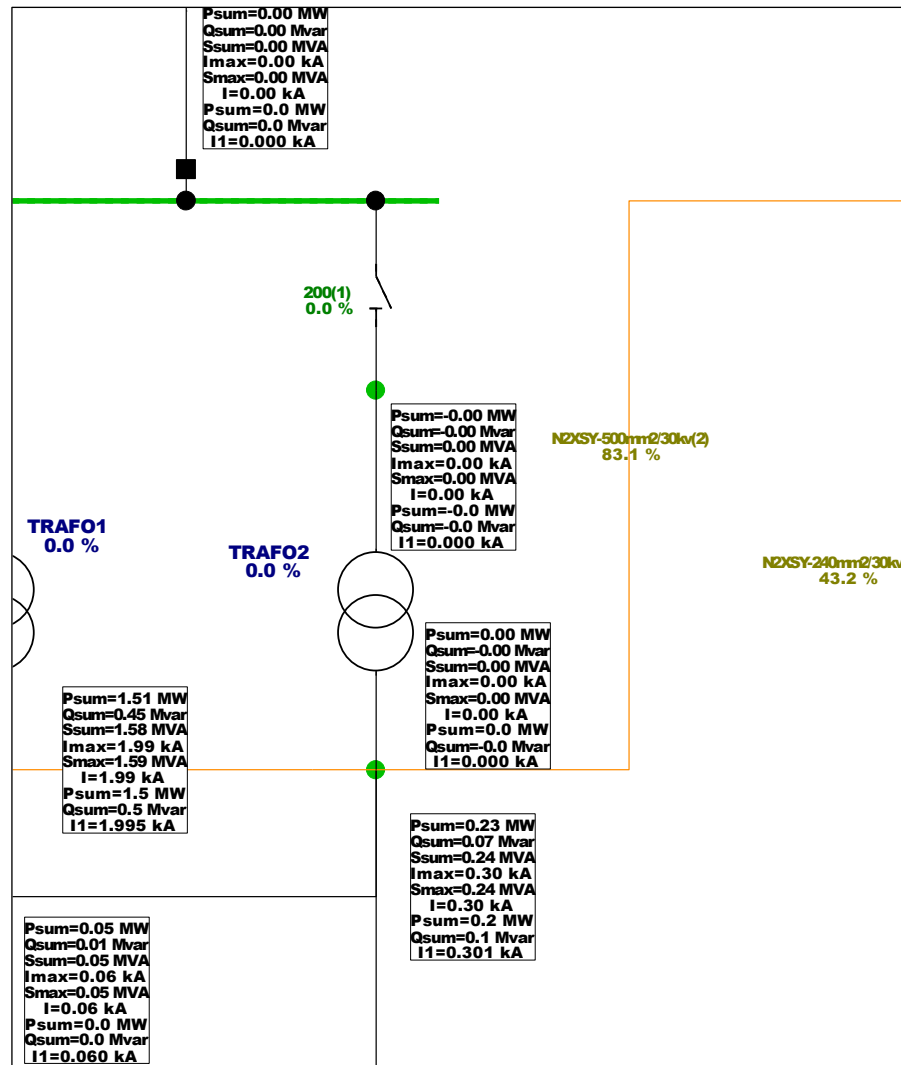
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 59. Gráfica de barrido de frecuencia en el cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.



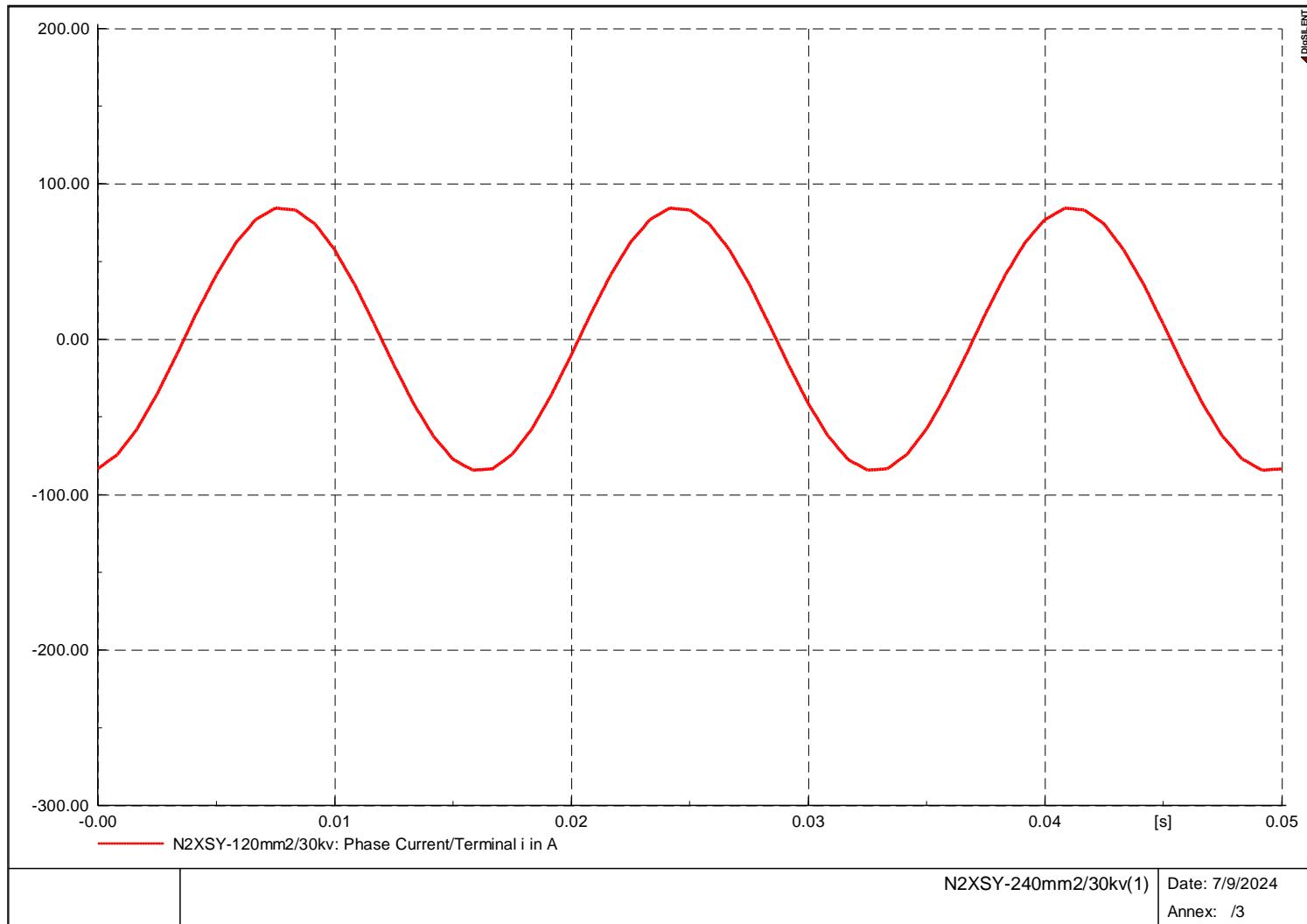
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 60. Porcentaje de trabajo del cable N2XSY de 500 mm² con filtro activo.



