Guía Para el Análisis de Calidad de Energía Basada en la Experiencia de una Empresa del Sector Eléctrico

GUIDE FOR POWER QUALITY ANALYSIS BASED ON THE EXPERIENCE OF A COMPANY IN THE ELECTRIC SECTOR



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Guía Para el Análisis de Calidad de Energía Basada en la Experiencia de una Empresa del Sector Eléctrico

GUIDE FOR POWER QUALITY ANALYSIS BASED ON THE EXPERIENCE OF A COMPANY IN THE ELECTRIC SECTOR

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto de grado como requisito para optar por el título de:

Ingeniería Eléctrica

Director:

Dora Marcela Martínez, Ing.

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

PASANTÍA

Documento presentado como requisito de grado a la dirección del proyecto curricular de Ingeniería Eléctrica de la Facultad tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Luis Eduardo Vásquez
Luis Antonio Peña
Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica
Estudiante

Dora Marcela Martínez, Ing.
Docente Facultad tecnológica
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Docente director

Bogotá D.C., septiembre de 2025

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma directora

_____

Firma Docente Evaluador

_____

Firma Ponente 1

_____

Firma Ponente 2

_____

Fecha de Aprobación

Agradecimientos

Expresar un sincero agradecimiento a la ingeniera y docente Dora Marcela Martínez, quien nos brindó su apoyo con la idea del proyecto de grado desarrollado, pues sus conocimientos y apoyo fueron fundamentales para alcanzar este logro.

De igual manera, agradecemos a la empresa GENELEC de Colombia S.A.S., por brindar la oportunidad de desarrollar este proyecto, el cual representa un importante aporte a nuestra formación académica y profesional.

Resumen

Este proyecto presenta un análisis de la información disponible en una empresa que presta servicios de ingeniería eléctrica especializada. Dicho análisis permitirá identificar las causas más frecuentes de fallas en las instalaciones eléctricas, asociadas principalmente a problemas de calidad de energía. Una vez examinada esta información, se elaboró una guía metodológica para abordar de manera adecuada dichos problemas en las instalaciones eléctricas.

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de implementar de manera adecuada los estudios de calidad de energía pues la detección temprana y la corrección oportuna de las necesidades que se identifiquen no solo permiten reducir significativamente los costos operativos, sino también aumentar la confiabilidad y la seguridad de las instalaciones eléctricas.

Palabras clave: calidad de energía, instalaciones eléctricas, confiabilidad, inspección de tierras.

Abstract

This project presents an analysis of the information available from a company that provides specialized electrical engineering services. This analysis made it possible to identify the most frequent causes of failures in electrical installations, mainly associated with power quality problems. Once this information was examined, a methodological guide was developed to appropriately address these issues in electrical installations.

The results obtained highlight the importance of properly implementing power quality studies, since the early detection and timely correction of identified needs not only significantly reduce operating costs but also increase the reliability and safety of electrical installations.

Keywords: power quality, electrical installations, reliability, grounding inspection.

Contenido

1. Objetivos....13

1.1. Objetivo General....13

1.2. Objetivos Específicos....13

2. Justificación....14

3. Antecedentes....15

4. Marco Teórico....16

Medición de parámetros eléctricos....18

5. Desarrollo del Proyecto....34

5.1. Recolección de Información....34

5.2. Análisis de la información....35

5.3. Elaboración de Guías....39

5.4. Efectividad....40

5.5. Limitaciones....42

5.6. Casos especiales....46

5.6.1. Caso 1: Falla en equipo secuenciador genético....46

5.6.2. Caso 2: Falla en Transformador y DPS´s....48

5.6.3. Caso 3: Falla en Operación de los equipos (Ascensores)....51

Resultados:....51

6. Conclusiones....52

5. Referencias Bibliográficas....54

Anexos

Anexo A: Tabla Resumen de Análisis de la Información 58

Anexo B: Equipos Usados para Mediciones 64

Anexo C: Guía para el análisis de mediciones para necesidades específicas de medición de carga, solución de reactivos o validación de parámetros eléctricos en el punto de conexión común…….....75

Anexo D: Guía para buscar causa raíz asociada a problemas eléctricos (Mala operación de los equipos) …….....100

Anexo E: Equipos recomendados para mejorar el comportamiento de los parámetros eléctricos……...107

Anexo F: Normatividad asociada a la calidad de energía…….115

Lista de Figuras

Figura 1. Estimación de los costos asociados a la mala calidad del servicio eléctrico en Estados Unidos por tipo de cliente y tipo de interrupción. 16

Figura 2. Descripción de hundimiento SAG.....20

Figura 3. Descripción de elevación Swell. 21

Figura 4. Ejemplo de curva de inmunidad curva ITI. 22

Figura 5. Tipos de curvas de inmunidad. 23

Figura 6. Representación del fenómeno denominado como Notching. (a) Profundidad, ancho y área de una muesca clásica. (b) Muesca con oscilaciones de conmutación debidas a un banco de capacitores sin sintonización. (c) Muesca con oscilaciones de conmutación debidas a la capacitancia de snubber (circuito amortiguador). 24

Figura 7. Ejemplo de conexiones con riesgo de Ferroresonancia. 25

Figura 8. Curva de percepción de flicker. 26

Figura 9. Representación de la corriente distorsionada por armónicos. La gráfica inferior muestra la suma de las componentes armónicas de orden 1, 3 y 5.....27

Figura 10. Representación del triángulo de potencias: potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA). La potencia activa es la porción útil que realiza trabajo, la potencia reactiva representa la energía alternante asociada a los campos magnéticos y eléctricos, y la potencia aparente es el vector resultante.....28

Figura 11. Diferentes comportamientos según el comportamiento del factor de la carga. 29

Figura 12. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura en puntos seleccionados (Spots). 30

Figura 13. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura con la herramienta de área.....30

Figura 14. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura con la herramienta de línea. 31

Figura 15. Funciones de un sistema de puesta a tierra. 34

Figura 16. Clasificación por sector de la empresa. 35

Figura 17. Clasificación por tipo de clientes con mayor afectación por problemas de calidad de energía. 36

Figura 18. Clasificación de los clientes por ubicación. 37

Figura 19. Clasificación por tipo de necesidad. 38

Figura 20. Clasificación por el tipo de servicio ejecutado. 39

Figura 21. Clasificación por decisión del cliente.....40

Figura 22. Daño en dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS´s) 49

Figura 23. Daño en Transformador tipo seco. 49

Figura 24. Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía Serie 1770.....67

Figura 25. Power Logic ION7400 Power Quality. 68

Figura 26. Power Quality Analyzer PQ3198 68

Figura 27. Analizador de red MAP Compact, Clase A. 69

Figura 28. Analizador de calidad de energía GF438II. 69

Figura 29. Cortocircuito provocado al realizar una medición. 70

Figura 30. Categorías definidas por la normatividad. 70

Figura 31. Ejemplo de medición en vehículos. 71

Figura 32. Ejemplo de medición en circuitos electrónicos. 72

Figura 33. Ejemplo de medición en cajas de fusibles. 72

Figura 34. Ejemplo de medición en barraje de baja tensión. 73

Figura 35. Diagrama de categorías de medición CAT I, CAT II, CAT III y CAT IV según IEC. 74

Figura 36. Ejemplo de etiqueta de arco eléctrico. 78

Figura 37.Trajes ignífugos para la conexión de analizadores de redes. 79

Figura 38.Compensación individual de potencia reactiva. 81

Figura 39. Analizador de redes marca Dranetz. 84

Figura 40. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 85

Figura 41. Entradas de tensión y corriente analizador de calidad de energía Dranetz. 86

Figura 42. Pinzas de corriente analizador de redes Dranetz. 87

Figura 43. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 88

Figura 44. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 89

Figura 45. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 90

Figura 46. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 91

Figura 47. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz. 92

Figura 48. Programación de intervalos de medida. 93

Figura 49. Validación de diagrama Fasorial. 94

Figura 50. Ejemplo de análisis de potencia Aparente. 95

Figura 51. Ejemplo de análisis de potencia Activa. 96

Figura 52. Ejemplo de análisis de potencia reactiva y factor de potencia. 97

Figura 53. Ejemplo de análisis de tensión en estado transitorios mediante la CURVA ITI. 99

Figura 54. Diagrama del método científico. 102

Figura 55. Ejemplo de análisis de tensión en estado transitorios mediante la CURVA ITI. 104

Figura 56. Comparación entre cargas lineales y no lineales.....109

Figura 57. Schneider Electric Colombia. (s. f.). Filtro de armónicos activos 60 A 380-480 V CA. 110

Figura 58. Esquema de generación de armónicos, filtrado activo. 111

Figura 59.Diagrama de un compensador Estático de SVC mostrando TCR, TSC y filtros armónicos 113

Figura 60. Banco sintonizado para filtrado de armónico de 7.º orden. 114

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de perturbaciones de calidad de potencia según su duración. 18

Tabla 2. Condiciones de operación con base en los deltas de temperatura. 32

Tabla 3. Clasificación de los clientes por su cantidad de transformadores. 42

Tabla 4. Costos asociados a mediciones de parámetros eléctricos. 42

Tabla 5. Costos asociados a la inspección termográfica de una instalación. 43

Tabla 6. Costos asociados a la inspección de tierras. 44

Tabla 7. Costos asociados a estudios eléctricos (cortocircuito, coordinación de protecciones, flujo de carga y arco eléctrico) o diseños. 44

Tabla 8. Resumen del análisis realizado con la información de la empresa GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. 59

Tabla 9. Comparación entre equipos Clase A y Clases S o B. 66

Tabla 10. Intervalos de programación recomendados por la normatividad. 92

Tabla 11. Normatividad asociada a la calidad de potencia. 116

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Elaborar una guía técnica y detallada para la correcta realización de estudios de calidad de energía en instalaciones industriales, basada en casos reales atendidos por la empresa GENELEC de Colombia, con el propósito de generar una herramienta que aporte al sector de la ingeniería eléctrica tanto a profesionales como para estudiantes relacionados con esta rama.

1.2. Objetivos Específicos

Analizar los principales problemas de calidad de energía presentes en las instalaciones industriales analizadas a partir de la información y casos reales proporcionados por la empresa GENELEC de Colombia, este análisis se realizará durante los últimos 10 años con base en la información que cuenta la empresa propulsora de esta pasantía.