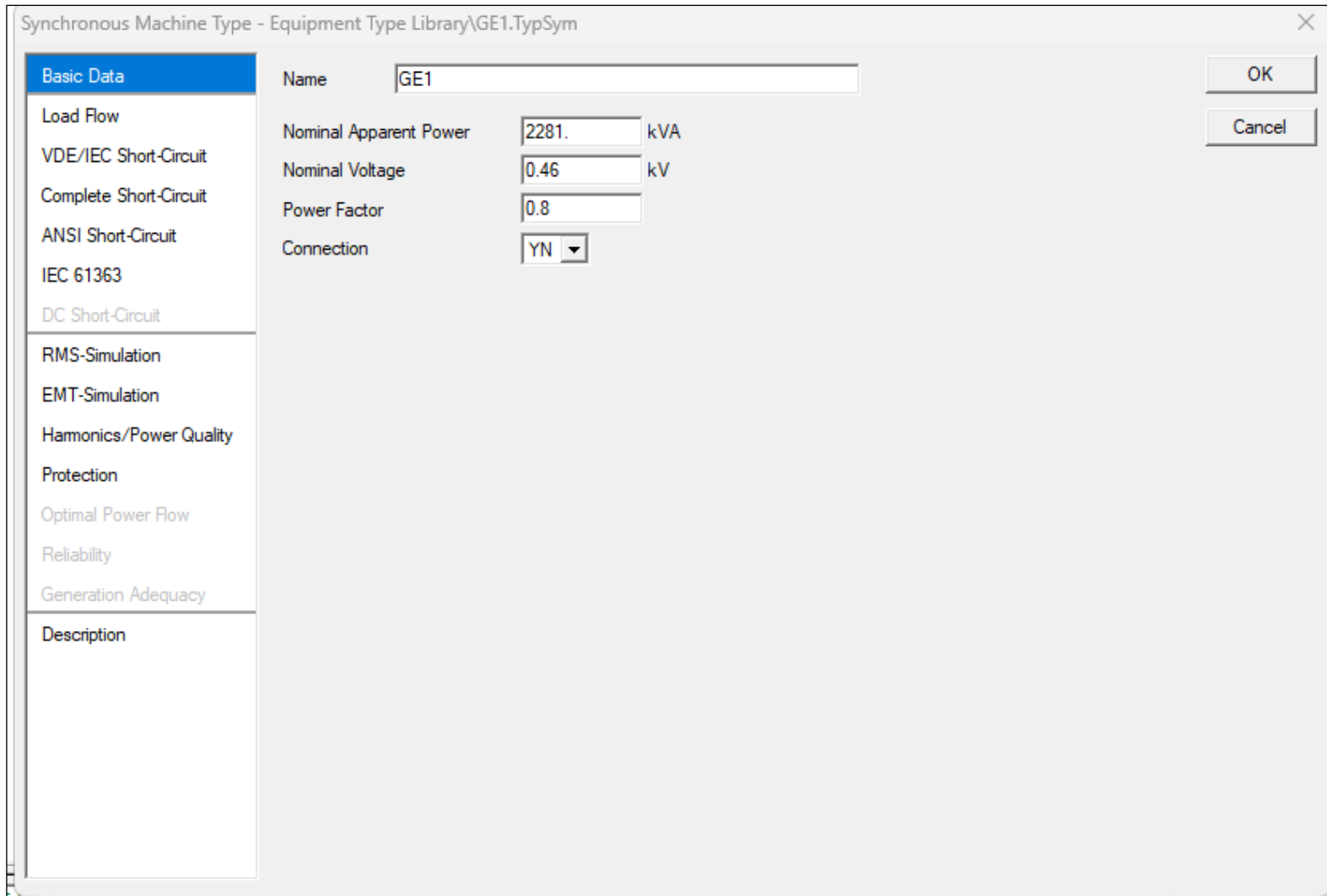
Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 61. Gráfica de Pick Up de los armónicos en el cable N2XSY de 120 mm² con filtro activo.



Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 62. Datos del generador GE1 con filtro activo y factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).



Synchronous Machine Type - Equipment Type Library\GE1.TypSym

Basic Data	Name	GE1
Load Flow	Nominal Apparent Power	2281. kVA
VDE/IEC Short-Circuit	Nominal Voltage	0.46 kV
Complete Short-Circuit	Power Factor	0.8
ANSI Short-Circuit	Connection	YN
IEC 61363		
DC Short-Circuit		
RMS-Simulation		
EMT-Simulation		
Harmonics/Power Quality		
Protection		
Optimal Power Flow		
Reliability		
Generation Adequacy		
Description		

OK
Cancel

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 63. Datos del generador GE1 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).

Synchronous Machine - Grid\GE1.ElmSym

Basic Data | **Load Flow** | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | DC Short-Circuit

RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics/Power Quality | Protection | Optimal Power Flow | State Estimation | Reliability | Generation Adequacy | Description

General | Advanced | Automatic Dispatch

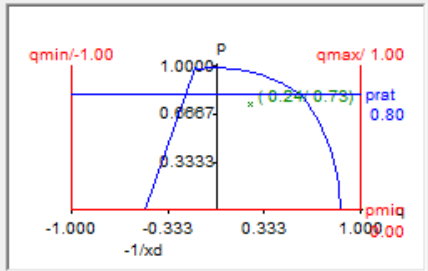
Spinning if circuit-breaker is open
 Reference Machine
 Corresponding Bus Type: SL

Mode of Local Voltage Controller
 Power Factor
 Voltage

External Secondary Controller: ...
 External Station Controller: ...

Dispatch
 Input Mode: P, cos(phi)
 Active Power: 1825. kW
 Power Factor: 0.8 ind.
 Voltage: 1. p.u.
 Angle: 0. deg
 Prim. Frequency Bias: 0. MW/Hz

Capability Curve



Reactive Power Operational Limits
 Capability Curve: ...
 Use limits specified in type
 Min. -1. p.u. -2.281 Mvar Scaling Factor (min.) 100. %
 Max. 1. p.u. 2.281 Mvar Scaling Factor (max.) 100. %

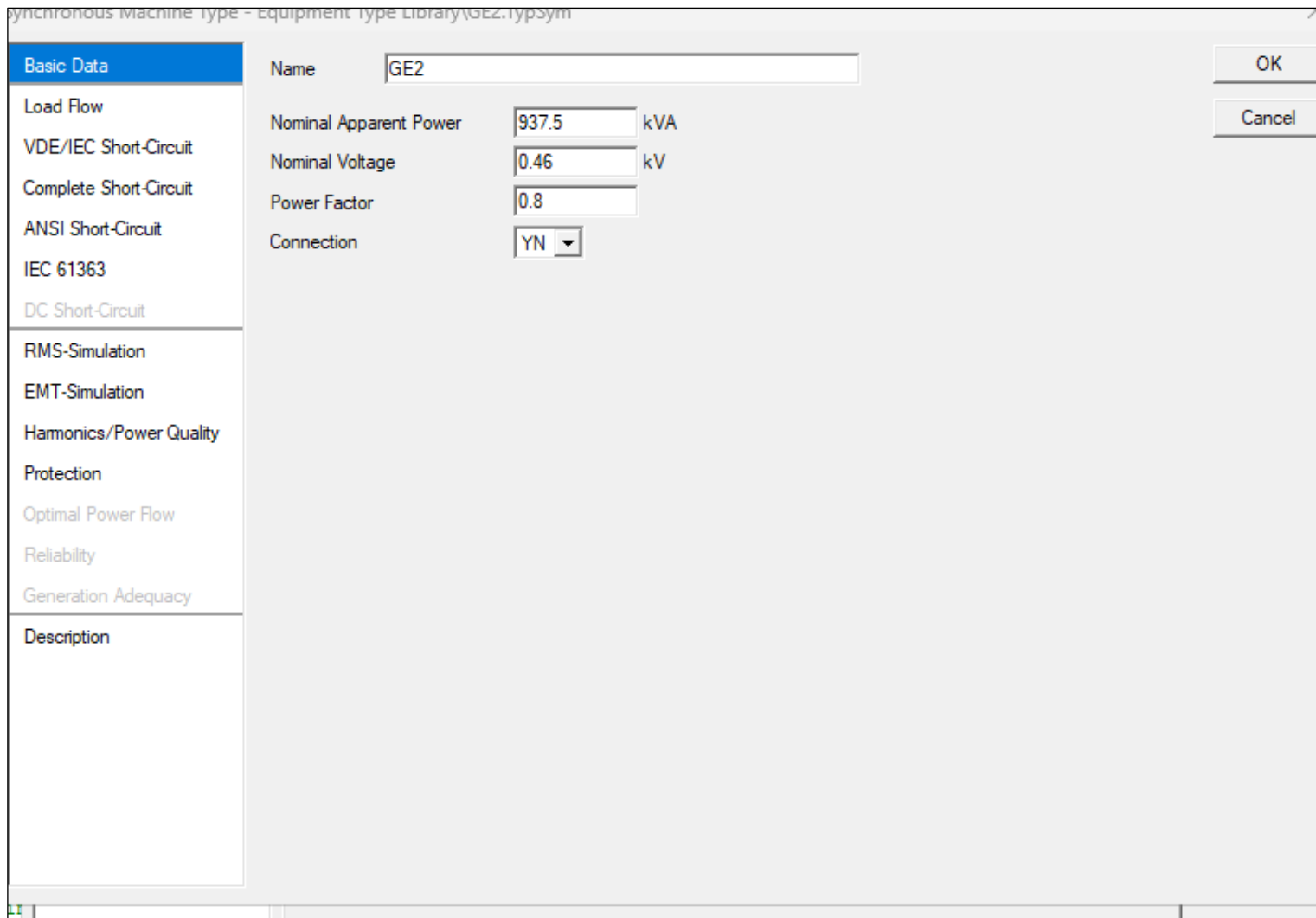
Active Power Operational Limits
 Min. 0. kW
 Max. 9999000 kW Pn 1824.8 kW

Active Power: Rating
 Max. 1824.8 kW Rating Factor 1. Pn 1824.8 kW

OK
 Cancel
 Figure >>
 Jump to ...

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 64. Datos del generador GE2 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia aparente, voltaje nominal y tipo de conexionado).



Synchronous Machine type - Equipment type Library (GE2.type)

Category	Parameter	Value	Unit
Basic Data	Name	GE2	
	Nominal Apparent Power	937.5	kVA
	Nominal Voltage	0.46	kV
	Power Factor	0.8	
	Connection	YN	
Load Flow			
VDE/IEC Short-Circuit			
Complete Short-Circuit			
ANSI Short-Circuit			
IEC 61363			
DC Short-Circuit			
RMS-Simulation			
EMT-Simulation			
Harmonics/Power Quality			
Protection			
Optimal Power Flow			
Reliability			
Generation Adequacy			
Description			

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 65. Datos del generador GE2 con filtro activo y con factor de potencia de 0.96 (potencia activa, límites de potencia activa).

Synchronous Machine - Grid\GE2.ElmSym

Basic Data | **Load Flow** | VDE/IEC Short-Circuit | Complete Short-Circuit | ANSI Short-Circuit | IEC 61363 | DC Short-Circuit

RMS-Simulation | EMT-Simulation | Harmonics/Power Quality | Protection | Optimal Power Flow | State Estimation | Reliability | Generation Adequacy | Description

General | Advanced | Automatic Dispatch

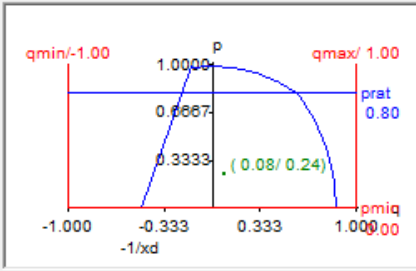
Spinning if circuit-breaker is open
 Reference Machine
 Corresponding Bus Type: SL

Mode of Local Voltage Controller
 Power Factor
 Voltage

External Secondary Controller: ...
 External Station Controller: ...

Dispatch
 Input Mode: P, cos(phi)
 Active Power: 750. kW
 Power Factor: 0.8 ind.
 Voltage: 1. p.u.
 Angle: 0. deg
 Prim. Frequency Bias: 0. MW/Hz

Capability Curve



Reactive Power Operational Limits
 Capability Curve: ...
 Use limits specified in type
 Min. -1. p.u. -0.9375 Mvar Scaling Factor (min.) 100. %
 Max. 1. p.u. 0.9375 Mvar Scaling Factor (max.) 100. %

Active Power Operational Limits
 Min. 0. kW
 Max. 9999000 kW Pn 750. kW

Active Power: Rating
 Max. 750. kW Rating Factor 1. Pn 750. kW

OK | Cancel | Figure >> | Jump to ...

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 66. Datos del transformador 1 con factor de potencia de 0.96 y filtro activo.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAF01.TypTr2

Basic Data	Name	TRAF01	OK	
Load Flow	Technology	Three Phase Transformer	Cancel	
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Power	2500. kVA		
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60. Hz		
ANSI Short-Circuit	Rated Voltage		Vector Group	
IEC 61363	HV-Side	13.8 kV	HV-Side	D
DC Short-Circuit	LV-Side	0.46 kV	LV-Side	YN
RMS-Simulation	Positive Sequence Impedance		Phase Shift	5. *30deg
EMT-Simulation	Short-Circuit Voltage uk	3. %	Name	Dyn5
Harmonics/Power Quality	Copper Losses	0. kW		
Protection	Zero Sequence Impedance			
Optimal Power Flow	Short-Circuit Voltage uk0	3. %		
Reliability	SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r	0. %		
Generation Adequacy				
Description				

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

Figura 67. Datos del transformador 2 con factor de potencia de 0.96 y filtro activo.

2-Winding Transformer Type - Equipment Type Library\TRAFO2.TypTr2

Basic Data

Name: TRAF02

Technology: Three Phase Transformer

Rated Power: 2500. kVA

Nominal Frequency: 60. Hz

Rated Voltage

HV-Side: 13.8 kV

LV-Side: 0.46 kV

Vector Group

HV-Side: D

LV-Side: YN

Phase Shift: 5. *30deg

Name: Dyn5

Positive Sequence Impedance

Short-Circuit Voltage uk: 3. %

Copper Losses: 0. kW

Zero Sequence Impedance

Short-Circuit Voltage uk0: 3. %

SHC-Voltage (Re(uk0)) uk0r: 0. %

OK

Cancel

Fuente: Elaborado con DigSilent Power Factory 15.1.7.

3.4. Evaluar la factibilidad económica de la implementación de un sistema de filtros para las redes de baja tensión en una empresa minera

Análisis del sistema de filtros pasivos

Para el sistema de filtros pasivos es necesario considerar varios aspectos para su implementación como interruptores de protección de alta capacidad, capacitores, un tablero de control y protección, además de accesorios y conectores indispensables para su correcto funcionamiento, considerando también la mano de obra. En la Tabla 10 se detalla dicha información:

Tabla 10. Detalle de presupuesto para sistema de filtro pasivo.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Filtro pasivo de 750 kVAr Schneider Electric PowerLogic PFC	2 unidades	S/. 153046.98	S/. 306093.96
Accesorios y conectores	2 lote	S/. 13774.23	S/. 27548.46
Tablero de control y protección	1 unidad	S/. 36731.28	S/. 36731.28
Instalación del sistema de filtros	1 unidad	S/. 42853.15	S/. 42853.15
Puesta en marcha	1 unidad	S/. 13774.23	S/. 13774.23
Subtotal			S/. 427001.08
IGV (18%)			S/. 76860.19
Imprevistos (10%)			S/. 42700.11
Presupuesto total para sistema de filtro pasivo			S/. 546561.38

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, se calcularon los beneficios económicos que conlleva implementar dicho sistema de filtros pasivos para la empresa minera, es decir, el ahorro económico obtenido para poder sustentar por medio de un análisis de los indicadores económicos respectivos si es factible su implementación. Por lo tanto, se obtuvo lo siguiente:

$$S_1 = \frac{2500 \text{ kW}}{0.75} = 3333.33 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{(3333.33 \text{ kVA})^2 - (2500 \text{ kW})^2} = 2204.79 \text{ kVAR}$$

$$S_2 = \frac{2500 \text{ kW}}{0.96} = 2604.17 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{(2604.17 \text{ kVA})^2 - (2500 \text{ kW})^2} = 729.18 \text{ kVAR}$$

Considerando que la empresa minera trabaja durante 302 días año, restando los domingos y días feriados, que por día opera 24 horas, entonces, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Consumo}_{Q_1 \text{ anual}} = 2204.79 \text{ kVAR} \times 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 7990158.96 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo}_{Q_2 \text{ anual}} = 729.18 \text{ kVAR} \times 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 2642548.32 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

El ahorro anual es la diferencia de ambas energías reactivas:

$$\text{Ahorro}_Q = 7990158.96 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} - 2642548.32 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} = 5347610.64 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

Donde el costo por kVARh es de S/. 0.0543, entonces se obtiene un ahorro en términos monetarios:

$$\text{Ahorro (S/.)}_Q = 5347610.64 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} \times \frac{\text{S/}.0543}{\text{kVARh}} = \text{S/}.290375.26$$

Dicho dato permitió realizar el análisis de rentabilidad, además del costo de operación y mantenimiento del sistema de filtros pasivos, por lo que se obtuvo lo siguiente:

- Costo de operación y mantenimiento es de S/. 75000 anuales.
- La tasa de descuento para proyectos de inversión de acuerdo con la Ley de Concesiones Eléctricas en el Perú es de 10%.
- La vida útil considerada para el sistema de filtros pasivos es de 20 años.
- Se tomó en cuenta la inflación, que, de acuerdo con el BCRP, reportó para 2021 en adelante, un porcentaje de inflación de 4%, que se mantuvo constante durante todo el periodo de vida del proyecto al momento de realizar el análisis de rentabilidad.