Describir las metodologías y herramientas utilizadas en los estudios de calidad de energía, haciendo especial énfasis en las mediciones de parámetros eléctricos como eje principal de análisis, complementadas de manera general por herramientas adicionales como la termografía y la inspección de los sistemas de puesta a tierra.

Evaluar la efectividad de las metodologías y las soluciones implementadas o recomendadas en los casos estudiados durante los análisis realizados, esto con el fin de establecer criterios técnicos y prácticos aplicables a otras instalaciones industriales.

2. Justificación

La pasantía propuesta constituye un aporte importante a la problemática recurrente en los sistemas eléctricos de potencia. Esta herramienta permitirá a estudiantes, ingenieros y personal del área adquirir experiencia directa en el análisis integral de calidad de energía, fundamental para garantizar la continuidad y confiabilidad de los procesos industriales.

En el ámbito práctico, esta pasantía aportará a la empresa GENELEC de Colombia una guía que permitirá a su personal realizar estudios eléctricos bajo una guía detallada y capacitar al nuevo personal de la empresa en la rama de la calidad de energía que es uno de los fuertes de la empresa con esto se logran realizar diagnósticos más completos y eficientes para los clientes empresariales, mejorando la productividad y la seguridad en las instalaciones industriales. Además, permitirá a los pasantes enfrentar desafíos reales del sector eléctrico, fortaleciendo su perfil profesional.

Personalmente, el desarrollo de esta pasantía representa una oportunidad para profundizar los conocimientos de los estudiantes involucrados y adicionalmente sintetizar y reforzar toda la experiencia adquirida en un documento asociado a calidad de energía, sistemas eléctricos y metodologías de diagnóstico y otra motivación y menos importante es compartir una gran herramienta para el sector de la ingeniería eléctrica.

3. Antecedentes

Cuando se aborda el concepto de calidad de la energía, este suele asociarse de manera inmediata con la realización de mediciones a través de analizadores de parámetros eléctricos. No obstante, persiste una falta de claridad en cuanto a qué equipos deben emplearse y cuál es la forma más adecuada de utilizarlos para obtener resultados realmente representativos. En este sentido, el presente trabajo de grado plantea la necesidad de establecer una metodología integral de análisis de la calidad de la energía, que no solo contemple el uso de analizadores de potencia, sino que además incorpore herramientas complementarias que permitan identificar y determinar las causas raíz de los problemas que afectan a las instalaciones eléctricas.

En la última década, el análisis de la calidad de la energía ha transitado de un enfoque limitado al uso de analizadores tradicionales hacia la adopción de metodologías integrales, que incluyen el cumplimiento normativo, técnicas de diagnóstico avanzado y herramientas analíticas modernas. Por ejemplo, Shabbir, Kütt, Jarkovoi, Iqbal, Rassõlkin y Daniel. (2021) realizaron una revisión de los estándares IEEE e IEC aplicables (entre ellos la IEC 61000-4-30 y la IEEE-519), destacando que la creciente complejidad de las redes inteligentes y la expansión de la generación distribuida demandan un monitoreo más sofisticado, particularmente en lo relacionado con armónicos y distorsiones.

Asimismo, se encuentran antecedentes relevantes en entornos universitarios. En la Sultan Qaboos University, Alawasa (2024) evaluó la calidad de la energía empleando equipos Fluke y análisis en MATLAB, lo que permitió confirmar la conformidad con normas internacionales y establecer estándares de referencia.

Por otra parte, la creciente integración de fuentes de energía renovable introduce nuevos desafíos en la detección y clasificación de disturbios asociados a la calidad de la energía.

Finalmente, en la Figura 1 se presenta una estimación de los costos asociados a la mala calidad del servicio eléctrico en Estados Unidos, clasificados por tipo de cliente y por tipo de interrupción. Se observa cómo estos valores han aumentado de manera significativa con el paso del tiempo, pasando de 79 billones de dólares en 2001 a más de 800 billones en 2021. Este incremento refleja el impacto económico que generan las interrupciones y eventos transitorios en el sistema eléctrico, los cuales responden a múltiples factores técnicos y operativos.

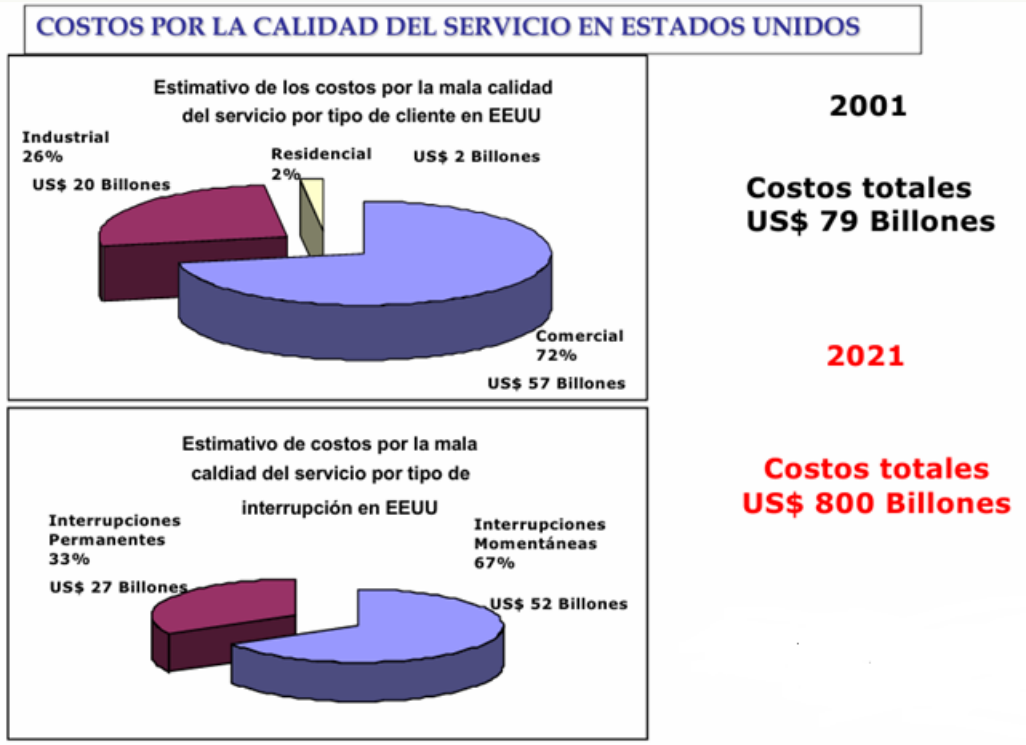


Figura 1. Estimación de los costos asociados a la mala calidad del servicio eléctrico en Estados Unidos por tipo de cliente y tipo de interrupción.

Fuente: EOL BNL, (como se cita en Flechas 2022).

4. Marco Teórico

Los estudios de calidad de energía constituyen una disciplina esencial dentro de la ingeniería eléctrica debido al creciente uso de la electrónica de potencia en equipos que se usan a nivel

industrial (variadores de velocidad, UPS, Convertidores, rectificadores). Aunque estas evaluaciones pueden aplicarse a distintos entornos, adquieren especial relevancia en el ámbito industrial, donde las perturbaciones eléctricas se traducen en pérdidas productivas, daños en equipos sensibles y riesgos para la seguridad. Sin embargo, su importancia también se extiende a sectores comerciales y de servicios, en los que la confiabilidad eléctrica es un factor clave.

El propósito principal de estos estudios es verificar el cumplimiento de estándares técnicos reconocidos internacionalmente como IEEE 1159 o IEC 61000-4-30 y de normativas nacionales, por ejemplo, la NTC-5001 en Colombia, asegurando así la operación confiable, eficiente y segura de los sistemas eléctricos y de los equipos conectados.

De manera tradicional, la metodología ha girado en torno al uso de analizadores de calidad de energía, los cuales permiten registrar parámetros y detectar perturbaciones como armónicos, fluctuaciones de tensión, transitorios o desbalances. No obstante, la experiencia ha demostrado que la simple medición y detección de estas anomalías no basta para plantear soluciones eficaces y duraderas.

En este sentido, se plantea una metodología integral de diagnóstico, en la que el análisis de calidad de energía se entiende como parte central de un conjunto más amplio de estudios eléctricos interrelacionados. Así, los registros obtenidos con los analizadores deben complementarse con otras herramientas de evaluación, tales como:

- **Estudios de cortocircuito**, que permiten determinar la capacidad del sistema para soportar fallas y validar su robustez frente a eventos extremos.
- **Estudios de coordinación de protecciones**, orientados a garantizar que interruptores y relés actúen de forma selectiva, aislando únicamente la parte afectada de la instalación.

- **Evaluaciones de riesgo de arco eléctrico**, con el fin de dimensionar el peligro para las personas y los equipos, y establecer protocolos de seguridad adecuados.
- **Termografía infrarroja**, que facilita la detección de puntos calientes en conexiones, barras y equipos, muchas veces invisibles en un análisis puramente eléctrico.
- **Inspección y medición de los sistemas de puesta a tierra**, esenciales para verificar que el sistema cumple su función de disipar corrientes de falla y proporcionar un potencial de referencia seguro y el control de tensiones de paso y contacto.

La integración de estas herramientas convierte los estudios de calidad de energía en diagnósticos completos, que no se limitan a señalar el síntoma, sino que permiten identificar la causa raíz de los problemas. Este enfoque aporta un valor agregado: la posibilidad de diseñar soluciones técnicas efectivas, económicamente viables y sostenibles, que fortalezcan la confiabilidad de los sistemas eléctricos en los sectores industrial, comercial y de servicios.

Medición de parámetros eléctricos

Las mediciones de parámetros eléctricos permiten establecer el comportamiento de diferentes parámetros en el punto donde se instale el analizador de calidad de potencia, a continuación, se presentan algunas definiciones importantes para cuando se realice el análisis de parámetros eléctricos, cabe resaltar que las perturbaciones en los sistemas eléctricos se pueden clasificar como rápidas, de larga duración o permanentes y lentas como se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de perturbaciones de calidad de potencia según su duración.

Fuente: NTC 5001: Calidad de la potencia y metodología de evaluación en puntos de conexión común.

Perturbaciones	Tipo
Larga duración o permanentes	7.1 VARIACIONES DE TENSIÓN DE ESTADO ESTABLE

	7.5 DESBALANCE DE TENSIÓN
	7.6 FLICKER
	7.8 INTERRUPCIONES DE LARGA DURACIÓN (DURACIÓN ≥ 1 min
	7.9 ARMÓNICOS DE TENSIÓN
	7.10 ARMÓNICOS DE CORRIENTE
	7.11 MUESCAS DE TENSIÓN
	7.4 VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN (SUBTENSIONES Y SOBRETENSIONES)
Lentas	7.7 INTERRUPCIONES DE CORTA DURACIÓN (DURACIÓN < 1 MIN
	7.2 HUNDIMIENTOS (*Sags*)
	7.3 ELEVACIONES (*Swells*)
	7.12 VARIACIONES DE FRECUENCIA
Rápidas	7.13 SOBRETENSIONES TRANSITORIAS
NOTA Las duraciones de cada uno de estos fenómenos serán especificadas en el ítem Descripción de cada una de las secciones indicadas en la Tabla 1.	

Sags: También llamados hundimientos de tensión, hace referencia a la disminución repentina del nivel de tensión en valor eficaz (RMS) de hasta un 90%, en la figura 2 se evidencia una descripción detallada de los denominados en la SAG's.

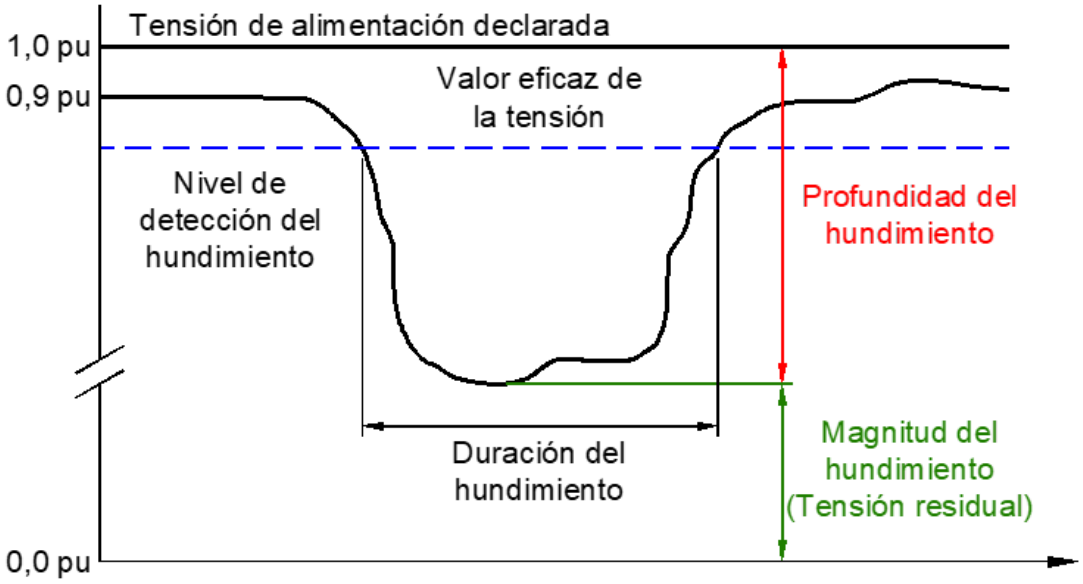


Figura 2. Descripción de hundimiento SAG.

Fuente: NTC 5001: Calidad de la potencia y metodología de evaluación en puntos de conexión común.

Swell: Las elevaciones de tensión (*Swells*) son aumentos súbitos del valor eficaz de la tensión por encima del 110 % de la tensión declarada. Las sobretensiones temporales pueden durar entre 8,33 milisegundos (medio ciclo) y 1 minuto, en la figura 3 se evidencia una descripción detallada de los denominados en la Swell.

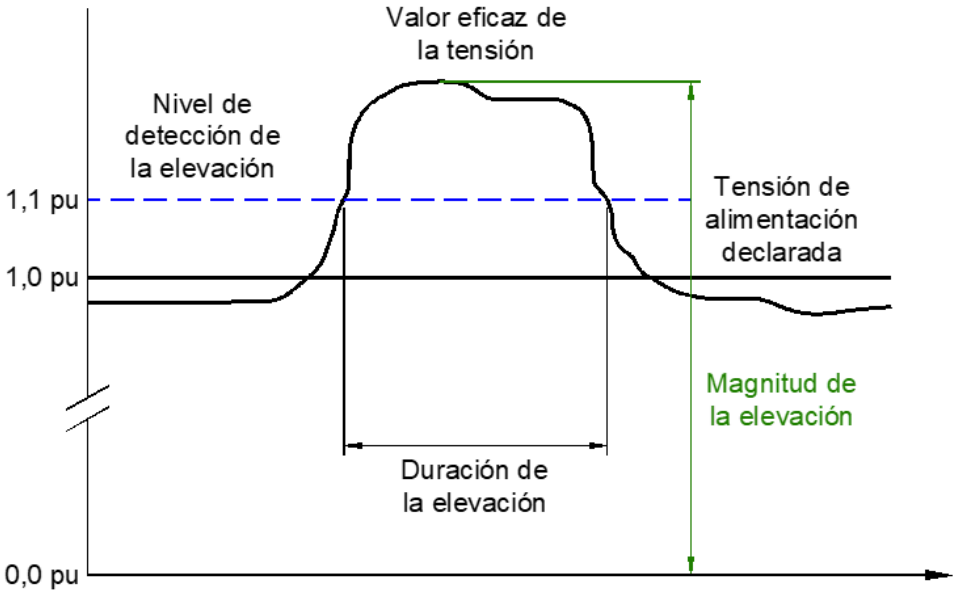


Figura 3. Descripción de elevación Swell.

Fuente: NTC 5001: Calidad de la potencia y metodología de evaluación en puntos de conexión común.

Curva ITI: La curva ITI (CBEMA) describe una envolvente de la tensión de alimentación, la cual puede ser típicamente tolerada por la mayoría de los equipos de Tecnología de Información (ETI) es decir que no causa salida de operación de este tipo de equipos, ver figura 4.

Esta curva no debe ser utilizada para el diseño o especificación de productos o sistemas eléctricos de corriente alterna. (ICONTEC NTC 5001, 2011, p. 37).

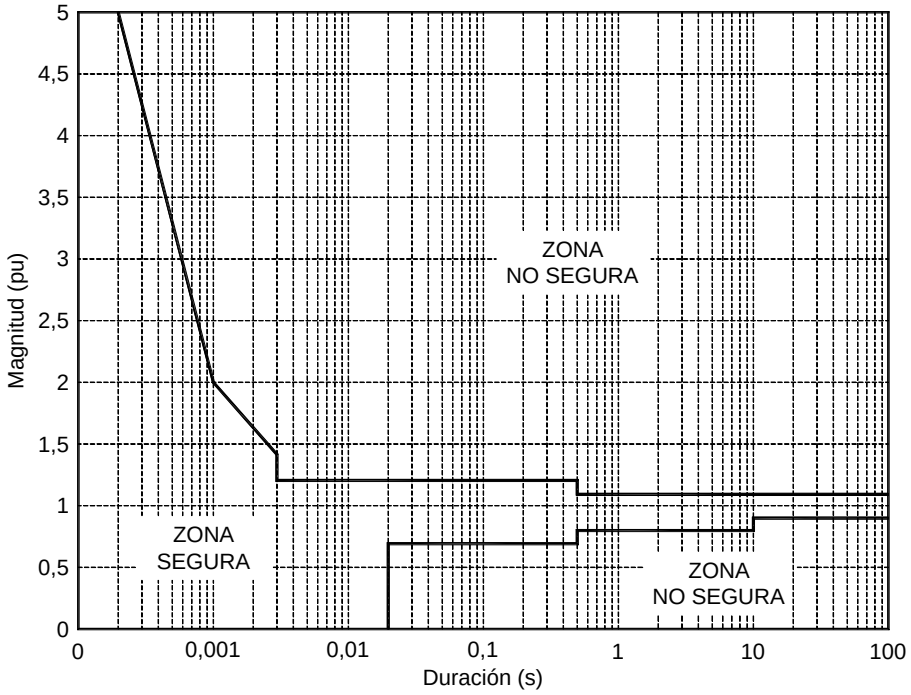


Figura 4. Ejemplo de curva de inmunidad curva ITI.

Fuente: NTC 5001: Calidad de la potencia y metodología de evaluación en puntos de conexión común.

Cabe resaltar que no todos los equipos cuentan con los mismos niveles de vulnerabilidad por lo tanto existen diferentes curvas de inmunidad de los equipos las cuales se resumen en la figura 5.

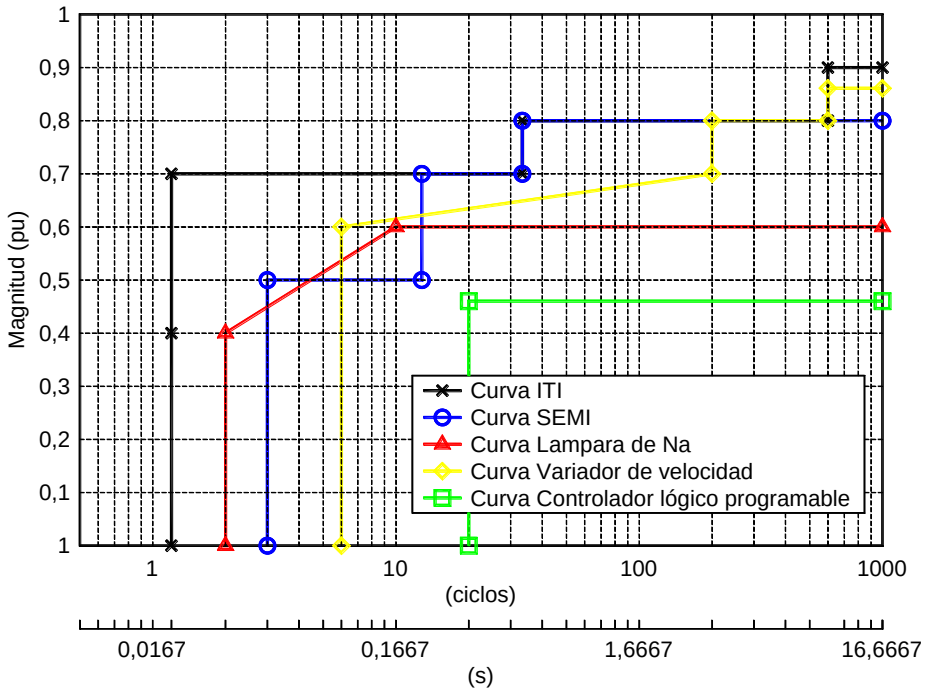


Figura 5. Tipos de curvas de inmunidad.