En la Tabla 11 se aprecia toda la información anteriormente expuesta, que se introdujo en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2021, y que, al emplear

las funciones y ecuaciones pertinentes, se logró obtener los indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Payback.

Se puede mencionar que el VAN obtenido fue de S/. 429376.75, con una TIR de 22.47% y un tiempo de recuperación de la inversión inicial de 5.50 años, logrando demostrar que el sistema de filtros es atractivo en términos técnicos y económicos.

Tabla 11. Análisis de rentabilidad para filtros pasivos.

Ítem	Año	Presupuesto	Ahorro de energía reactiva	O&M	Ingreso Bruto	Impuesto a la renta	Ingreso neto	Ingreso neto Actualizado
0	2023	-S/. 546,561.38					-S/. 546,561.38	
1	2024		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 144,964.12	S/. 131,785.56
2	2025		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 139,388.57	S/. 115,197.17
3	2026		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 134,027.48	S/. 100,696.83
4	2027		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 128,872.57	S/. 88,021.70
5	2028		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 123,915.94	S/. 76,942.05
6	2029		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 119,149.94	S/. 67,257.03
7	2030		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 114,567.25	S/. 58,791.11
8	2031		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 110,160.82	S/. 51,390.83
9	2032		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 105,923.86	S/. 44,922.06
10	2033		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 101,849.87	S/. 39,267.53
11	2034		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 97,932.56	S/. 34,324.77
12	2035		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 94,165.93	S/. 30,004.17
13	2036		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 90,544.16	S/. 26,227.42
14	2037		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 87,061.69	S/. 22,926.06
15	2038		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 83,713.17	S/. 20,040.27
16	2039		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 80,493.43	S/. 17,517.72
17	2040		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 77,397.53	S/. 15,312.69
18	2041		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 74,420.70	S/. 13,385.22
19	2042		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 71,558.36	S/. 11,700.36
20	2043		S/. 290,375.26	S/. 75,000.00	S/. 215,375.26	S/. 64,612.58	S/. 68,806.12	S/. 10,227.59
							Ingreso total	S/. 975,938.13
							VAN	S/. 429,376.75
							TIR	22.47%
							Payback	5.50 años

Fuente: Elaboración propia.

Análisis del sistema de filtros activos

Para el sistema de filtros pasivos es necesario considerar varios aspectos para su implementación como interruptores de protección de alta capacidad, capacitores, un tablero de control y protección, además de accesorios y conectores indispensables para su correcto funcionamiento, considerando también la mano de obra. En la Tabla 12 se detalla dicha información:

Tabla 12. Detalle de presupuesto para sistema de filtro activo.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Filtro activo para mitigación de armónicos 120 A 380-480 VAC	1 unidad	S/. 119026.00	S/. 129026.00
Filtro activo de armónicos 200 A 380-480 VAC Gabinete N2	2 unidades	S/. 182128.00	S/. 364256.00
Accesorios y conectores	3 lote	S/. 9227.57	S/. 27682.70
Tablero de control y protección	1 unidad	S/. 33540.89	S/. 33540.89
Instalación del sistema de filtros	1 unidad	S/. 37890.00	S/. 37890.00
Puesta en marcha	1 unidad	S/. 13185.57	S/. 13185.57
Subtotal			S/. 595581.16
IGV (18%)			S/. 107204.61
Imprevistos (10%)			S/. 59558.12
Presupuesto total para sistema de filtro activo			S/. 762343.89

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, se calcularon los beneficios económicos que conlleva implementar dicho sistema de filtros pasivos para la empresa minera, es decir, el ahorro económico obtenido para poder sustentar por medio de un análisis de los indicadores económicos respectivos si es factible su implementación. Por lo tanto, se obtuvo lo siguiente:

$$S_1 = \frac{2500 \text{ kW}}{0.75} = 3333.33 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{(3333.33 \text{ kVA})^2 - (2500 \text{ kW})^2} = 2204.79 \text{ kVAR}$$

$$S_2 = \frac{2500 \text{ kW}}{0.96} = 2604.17 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{(2604.17 \text{ kVA})^2 - (2500 \text{ kW})^2} = 729.18 \text{ kVAR}$$

Considerando que la empresa minera trabaja durante 302 días año, restando los domingos y días feriados, que por día opera 24 horas, entonces, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Consumo}_{Q_1 \text{ anual}} = 2204.79 \text{ kVAR} \times 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 7990158.96 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo}_{Q_2 \text{ anual}} = 729.18 \text{ kVAR} \times 302 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{día}} = 2642548.32 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

El ahorro anual es la diferencia de ambas energías reactivas:

$$\text{Ahorro}_Q = 7990158.96 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} - 2642548.32 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} = 5347610.64 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}}$$

Donde el costo por kVARh es de S/. 0.0543, entonces se obtiene un ahorro en términos monetarios:

$$\text{Ahorro (S/.)}_Q = 5347610.64 \frac{\text{kVARh}}{\text{año}} \times \frac{\text{S/}.0.0543}{\text{kVARh}} = \text{S/}.290375.26$$

Dicho dato permitió realizar el análisis de rentabilidad, además del costo de operación y mantenimiento del sistema de filtros pasivos, por lo que se obtuvo lo siguiente:

- Costo de operación y mantenimiento es de S/. 50000 anuales.
- La tasa de descuento para proyectos de inversión de acuerdo con la Ley de Concesiones Eléctricas en el Perú es de 10%.
- La vida útil considerada para el sistema de filtros pasivos es de 20 años.

Se tomó en cuenta la inflación, que, de acuerdo con el BCRP, reportó para 2021 en adelante, un porcentaje de inflación de 4%, que se mantuvo constante durante todo el periodo de vida del proyecto al momento de realizar el análisis de rentabilidad.

En la Tabla 13 se aprecia toda la información anteriormente expuesta, que se introdujo en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2021, y que, al emplear las funciones y ecuaciones pertinentes, se logró obtener los indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Payback.

Se puede mencionar que el VAN obtenido fue de S/. 440161.15, con una TIR de 19.27% y un tiempo de recuperación de la inversión inicial de 6.66 años, logrando demostrar que el sistema de filtros es atractivo en términos técnicos y económicos.

Tabla 13. Análisis de rentabilidad para filtros activos.

Ítem	Año	Presupuesto	Ahorro de energía reactiva	O&M	Ingreso Bruto	Impuesto a la renta	Ingreso neto	Ingreso neto Actualizado
0	2023	-S/. 762,343.89					-S/. 762,343.89	
1	2024		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 178,617.96	S/. 162,379.97
2	2025		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 171,748.04	S/. 141,940.53
3	2026		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 165,142.35	S/. 124,073.89
4	2027		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 158,790.72	S/. 108,456.20
5	2028		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 152,683.38	S/. 94,804.37
6	2029		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 146,810.95	S/. 82,870.95
7	2030		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 141,164.37	S/. 72,439.64
8	2031		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 135,734.97	S/. 63,321.37
9	2032		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 130,514.40	S/. 55,350.84
10	2033		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 125,494.61	S/. 48,383.61
11	2034		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 120,667.90	S/. 42,293.36
12	2035		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 116,026.82	S/. 36,969.72
13	2036		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 111,564.25	S/. 32,316.19
14	2037		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 107,273.32	S/. 28,248.42
15	2038		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 103,147.42	S/. 24,692.67
16	2039		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 99,180.21	S/. 21,584.50
17	2040		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 95,365.59	S/. 18,867.57
18	2041		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 91,697.68	S/. 16,492.63
19	2042		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 88,170.85	S/. 14,416.64
20	2043		S/. 290,375.26	S/. 25,000.00	S/. 265,375.26	S/. 79,612.58	S/. 84,779.66	S/. 12,601.96
							Ingreso total	S/. 1,202,505.04
							VAN	S/. 440,161.15
							TIR	19.27%
							Payback	6.66 años