Fuente: NTC 5001: Calidad de la potencia y metodología de evaluación en puntos de conexión común.

Notching: También llamado muescado por su característica forma en la onda fundamental, es ocasionada por la conmutación de dispositivos electrónicos de potencia afectando el voltaje, el equipo más común en producir este fenómeno es el convertidor AC/DC este fenómeno puede ocasionar disparo de equipos temporizados, calentamientos en transformadores, errores en equipos digitales e interferencias electromagnéticas.

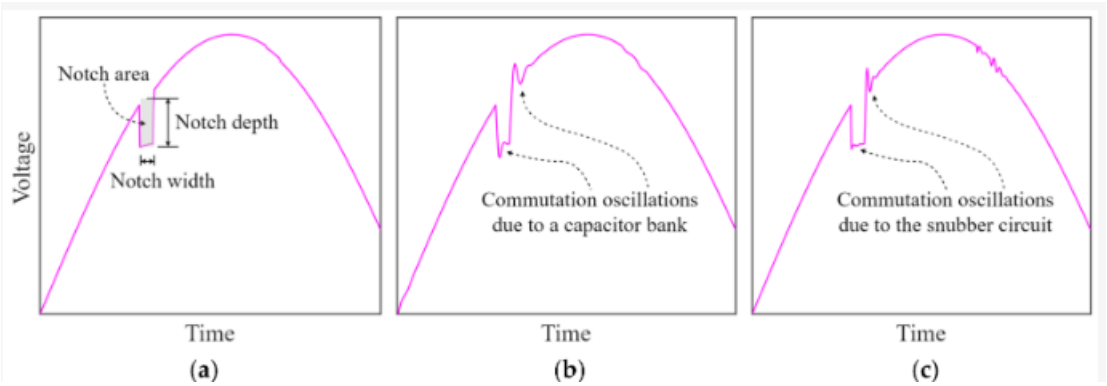


Figura 6. Representación del fenómeno denominado como Notching. (a) Profundidad, ancho y área de una muesca clásica. (b) Muesca con oscilaciones de conmutación debidas a un banco de capacitores sin sintonización. (c) Muesca con oscilaciones de conmutación debidas a la capacitancia de snubber (circuito amortiguador).

Fuente: Adaptado de Caicedo, J. E., Zyabkina, O., Rivas, E., & Meyer, J. (2024). Applied Sciences, 14(23), 11031. https://doi.org/10.3390/app142311031.

Ferroresonancia: Es un caso especial de resonancia serie que ocurre en circuitos donde la resistencia es despreciable y las magnitudes de la reactancia capacitiva (Xc) e inductiva (XL) se aproximan en valor, pero con signos opuestos. Bajo estas condiciones, la impedancia total vista por la fuente se reduce drásticamente, provocando corrientes muy elevadas y sobretensiones tanto en el capacitor como en la inductancia. La diferencia principal con la resonancia lineal es que, en la Ferroresonancia, la inductancia es no lineal (saturable), lo que provoca distorsiones en las formas de onda de corriente y tensión, así como inestabilidad en el sistema eléctrico. (Quijije Sánchez, 2012).

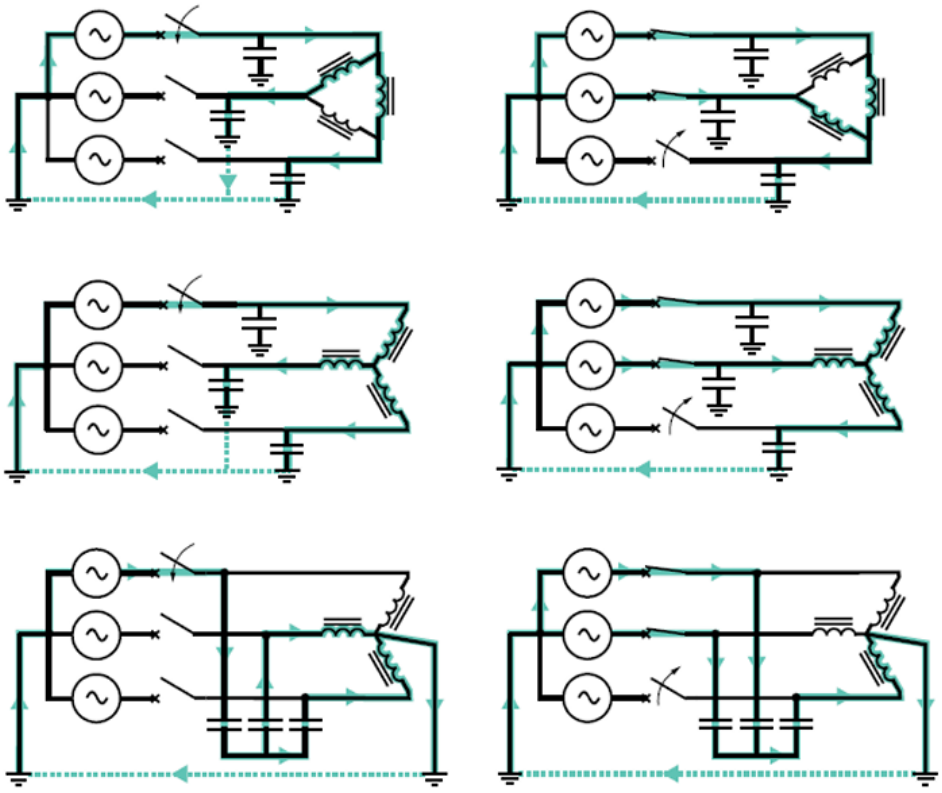


Figura 7. Ejemplo de conexiones con riesgo de Ferroresonancia.

Fuente: Quijije Sánchez, C. (2012). Estudio del fenómeno de Ferroresonancia en transformadores (Trabajo de titulación de Ingeniería Técnica Industrial en Electricidad, Escuela Superior Politécnica del Litoral).

Flicker: El Flicker es el efecto producido sobre la percepción visual humana por una emisión cambiante de luz debido a iluminación sujeta a fluctuaciones en la tensión de suministro en baja tensión. Las fluctuaciones de tensión consisten en una secuencia de rápidos cambios de tensión espaciadas lo bastante cerca en el tiempo para simular la respuesta del ojo-cerebro definida como Flicker.

A ciertas frecuencias, el ojo puede percibir el efecto de muy pequeñas fluctuaciones de tensión sobre la iluminación. La mayoría de los equipos, sin embargo, no son afectados por este fenómeno. (ICONTEC NTC 5001, 2008, p. 19)

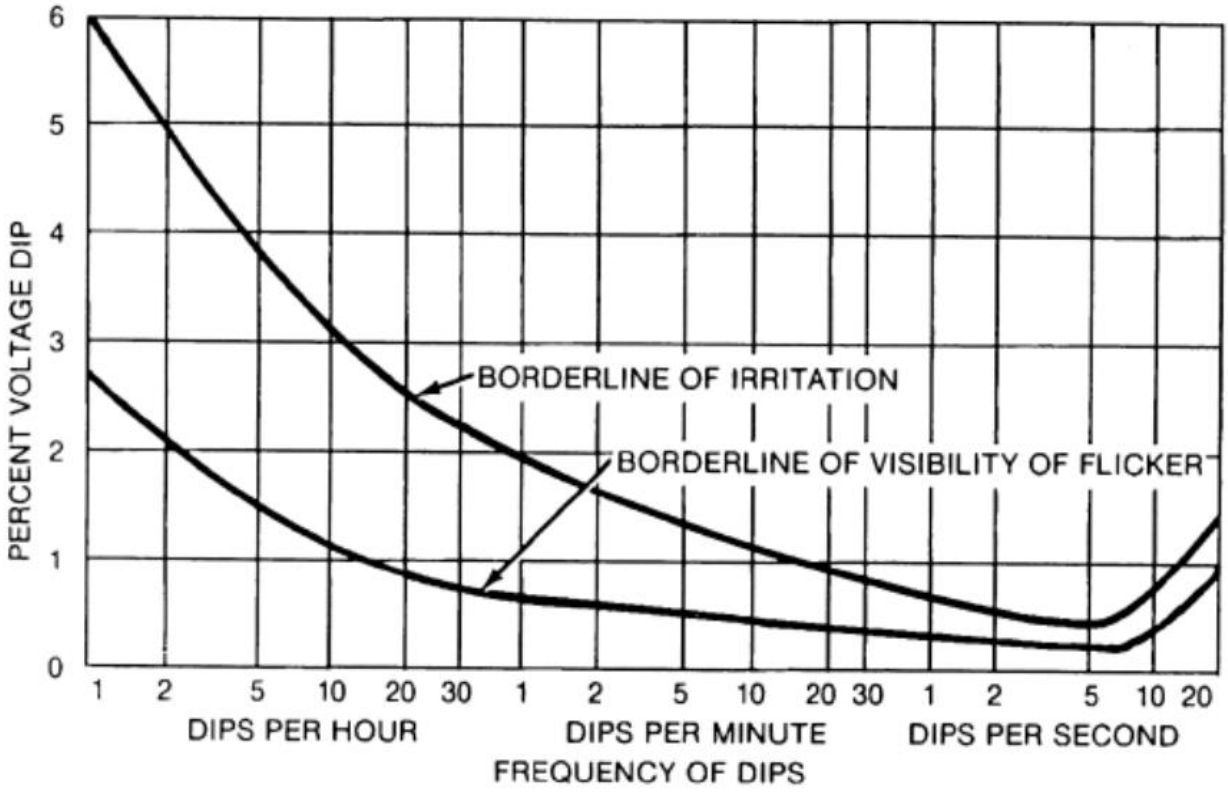


Figura 8. Curva de percepción de flicker.

Fuente: Adaptado de General Electric Company. (1925). Flicker Sensitivity of the Human Eye. Electrical World, 86(8), 371-375.

Distorsión Armónica: Las cargas conocidas como no lineales producen corrientes armónicas que se propagan al sistema de potencia y causan distorsiones armónicas de corriente que a su vez pueden afectar la forma de onda de tensión que afectan los sistemas de potencia internos y a su vez los usuarios conectados en el mismo circuito para evaluar este parámetro de manera correcta se realizan mediante la distorsión total de la demanda.

La distorsión total de demanda, TDD, refleja la importancia de las distorsiones armónicas de corriente respecto a la carga máxima del sistema medido, ya que podrían presentarse altas distorsiones de corriente, es decir una medida de THDi elevada, con bajos niveles de carga, que no afectarían en igual proporción al sistema.

Los instrumentos empleados para mediciones de armónicos expresan la distorsión armónica total de corriente (THDi) en función de la componente rms fundamental y no en función de la corriente de carga de demanda máxima I_L en la mayoría de los casos. Por lo tanto, para el cálculo de la distorsión total de demanda (TDD) y su comparación con los valores de referencia establecidos en esta norma, será necesario hacer uso de los valores de distorsión armónica total de corriente (THDi) y los valores registrados de la corriente de carga de demanda máxima I_L. (ICONTEC NTC 5001, 2008, p. 25)

En la figura 9 se presenta la forma de onda en corriente distorsionada por armónicos.

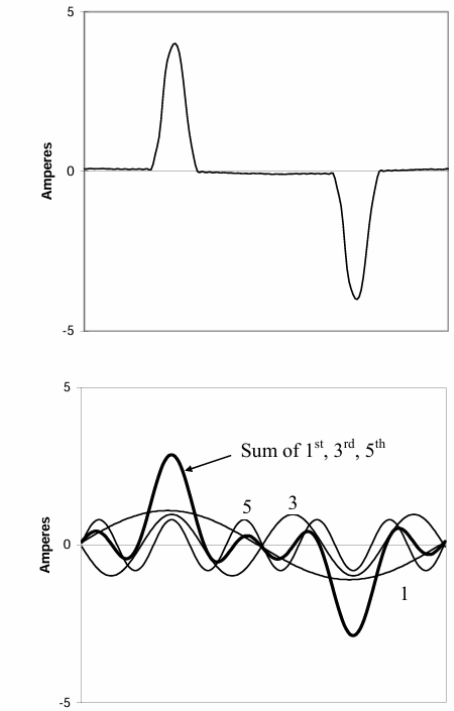


Figura 9. Representación de la corriente distorsionada por armónicos. La gráfica inferior muestra la suma de las componentes armónicas de orden 1, 3 y 5.

Fuente: Adaptado de Grady, M. (2012). Understanding Power System Harmonics (p. 6), University of Texas at Austin.

Factor de Potencia: El factor de Potencia en un circuito de corriente alterna (c.a.) es la relación entre la potencia Útil o Activa P (kW) y la potencia aparente transportada S (kVA).

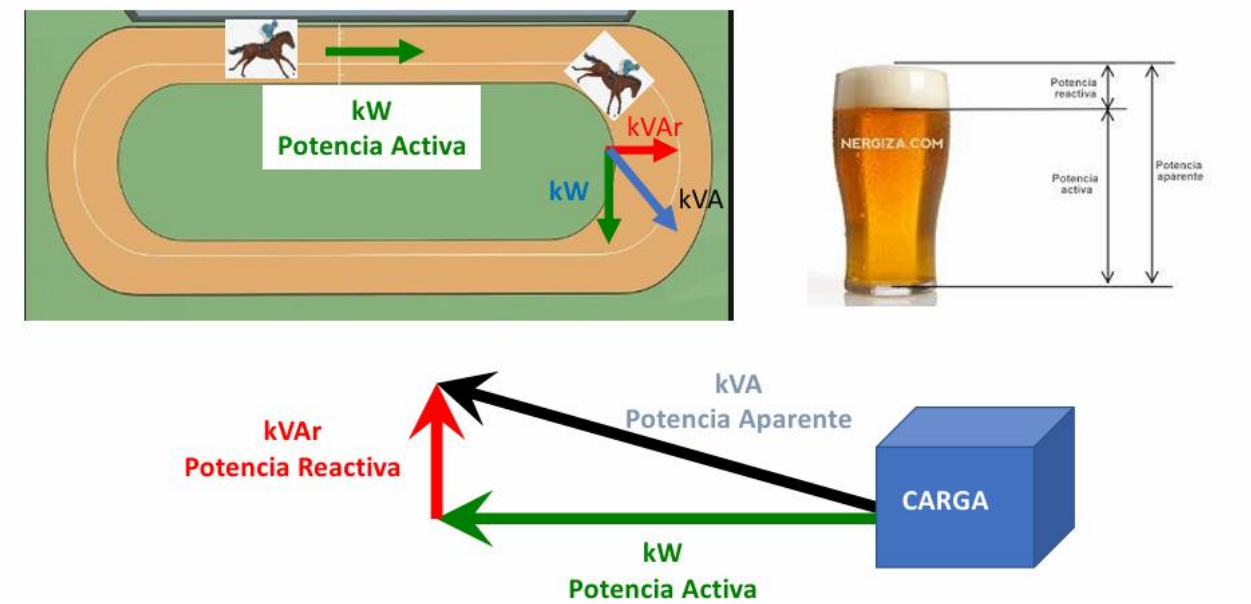


Figura 10. Representación del triángulo de potencias: potencia activa (kW), reactiva (kVAr) y aparente (kVA). La potencia activa es la porción útil que realiza trabajo, la potencia reactiva representa la energía alternante asociada a los campos magnéticos y eléctricos, y la potencia aparente es el vector resultante.

Fuente: Adaptado de Flechas, J. (2024). Presentación sobre calidad de la energía. GENELEC de Colombia.

Dependiendo del tipo de cargas conectadas, se modificará la IMPEDANCIA del sistema eléctrico produciéndose los siguientes comportamientos:

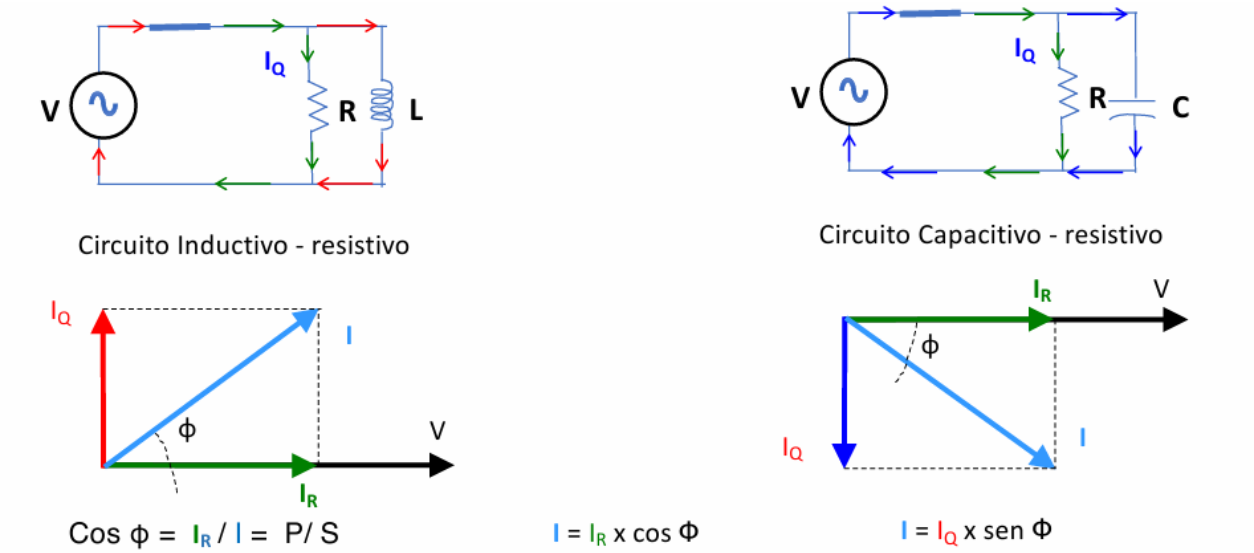


Figura 11. Diferentes comportamientos según el comportamiento del factor de la carga.

Fuente: Adaptado de Flechas, J. (2024). Presentación sobre calidad de la energía. GENELEC de Colombia.

Termografía

La termografía infrarroja es una técnica de diagnóstico sin contacto que permite medir y visualizar la distribución de temperaturas en la superficie de un objeto a través de la radiación infrarroja que este emite. Los resultados se presentan en imágenes térmicas denominadas termogramas, que facilitan tanto el análisis cualitativo de anomalías como la cuantificación precisa de valores de temperatura. Su aplicación es fundamental en el monitoreo basado en condición, especialmente en sistemas eléctricos y mecánicos, al permitir la detección temprana de fallas y la prevención de averías mayores (Usamentiaga et al., 2014; Balakrishnan et al., 2022; Ukiwe, Adeshina & Tsado, 2023).