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con la información obtenida sobre el estado actual del sistema eléctrico de la empresa minera se logró obtener que no presenta desbalance respecto a los valores de corriente de línea registrados, llegando a alcanzar un valor de hasta el -0.9%, lo cual es permisible de acuerdo con la normativa nacional, adicionalmente, la distorsión de armónicos de tensión THDV tuvieron un valor de 9.61%, estando en niveles no permisibles y también el factor de potencia que no es adecuado, obteniendo valores de 0.74 a 0.76 con promedio de 0.75, siendo necesario corregir dichos problemas para que se mejore la calidad de energía del sistema, de modo que se reduzcan las pérdidas de energía, armónicos y corrección de factor de potencia a un nivel más adecuado y deseable. Dichos resultados concuerdan con la investigación realizada por Dybko (2023), ya que los valores que encontraron sobre los niveles de distorsión de armónicos total THD, superaban el 5% en ciertas condiciones de operación, afectando de forma negativa el rendimiento de los equipos eléctrico del sistema eléctrico. Además, el factor de potencia del sistema fue de 0.85, indicando que existe una eficiencia energética no tan optimizada. Y con respecto a la corriente de línea, logró identificar que los valores medidos, lograban llegar a valores o picos de hasta el 150% de su valor nominal. Dicha información permitió que se sugieran soluciones para mejorar dichos parámetros por medio de filtros de armónicos, banco de condensadores o capacitores y una mejor gestión de la carga además de la implementación de dispositivos de protección que permitan evitar daños en el corto, mediano y largo plazo en el sistema eléctrico. Al compararse con la investigación de Gonzalez-Abreu et al. (2022), los resultados poseen cierta concordancia, ya que en la industria que analizaron, emplean motores como en la empresa minera, que generan perturbaciones eléctricas como sags, swells, flickers, armónicos, entre otros, son bastante comunes en sistemas eléctricos industriales y que tienen una afectación negativa en la eficiencia y operación de los motores y accionamientos eléctricos. Por ello, clasificaron y mitigaron dichas perturbaciones mediante el uso de filtros, logrando reducir de forma considerable los armónicos, pérdidas de energía, corrientes de arranque, calentamiento y otros aspectos.

Con relación a los filtros seleccionados para mejorar la calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa minera, se logró seleccionar para el sistema de filtros pasivos

un banco de condensadores, con una capacidad de 1500 kVAR, pero al no existir en el mercado, fueron necesarios 2 bancos de condensadores de 750 kVAR, de la marca PowerLogic PDF para operar en 480VAC y 60Hz, y para el sistema de filtros activos, fue necesario un equipo con una corriente de 520 A para mejorar los parámetros eléctricos del sistema de la empresa minera, siendo necesarios dos filtros activos de 200 A de gabinete N2 y uno de 120 A envolvente N12, para suplir la corriente de 520 A, ambos trabajando en un intervalo de tensión de 380-480 VAC. Dichos resultados tienen concordancia con el estudio de Abou et al. (2023), ya que seleccionaron un sistema de filtros activos para la mejora de la calidad de energía en sistema eléctricos mediante la integración de un módulo de filtro activo de potencia (APFM) optimizado empleando las técnicas de optimización Grey Wolf (GWO) y Particle Swarm (PSO), que al emplear dichos filtros, lograron reducir de forma significativa el THD de la corriente de línea y voltaje. Por ejemplo, en condiciones de cargas no lineales pesadas, la THD de la corriente de línea se redujo del 10.52% a 2.4%, además de otros parámetros del sistema eléctrico, demostrando la importancia de utilizar filtros activos en sistemas eléctricos ya que permiten mejorar en forma sustancial la calidad de la energía. Con relación al estudio de Talebi et al. (2023), los resultados concuerdan ya que emplearon un sistema de filtros activos logrando la reducción de armónicos total (THD) de 12% a menos del 5%, además de una mejora sustancial del factor de potencia, permitiendo mejor estabilidad del sistema eléctrico y reduciendo las pérdidas de energía y la corriente de línea se reduce notablemente en las fluctuaciones y picos de corriente. Con ello, se logró demostrar que mejorar la calidad de energía es importante, que en relación con la teoría de Li et al. (2021), mencionan que se debe asegurar que los equipos y dispositivos electrónicos susceptibles tengan una alimentación adecuada y se encuentren debidamente conectados a tierra para poder funcionar de forma correcta. De igual modo, en consideración con la definición de un sistema de filtro activo de Miyara (2004), dichos dispositivos permiten modificar de forma específica una señal, pudiendo ser en magnitud eléctrica como corriente o tensión.

Con respecto al uso de software eléctrico como DigSilent Power Factory, se logró obtener que aplicar sistemas de filtros activos y pasivos, permiten una mejora altamente significativa en los parámetros eléctricos del sistema de la empresa minera, pudiendo corregirse el factor de potencia de 0.75 a 0.96, reduciendo las pérdidas de

energía y disminuyendo la generación de armónicos en niveles aceptables y permisibles por la normativa vigente, que se ve reflejado en menores gastos de energía por consumo de potencia activa y reactiva, lo cual es deseable en la empresa minera, que aunque se requiere de una inversión inicial, se logra obtener ciertos beneficios técnicos pero que la inversión se puede recuperar en el corto plazo. Se puede decir que la información tiene cierta concordancia con el estudio efectuado por Iqbal et al. (2021), ya que estudiaron los parámetros eléctricos del sistema eléctricos mediante el uso de software pero que fueron diferentes, ya que emplearon MATLAB Simulink para diseñar un filtro activo híbrido en derivación (SHAPF), modelando y simulando el comportamiento del sistema con y sin dicho filtro. Dichas simulaciones permitieron evaluar la efectividad del filtro en distintas configuraciones de operación. Con dicho filtro lograron reducir significativamente la distorsión armónica total (THD) en el sistema, reduciéndose desde un 23% hasta valores inferiores a 5%, adicionalmente permitió mejorar el factor de potencia pasando de 0.75 a 0.98 en ciertos casos, y finalmente, las simulaciones mostraron una reducción notable en las fluctuaciones de la corriente de línea, permitiendo que se estabilice el sistema eléctrico y mejorando la eficiencia operativa. De igual modo, la investigación concuerda con el estudio realizado por Chahine et al. (2023), ya que desarrollaron un filtro activo de potencia (APF) mediante el método de lápiz de matriz para mejorar la calidad de energía en sistemas de energía renovable conectados a la red, donde emplearon el software MATLAB/Simulink para modelar y simular el comportamiento del sistema eléctrico con y sin el APF. Dichas simulaciones ayudaron a evaluar la efectividad del filtro en distintas condiciones operativas y escenarios de carga. Los resultados de la simulación permitieron verificar que se logra una reducción significativa de la THD, mostrando que en ciertas configuraciones se reduce desde aproximadamente un 15% hasta valores inferiores del 3%. Adicionalmente, lograron mejorar el factor de potencia desde 0.85 a 0.98 y permitiendo una estabilidad mejorada de la corriente de línea.

Y en consideración con el análisis de rentabilidad, la factibilidad económica de los filtros empleados, permitió concluir que el sistema de filtros pasivos permite que se recupere la inversión en 5.50 años, con un VAN de S/. 429376.75 y una TIR de 22.47%, en comparación con los filtros activos, que permiten recuperar su inversión en 6.66 años, con un VAN de S/. 440161.15 y una TIR de 19.27%. Dicha información

no tiene concordancia con los resultados obtenidos en el estudio efectuado por Longhai (2022), donde obtuvo que los filtros activos generan un VAN positivo y una TIR superior al 20%, mostrando que la inversión es rentable, pero los filtros pasivos mostraron un VAN positivo, pero con un valor de la TIR ligeramente inferior, donde la recuperación de la inversión es de aproximadamente 3 años para filtros activos y de 4 años para filtros pasivos.