Para el análisis termográfica se utilizan diferentes herramientas de análisis mediante el software de análisis, las cuales se referencian de la figura 12 a la 14:

- **Spot (Sp1)**

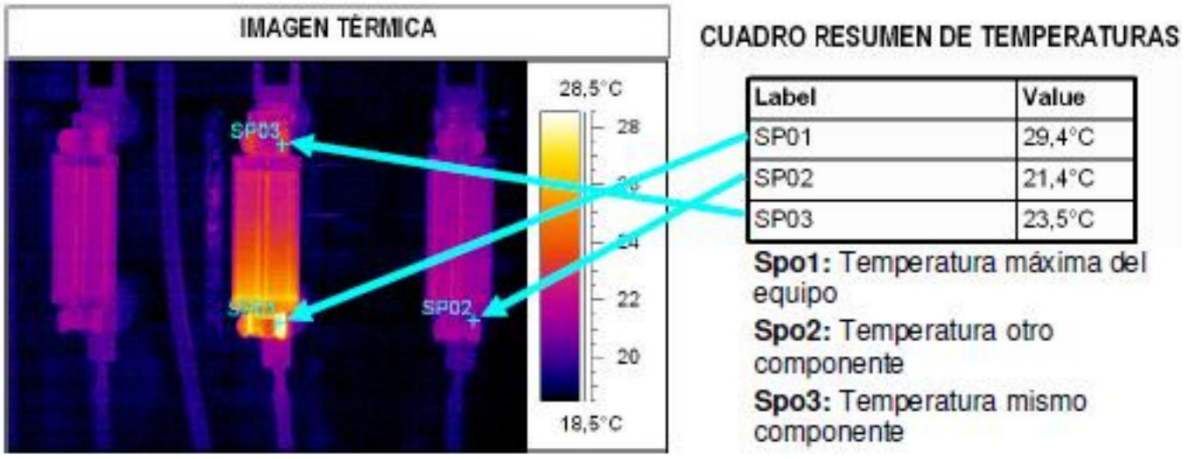


Figura 12. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura en puntos seleccionados (Spots).

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Reporte de inspección termográfica – medición de temperatura en equipos eléctricos.

- **Área (Bx1)**

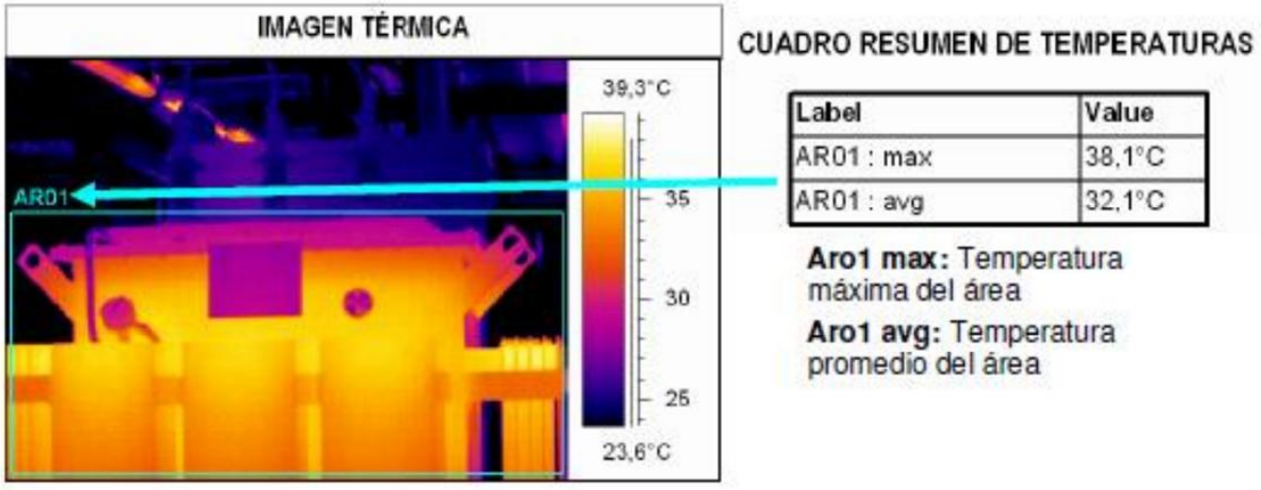


Figura 13. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura con la herramienta de área.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Reporte de inspección termográfica – medición de temperatura en equipos eléctricos.

- **Línea (Li1)**

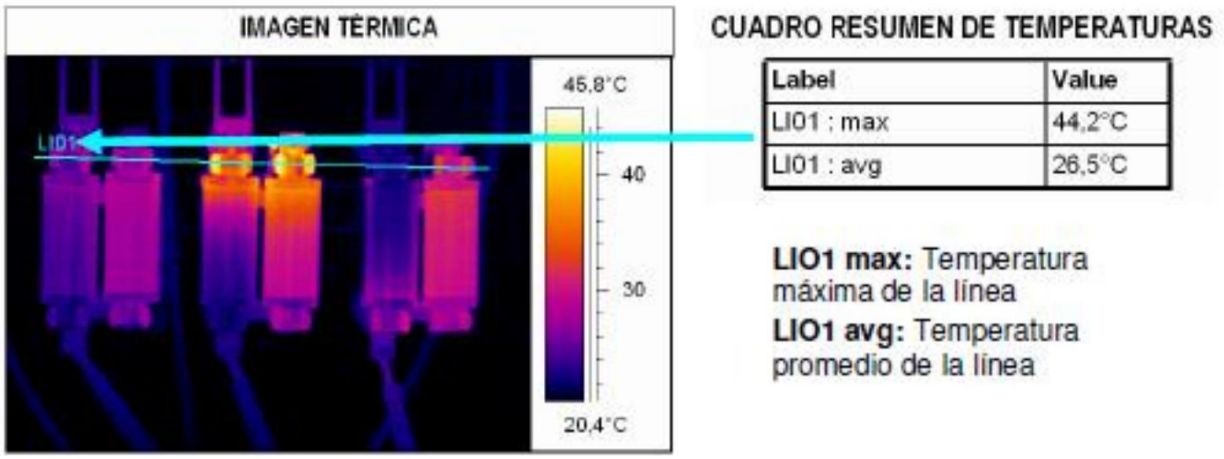


Figura 14. Ejemplo de termogramas con mediciones de temperatura con la herramienta de línea.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Reporte de inspección termográfica – medición de temperatura en equipos eléctricos.

La empresa GENELEC de Colombia ha adaptado los valores de temperatura establecidos en la norma ANSI/NETA MTS-2019 para diseñar una metodología propia; en esta se consideran las diferencias de temperatura como criterio de análisis, dado que la termografía de elementos eléctricos se fundamenta, en su mayoría, en los deltas de temperatura entre componentes. Esta adaptación permite establecer parámetros más precisos de evaluación, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de operación con base en los deltas de temperatura.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Reporte de inspección termográfica – medición de temperatura en equipos eléctricos.

NORMAL (1-4) °C: La condición de operación no implica riesgo para la instalación.
MODERADA (4-10) °C: Se presenta una diferencia de temperatura que no es crítica, pero puede originar problemas para la operación del sistema en el mediano o el largo plazo. Puede ser corregido en el próximo mantenimiento.
PRONUNCIADA (10-16) °C: Se presenta una anomalía en el sistema que implica riesgo de falla o disminución de la vida útil de algún componente del sistema. En estas condiciones la confiabilidad del sistema afectado se reduce. Atender tan pronto como sea posible.
CRÍTICA (16…) °C: Problema grave. Riesgo de falla en muy corto plazo. Atender inmediatamente.

Inspección de Sistemas de Puesta a Tierra

La inspección del sistema de puesta a tierra en una subestación eléctrica es una tarea de vital importancia para garantizar la seguridad del personal operativo, la protección de los equipos y el correcto funcionamiento de la instalación. La verificación de este sistema debe realizarse conforme a los preceptos establecidos por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2024), el cual establece que:

“Toda instalación eléctrica cubierta por el RETIE, excepto donde se indique expresamente lo contrario, debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no esté sometido a tensiones de paso, de contacto o transferidas que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.

La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una

falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura de puesta a tierra y la red." (Ministerio de Minas y Energía, 2024, p. 174).

El Sistema de Puesta a Tierra (SPT) cumple con objetivos fundamentales tales como garantizar la seguridad de las personas, proteger las instalaciones y asegurar la compatibilidad electromagnética de los sistemas eléctricos (IEEE Std 80-2013).

Sus funciones principales incluyen:

a) Garantizar condiciones de seguridad para los seres vivos evitando riesgos por tensiones de paso y de contacto.
b) Permitir a los equipos de protección despejar de manera rápida las fallas eléctricas
c) Servir como referencia común para el sistema eléctrico, estabilizando el potencial de operación.
d) Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, descargas electrostáticas y de rayo.
e) Facilitar la transmisión de señales de radiofrecuencia en onda media y larga cuando así se requiera.
f) Establecer una conexión de baja resistencia con la tierra y los puntos de referencia de los equipos (IEEE Std 142-2007).

De esta forma, una correcta inspección y mantenimiento del sistema de puesta a tierra contribuye directamente a la seguridad operativa y a la confiabilidad de la red eléctrica. En la figura 15 se resumen las funciones de un sistema de puesta a tierra.

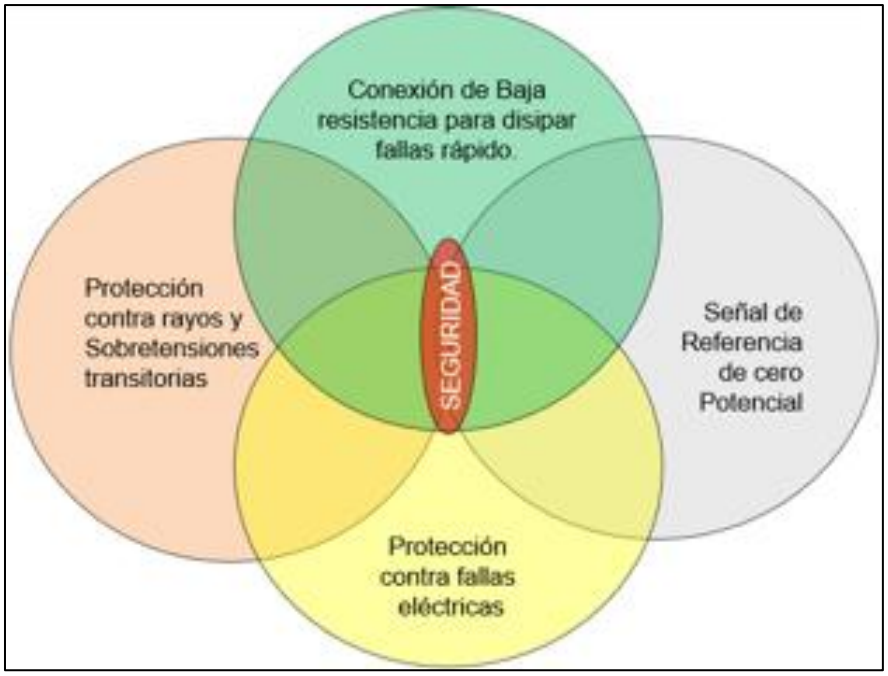


Figura 15. Funciones de un sistema de puesta a tierra.