V. CONCLUSIONES

- El sistema eléctrico de la empresa minera registra valores de corriente de línea con un desbalance de -0.9% encontrándose en el límite permisible por RPP TEC de $\pm 10\%$, aunque la distorsión de armónicos de tensión THDV posee un valor de hasta 9.61% superando el límite permisible de 8%, además que el factor de potencia se encontró entre los límites de 0.74 y 0.76, con un promedio de 0.75.
- El sistema de filtro pasivo debe poseer una capacidad de 1500 kVAR para poder mejorar la calidad de energía del sistema eléctrico, seleccionando dos banco de condensadores PowerLogic PDF de 750 kVAR para 480 V 60 Hz, y para el sistema de filtros activos, es necesario dos filtros de 200 A y uno de 120 A, para poder suplir 520 A al sistema para poder mejorar su calidad de energía, seleccionándose dos filtros activos de gabinete N2 de 200 A de 380 a 480 VAC y un filtro activo envolvente N12 de 120 A.
- De acuerdo con el software DigSilent Power Factory, tanto los filtros activos como pasivos permiten una mejora significativa en el sistema eléctrico, mejorando el factor de potencia de 0.75 a 0.96, reduciendo el consumo de corriente, el consumo de energía reactiva.
- La factibilidad económica de los filtros empleados, permitió concluir que el sistema de filtros pasivos permite que se recupere la inversión en 5.50 años, con un VAN de S/. 429376.75 y una TIR de 22.47%, en comparación con los filtros activos, que permiten recuperar su inversión en 6.66 años, con un VAN de S/. 440161.15 y una TIR de 19.27%.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar evaluaciones periódicas del sistema eléctrico de la empresa minera, para poder obtener información valiosa que permita seguir mejorando la calidad de la energía aplicando distintas metodologías.
- Se recomienda realizar un análisis con otros sistemas de filtros, ya que existen muchos en el mercado, para evaluar su comportamiento adquiriendo que ventajas y desventajas pueden brindar al sistema eléctrico de la empresa minera.
- Se recomienda emplear otro software para poder efectuar un análisis comparativo de los datos obtenidos y verificar si existe mucha variación o si son adecuados.
- Se recomienda efectuar el análisis de factibilidad respectivo si se emplean otros sistemas de filtros.

REFERENCIAS

- ABAS, N., et al. (2020). Power Quality Improvement Using Dynamic Voltage Restorer. *IEEE Access*, 8, 164325-164339. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3022477>
- ABOU HOURAN, M., et al. (2023). Active power filter module function to improve power quality conditions using GWO and PSO techniques for solar photovoltaic arrays and battery energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 72(c), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108552>
- BARBOSA DA SILVA, R. P., et al. (2020). Effects of mixed electronic loads on the electrical energy systems considering different loading conditions with focus on power quality and billing issues. *Applied Energy*, 277, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115558>
- BOSCH, S., et al. (2023). Repetitive controllers for shunt active power filters – control design, implementation and stability analysis. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 140, 391-400. <https://doi.org/10.1007/s00502-023-01134-4>
- CÁRDENAS, P. F., JIMENEZ, F., & PEÑA CORTES, C. A. (2009). Filtro activo de potencia en paralelo: Análisis y diseño. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 9(14), 17-25.
- CHAHINE, K., et al. (2023). Power Quality Enhancement of Grid-Connected Renewable Systems Using a Matrix-Pencil-Based Active Power Filter. *Sustainability*, 15(1), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su15010887>
- DEFFAF, B., et al. (2023). Synergetic control for three-level voltage source inverter-based shunt active power filter to improve power quality. *Energy Reports*, 10, 1013-1027. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.07.051>
- DYBKO, M. A. (2023). Assessment of energy efficiency of active power filters for power supply systems in northern regions. *Georesources Engineering*, 334(3), 138-152. <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/3/3921>
- FANG, Y., et al. (2023). A LCCR filter based harmonic suppression method for power quality improvement. *Energy Reports*, 9(2), 549-557. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.03.062>
- GONZALEZ-ABREU, A. D., et al. (2022). Advances in Power Quality Analysis

Techniques for Electrical Machines and Drives: A Review. *Energies*, 15(5), 1-26.
<https://doi.org/10.3390/en15051909>

IEEE Std 1159-1995. (1995). IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. *IEEE Std 1159-1995*, 1-80.
<https://doi.org/10.1109/IEEESTD.1995.79050>

IQBAL, M., et al. (2021). Neural Networks Based Shunt Hybrid Active Power Filter for Harmonic Elimination. *IEEE Access*, 9, 69913-69925.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077065>

KUMAR BARIK, P., SHANKAR, G., & KUMAR SAHOO, P. (2022). Investigations on Split-Source Inverter Based Shunt Active Power Filter Integrated Microgrid System for Improvement of Power Quality Issues. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 17, 2025-2047. <https://doi.org/10.1007/s42835-022-00999-3>

LEIVA ESTEBAN, A. E. (2020). *Diseño y simulación de un filtro activo de potencia para mitigar señales armónicas de corriente en una red de distribución de 2 kVA*. Lima: Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

LI, D., et al. (2021). A comprehensive review of improving power quality using active power filters. *Electric Power Systems Research*, 199, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107389>

LONGHAI, F. (2022). Detection Algorithm For Active Filters Based On Adaptive Inverse Control. *Journal of Applied Science and Engineering*, 26(11), 1545-1554.
[https://doi.org/10.6180/jase.202311_26\(11\).0004](https://doi.org/10.6180/jase.202311_26(11).0004)

MARTINEZ, F., et al. (2021). Análisis de filtros activos de potencia para el equilibrio de cargas mediante convertidores de dos y siete niveles de cuatro hilos. *Revista Científica de la UCSA*, 8(1), 68-90. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2021.008.01.068>

MICHALEC, Ł., et al. (2021). Impact of Harmonic Currents of Nonlinear Loads on Power Quality of a Low Voltage Network—Review and Case Study. *Energies*, 14(12), 1-19.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. (2020). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos - Decreto Supremo N° 020-97-EM*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.