Fuente: Flechas, J. (2024). Sistemas de puesta a tierra – objetivos y funciones [Presentación sistemas de puesta a tierra]. GENELEC de Colombia.

5. Desarrollo del Proyecto

5.1. Recolección de Información

Previo a la ejecución de la guía de calidad de potencia, se realizó un análisis detallado de la información disponible por parte de la empresa GENELEC de Colombia, relacionada con los clientes que han solicitado estudios de calidad de energía o que han reportado necesidades específicas, derivadas de problemas que no han podido identificar ni resolver mediante sus rutinas de mantenimiento habituales o con mediciones convencionales utilizando multímetros.

Con base en esta revisión, se consolidó y depuró la información proveniente de los diferentes informes técnicos disponibles. Es importante resaltar que para el año 2017 no se cuenta con registros, por lo que dicho período no se incluye en el presente análisis.

A continuación, se presenta el análisis interpretativo de las gráficas elaboradas, con el fin de extraer conclusiones relevantes y orientar la toma de decisiones para futuras acciones de mejora.

5.2. Análisis de la información

Clasificación por tipo de cliente

En la Figura 16 se presenta la distribución de los casos según la clasificación de los clientes (Comercial, Industrial). Se observa que la mayor concentración de casos corresponde al sector industrial sin embargo el sector comercial como se clasifico algunas empresas (Ver anexo A para el detalle de la clasificación) posee gran cantidad de participación. Este resultado evidencia que los problemas de calidad de energía no son exclusivos de la industria, sino que también afectan de manera significativa a las empresas del sector comercial, las cuales presentan una alta demanda de servicios especializados de consultoría y medición para garantizar la continuidad y confiabilidad de sus operaciones.

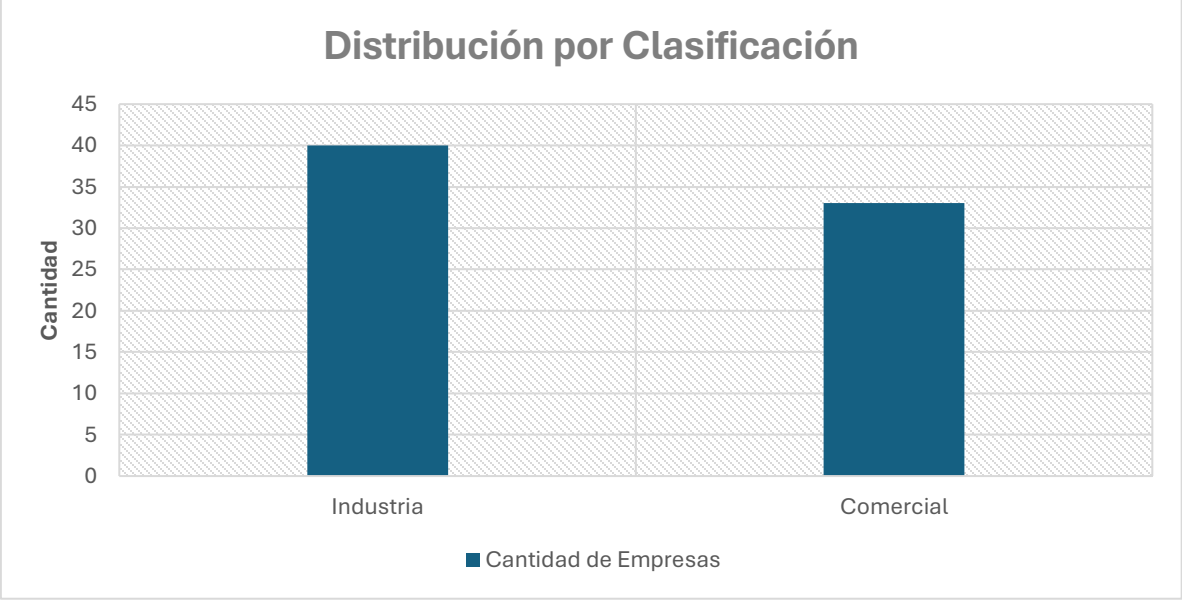


Figura 16. Clasificación por sector de la empresa.

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Figura 17 se presentan los diez tipos de clientes con mayor número de casos registrados. Destacan los edificios corporativos, las industrias de alimentos, el sector de plásticos, las universidades y los centros comerciales, lo que refleja la diversidad de sectores atendidos. Asimismo, se identificaron casos en edificaciones como bancos y otras instalaciones, lo que confirma que los problemas de calidad de energía no se limitan al sector industrial. Si bien podría pensarse que los sitios industriales por su alta densidad de equipos electrónicos, electrónica de potencia y grandes cargas instaladas serían los más propensos a presentar inconvenientes, el análisis evidencia que los problemas también afectan de forma significativa a sectores comerciales y de servicios.



Figura 17. Clasificación por tipo de clientes con mayor afectación por problemas de calidad de energía.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Clasificación por Ubicaciones de los clientes

La Figura 18 presenta las principales ubicaciones geográficas en las que se han realizado mediciones y estudios. Bogotá concentra la mayor cantidad de casos, seguida de municipios aledaños como Chía, Cajicá, Sopó y Mosquera. Este comportamiento confirma que la región

central del país constituye el principal mercado de GENELEC. Es importante destacar que Bogotá, además de ser la principal zona de operación de la empresa, es donde se concentra gran cantidad de empresas industriales, lo que contribuye a que allí se presente un mayor número de requerimientos de estudios de calidad de energía.

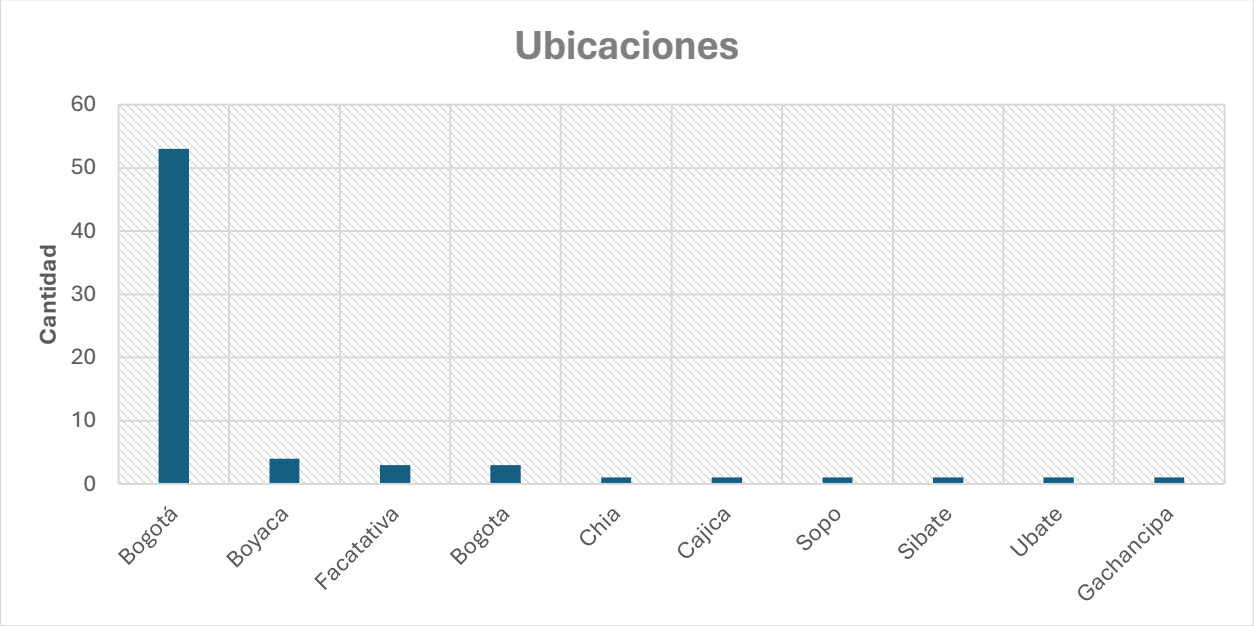


Figura 18. Clasificación de los clientes por ubicación.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Clasificación por Tipo de Necesidad

La Figura 19 presenta la clasificación de los casos según la necesidad que motivó la medición. Sobresalen como causas principales los problemas de cargabilidad, la mala operación de equipos, las multas por energía reactiva y los disparos de protecciones.

Esta información constituye un insumo valioso para la elaboración de guías que orienten la correcta realización de estudios de calidad de energía.

Cuando la necesidad es claramente identificable por ejemplo, exceso de energía reactiva, disparos de protecciones o verificación de la cargabilidad de una instalación, las mediciones

permiten establecer de forma directa las soluciones más adecuadas, cabe resaltar que se deben seguir procedimientos y lineamientos normativos acompañados de un análisis detallado para brindar una correcta solución.

No obstante, cuando la necesidad es menos específica, se requiere recurrir a estudios más detallados y exhaustivos. Esta diferenciación se desarrolla en las guías incluidas en los Anexos C y D de este documento, donde se describe en detalle la metodología para abordar cada tipo de problema de acuerdo con sus características.