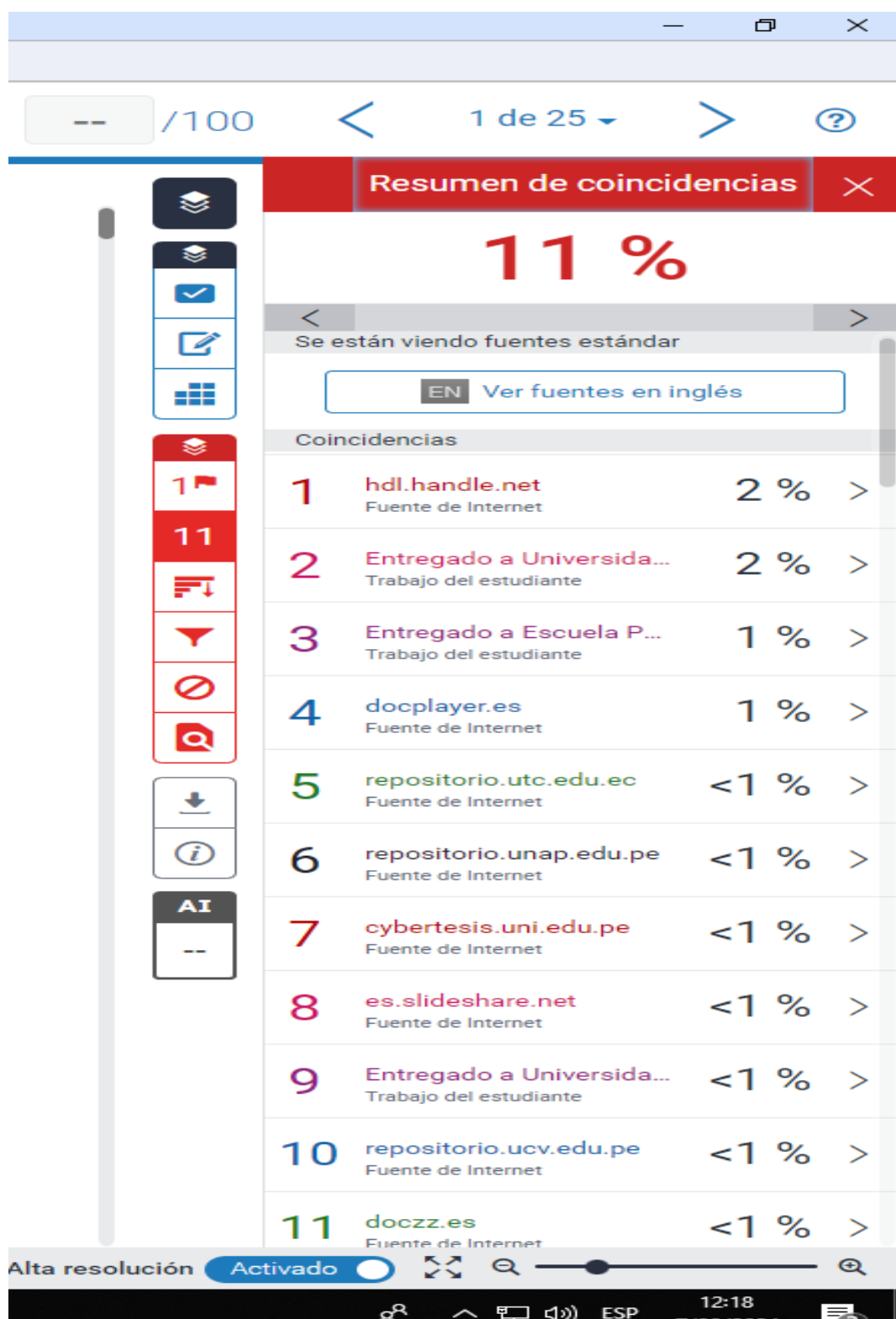
- MIYARA, F. (2004). *Filtros activos*. Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- OSINERGMIN. (2021). *Calidad del servicio eléctrico*. Lima: OSINERGMIN. Retrieved 2023.
- PEREZ SANCHEZ, N. (2022). *Sistema de automatización de pruebas para testeado de sistemas de monitoreo de subestaciones eléctricas*. Antioquia: Repositorio de la Universidad de Antioquia.
- POPESCU, M., et al. (2021). Improving Power Quality by a Four-Wire Shunt Active Power Filter: A Case Study. *Energies*, 14(7), 1-20. <https://doi.org/10.3390/en14071951>
- RAZMI, D., et al. (2023). An Overview on Power Quality Issues and Control Strategies for Distribution Networks With the Presence of Distributed Generation Resources. *IEEE Access*, 11, 10308-10325. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3238685>
- RPP TEC, S. (2023). *Estudio de calidad de energía en tablero de distribución subestación N°01*. Paramonga - Lima.
- SILVA, V., et al. (2021). Desafíos e incertidumbres del desarrollo sostenible en la planificación de la energía eléctrica. *ENERLAC Revista de Energía de Latinoamérica y El Caribe*, 5(1), 50-75.
- TALEBI, N., et al. (2023). Performance Evaluation of Various Filters for Electric Arc Furnaces Harmonic and Reactive Power Compensation. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series B*, 104, 1155-1167. <https://doi.org/10.1007/s40031-023-00911-1>
- TORABI JAFRODI, S., et al. (2020). A Novel Control Strategy to Active Power Filter with Load Voltage Support Considering Current Harmonic Compensation. *Applied Sciences*, 10(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/app10051664>
- VARGAS CORDERO, Z. R. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Educación*, 33(1), 155-165.
- YUPANQUI RODRIGUEZ, C. (2021). *Selección de un sistema de filtros de armónicos para el mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica*. Lambayeque: Repositorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

ANEXOS

Anexo 1: Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Independiente: Sistema de filtros	Se define como un dispositivo que modifica de un modo determinado una señal, ya sea una magnitud eléctrica como corriente o tensión que pasa a través de él (Miyara, 2004).	Para un óptimo diseño de un filtro de potencia se debe considerar el tipo de carga a compensar y las características del filtro (Cárdenas et al., 2009).	D1: Carga a compensar D2: Características del filtro	D1: Potencia reactiva D2: Capacidad del filtro	De razón
Dependiente: Calidad de energía	Se refiere principalmente a la calidad de la forma de onda del flujo de energía en las redes eléctricas, las formas de onda de potencia de salida de las fuentes de generación de energía, así como las formas de onda de demanda de energía (perfiles) a lo largo del tiempo (Li et al., 2021).	La energía usada debe estar dentro de los estándares de calidad permitidos por la norma NTCSE, para la variación de tensión debe estar dentro del rango de $\pm 5\%$, para la frecuencia en un rango de variaciones sostenidas (Dfk') (%): $\pm 0.6\%$, variaciones súbitas (VSF'): $\pm 1.0\text{Hz}$. El índice de severidad por Flícker de corta duración (Pst) determinado de acuerdo a las Normas IEC, por ende, no debe ser mayor a la unidad ($Pst < 1$) en Alta, Media ni Baja Tensión (OSINERGMIN, 2021).	Calidad de producto	Variación de tensión Variación de Frecuencia Severidad de Flickers	De razón

Anexo 3 – Reporte Turnitin



The screenshot shows a Turnitin similarity report in a browser window. The page title is "Resumen de coincidencias" (Summary of Similarities). The overall similarity score is 11%. Below this, there is a section for "Coincidencias" (Similarities) listing 11 sources. The sources are ranked by their percentage of similarity, with the highest being 2% and the lowest being less than 1%.

Se están viendo fuentes estándar

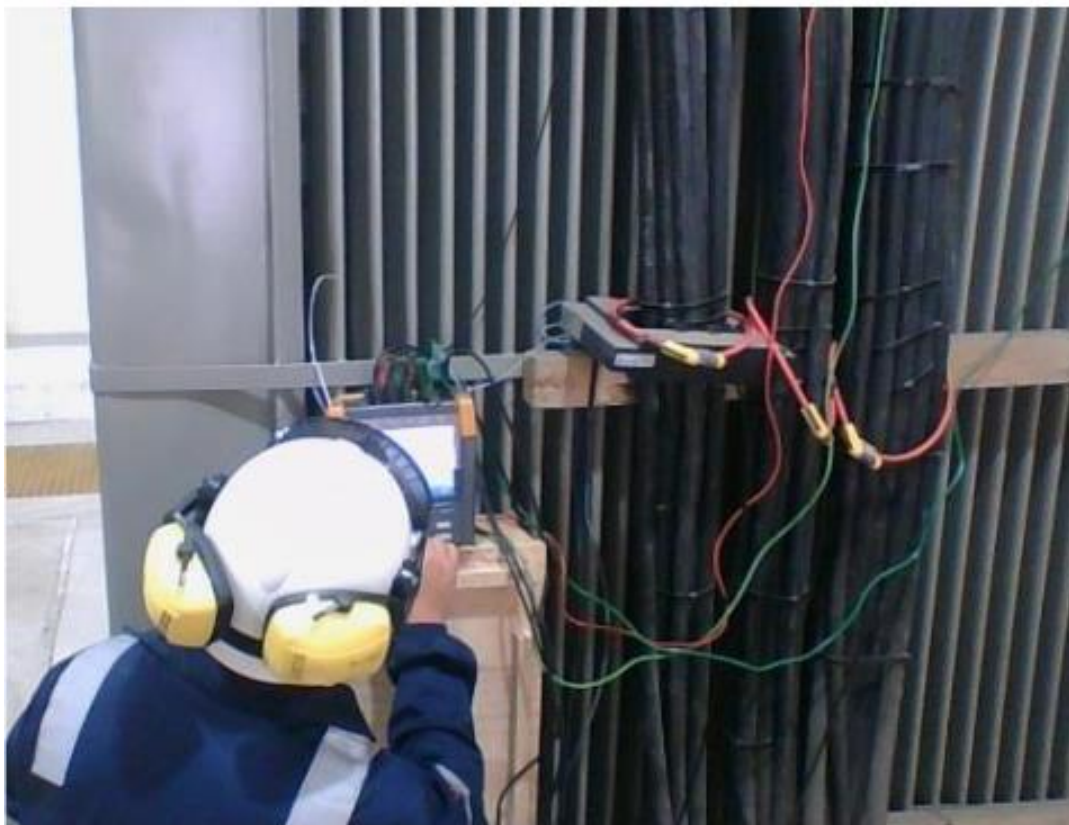
EN Ver fuentes en inglés

Coincidencias		
1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	2 %
3	Entregado a Escuela P... Trabajo del estudiante	1 %
4	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
9	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 %
10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	doczz.es Fuente de Internet	<1 %

Alta resolución Activado

12:18

Anexo 4 – Otras evidencias
Reporte fotográfico del servicio



Valores de distorsión armónica IEEE 519

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental

ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 volts.

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental

ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes > 161,000 volts.

Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental

ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<50	2.0	1.0	0.75	0.30	0.15	2.5
50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente

* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de Isc/Il que presente

Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.

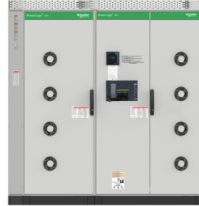
IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.

THD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.

Ficha técnica del banco de condensadores Schneider

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Banco de condensadores inteligente PowerLogic PFC automático, 750kvar CB NE1 DR4.2 480V 60Hz

VA750B4014S

Principal

Tensión De Red	480 V CA 60 Hz
Clasificación De Potencia Reactiva	750 kvar
Modo De Funcionamiento	Automático
Gama De Producto	PowerLogic
Nombre Corto Del Dispositivo	PowerLogic PFC Smart
Tipo De Producto O Componente	Batería de condensadores
Regulador Modelo	PowerLogic PFC Controller VPL12
Capacitor Technology	PowerLogic PFC Capacitor + Detuned Reactor
Accesibilidad Para Funcionamiento	Parte frontal
Color	Gris RAL 7035

Opcionales

[Thdv] Total Harmonic Distortion	0...7 %
Factor De Ajuste	4.2
Frecuencia De Sintonización	252 Hz
Potencia Por Paso	50 kvar
Escalonaje	50 + 7x100
Número De Polos	3P
Tensión Máxima Admisible	1,1 x Un 8 horas en 24 horas
Tipo De Protección	Protección interrupt, autom,
Poder De Corte	65 kA
Maximum Weight	892 kg
Altura	2000 mm
Anchura	6000 mm
Profundidad	600 mm
Ubicación De Montaje	Interior
Grado De Protección Nema	NEMA 1

Ambiente

Normas	CSA C22.2 No 190-M1985 UL 810 UL 508 A
--------	--

Precio no incluye IVA. Precio sugerido de venta al público y sujeto a cambio sin previo aviso. Podrán aplicar Políticas de Descuento de Schneider Electric y/o Distribuidor.

Certificaciones De Producto	cCSAus
Humedad Relativa	0...95 %
Altitud Máxima De Funcionamiento	<= 2000 m
Temperatura Ambiente De Funcionamiento	-10...46 °C
Temperatura Ambiente De Funcionamiento	25 °C anual 35 °C más de 24 h

Unidades embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1

Filtro de armónicos 200 A 380-480 V CA gabinete N2

Ficha técnica del producto

Especificaciones



filtro de armónicos 200 amperios
380-480 V CA gabinete N2

PCSP200D5N2

Principal

Gama De Producto	AccuSine
Nombre Del Producto	AccuSine PCS+
Tipo De Producto O Componente	Filtro de armónicos activo

Complementario

Tipo De Red	3P
Configuración De La Red	3 o 4 cables
Tensión De Red	380...480 V CA
Frecuencia Asignada De Empleo	50/60 Hz +/- 3 Hz detección automática
Tensión Máxima Admisible	1,1 x Un
Corrección Del Neutro	No se proporciona
Capacidad De Corriente De Salida Rms	200 A
Potencia Reactiva	166 kvar 480 V CA 50/60 Hz
Modos De Funcionamiento	Corrección factor potencia Cancelación de armónicos Equilibrio de la corriente de red
Ubicación De La Instalación	Interior
Montaje De Armario	De suelo
Tipo De Protección	Protección interrupt, autom,
Tipo De Desconexión	Puerta con bloqueo con manilla giratoria
Capacidad De Interrupción	200 kA
Disipación De Calor	Plenum trasero con ventilación forzada para un alto flujo de calor
Compatibilidad Electromagnética	EMC conducida, Clase A acorde a EN 61000-6-4
Accesibilidad Para Funcionamiento	Parte frontal
Localización De Conexión	Arriba o abajo

Entorno

Grado De Protección De La Caja	UL type 2
Características Ambientales	En funcionamiento, estado 1 3C2 acorde a IEC 60721-3-3 En funcionamiento, estado 1 3S2 acorde a IEC 60721-3-3 Almacenamiento, estado 1 3C3 acorde a IEC 60721-3-3 Almacenamiento, estado 1 3S3 acorde a IEC 60721-3-3
Altitud Máxima De Funcionamiento	<= 1000 m 1 % por cada 100 m

Este es un precio de lista. Para conocer el precio de venta consulta con tu distribuidor

Temperatura Ambiente De Funcionamiento	0...40 °C 0...50 °C máximo con desclasificación de corriente del 2% por cada °C
Humedad Relativa	0...95 %
Protección Del Pcba	Conformación del revestimiento
Normas	CSA C22.2 No 60947-1-07 EN 61000-6-4 UL 508 UL 60947-1 CSA C22.2 No 14 EN 60439-1
Certificaciones De Producto	cULus ABS CE RCM
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-20...60 °C
Peso Del Producto	355 kg
Altura	2100 mm
Ancho	900 mm
Color	Gris claro - tipo de cable: RAL 7035)
Profundidad	600 mm

Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	233.1 cm
Paquete 1 Ancho	119.4 cm
Paquete 1 Longitud	119.4 cm
Paquete 1 Peso	475.0 kg

Garantía contractual

Periodo De Garantia	18 months
----------------------------	-----------

Filtro Activo para Mitigación de Armonicos 120 amp 380-480 VAC, envoltente N12

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Filtro Activo para Mitigación de Armonicos 120 amp 380-480 VAC, envoltente N12

PCSP120D5N12

Principal

Gama De Producto	AccuSine
Nombre Del Producto	AccuSine PCS+
Tipo De Producto O Componente	Filtro de armónicos activo

Complementario

Tipo De Red	3P
Configuración De La Red	3 o 4 cables
Tensión De Red	380...480 V CA
Frecuencia Asignada De Empleo	50/60 Hz +/- 3 Hz detección automática
Tensión Máxima Admisible	1,1 x Un
Corrección Del Neutro	No se proporciona
Capacidad De Corriente De Salida Rms	120 A
Potencia Reactiva	100 kvar 480 V CA 50/60 Hz
Modos De Funcionamiento	Cancelación de armónicos Equilibrio de la corriente de red Corrección factor potencia
Ubicación De La Instalación	Interior
Montaje De Armario	De suelo
Tipo De Protección	Protección interrupt, autom,
Tipo De Desconexión	Puerta con bloqueo con manilla giratoria
Capacidad De Interrupción	200 kA
Disipación De Calor	Plenum trasero con ventilación forzada para un alto flujo de calor
Compatibilidad Electromagnética	EMC conducida, Clase A acorde a EN 61000-6-4
Accesibilidad Para Funcionamiento	Parte frontal
Localización De Conexión	Arriba o abajo

Entorno

Grado De Protección De La Caja	UL type 12 (**)
Características Ambientales	En funcionamiento, estado 1 3C2 acorde a IEC 60721-3-3 En funcionamiento, estado 1 3S2 acorde a IEC 60721-3-3 Almacenamiento, estado 1 3C3 acorde a IEC 60721-3-3 Almacenamiento, estado 1 3S3 acorde a IEC 60721-3-3
Altitud Máxima De Funcionamiento	<= 1000 m 1 % por cada 100 m

Este es un precio de lista. Para conocer el precio de venta consulta con tu distribuidor

Temperatura Ambiente De Funcionamiento	0...40 °C 0...50 °C máximo con desclasificación de corriente del 2% por cada °C
Humedad Relativa	0...95 %
Protección Del Pcba	Conformación del revestimiento
Normas	EN 61000-6-4 UL 60947-1 UL 508 CSA C22.2 No 60947-1-07 EN 60439-1 CSA C22.2 No 14
Certificaciones De Producto	RCM ABS cULus CE
Temperatura Ambiente De Almacenamiento	-20...60 °C
Peso Del Producto	260 kg
Altura	2100 mm
Ancho	800 mm
Color	Gris claro - tipo de cable: RAL 7035)
Profundidad	500 mm

Unidades de embalaje

Tipo De Unidad De Paquete 1	PCE
Número De Unidades En El Paquete 1	1
Paquete 1 Altura	233.1 cm
Paquete 1 Ancho	119.4 cm
Paquete 1 Longitud	119.4 cm
Paquete 1 Peso	383.0 kg

Garantía contractual

Periodo De Garantía	18 months
----------------------------	-----------

Esquema unifilar de la empresa minera