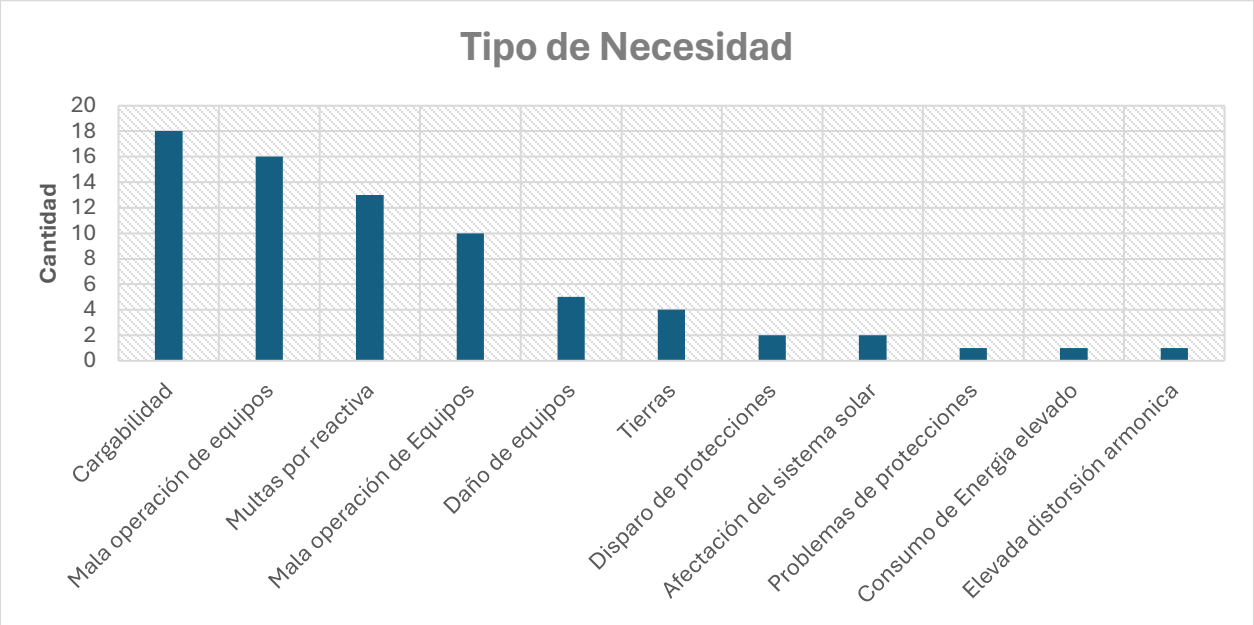


Figura 19. Clasificación por tipo de necesidad.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Alcance de los Servicios

La Figura 20 muestra el alcance de los servicios realizados, evidenciando que las mediciones constituyen la mayor proporción de los casos, seguidas por los estudios y las actividades de inspección.

Este resultado confirma que las mediciones son un insumo fundamental para identificar y proponer soluciones a las necesidades de los clientes.

No obstante, tal como se desarrolla en los Anexos C y D de este documento, las mediciones deben complementarse con un análisis técnico detallado que permita interpretar los resultados y proponer acciones correctivas efectivas.

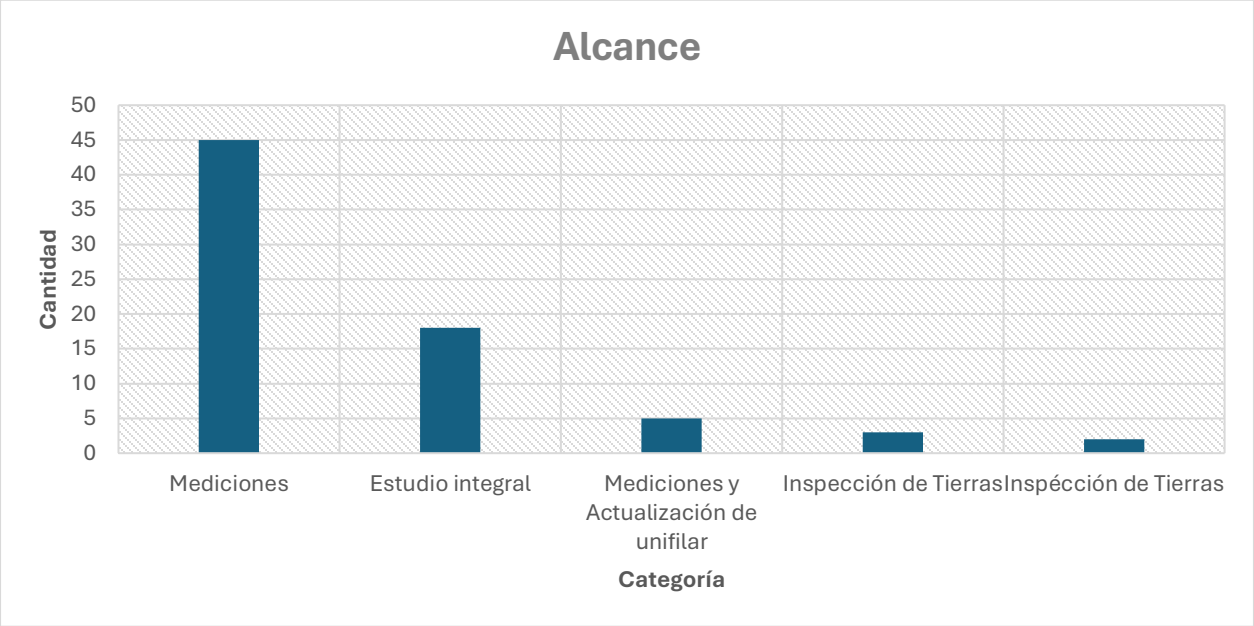


Figura 20. Clasificación por el tipo de servicio ejecutado.

Fuente: Elaboración propia (2025).

5.3. Elaboración de Guías

Con base en la información analizada se establecen dos guías para satisfacer las necesidades que se presentan a nivel industrial o comercial el análisis de estas guías se pueden detallar en el anexo C y D de este documento los cuales se relacionan a continuación:

Anexo C: Guía para el análisis de calidad de energía para necesidades específicas de medición de carga, solución de reactivos o validación de parámetros eléctricos en el punto de conexión común

Anexo D: Guía para el análisis de calidad de energía para necesidades asociadas a mala operación de equipos.

5.4. Efectividad

El análisis de los informes recopilados en la base de datos de GENELEC de Colombia S.A.S. permite evidenciar un alto nivel de confianza de los clientes en las soluciones propuestas por la compañía. Dicho nivel de aceptación se refleja en la implementación de las recomendaciones técnicas presentadas, lo que demuestra la capacidad de la empresa para convertir los diagnósticos en proyectos ejecutados de manera efectiva.

La Figura 21 muestra la decisión final de los clientes frente a las soluciones planteadas, destacándose que la mayoría de ellos optó por implementar las recomendaciones. Este resultado constituye un indicador de credibilidad en los diagnósticos realizados y pone en evidencia la eficacia de la metodología de trabajo utilizada por la empresa la cual se plasma en los anexos c y d del documento. La tasa de aplicación de soluciones supera el 90 % en los diferentes tipos de clientes, sin importar si corresponden al sector industrial o comercial, lo que confirma la solidez y confiabilidad de los estudios realizados.

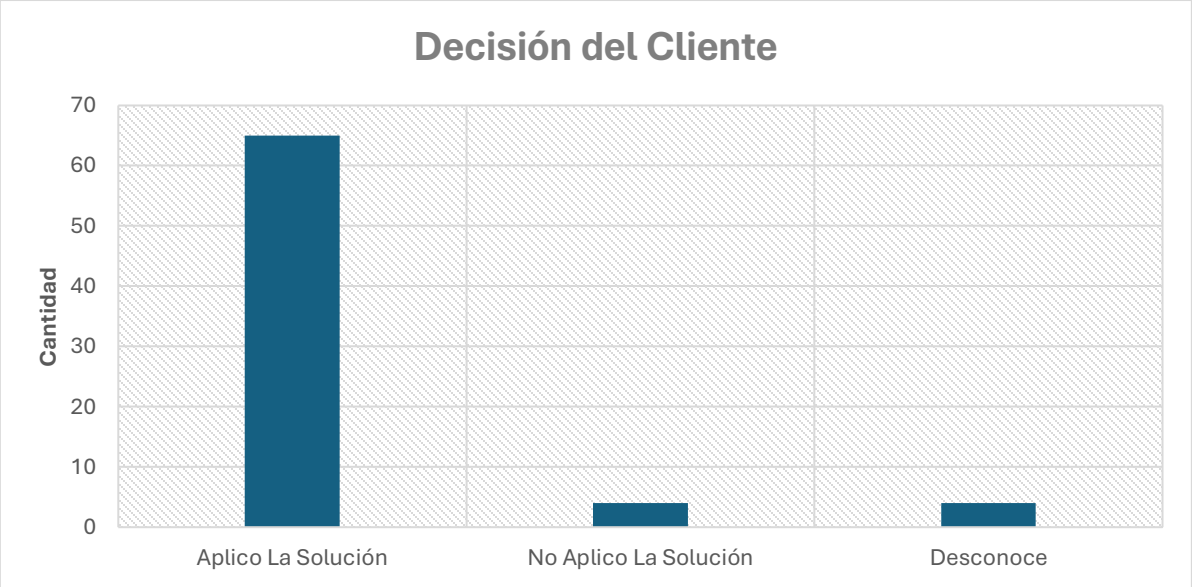


Figura 21. Clasificación por decisión del cliente.

Fuente: Elaboración propia (2025).

La efectividad de los servicios prestados no se limita únicamente a la implementación de soluciones, sino que también responde al cumplimiento de criterios técnicos y normativos. De acuerdo con la IEC 61000-4-30 (2015), los métodos de medición de calidad de energía deben garantizar resultados confiables y repetibles, independientemente del equipo utilizado. En línea con este enfoque, GENELEC emplea equipos de clase A, como analizadores trifásicos certificados, lo que asegura que los diagnósticos cumplan con los estándares internacionales y con la normatividad y reglamentación nacional (RETIE, 2024,NTC 5001, CREG).

Además, se debe resaltar que la efectividad no ha requerido la existencia de una guía formal documentada. La experiencia acumulada del personal técnico y la constante actualización en normas internacionales han permitido diseñar soluciones específicas para cada cliente. Esto le ha permitido a GENELEC sostener un nivel de servicio comparable con empresas de mayor trayectoria internacional, generando confianza tanto en pequeños comercios como en grandes industrias.

Otro aspecto relevante es que no se presentan diferencias significativas entre sectores en cuanto a la aceptación de las soluciones. Tanto las instalaciones industriales como las comerciales reconocen el valor agregado de los diagnósticos. Esta uniformidad demuestra que la metodología aplicada es robusta y se adapta a diferentes escalas y contextos de operación.

En resumen, la efectividad de los servicios de GENELEC de Colombia S.A.S. se evidencia no solo en la alta tasa de implementación de las recomendaciones, sino también en el cumplimiento de estándares internacionales, en la confianza depositada por los clientes y en la capacidad de la organización para transformar los diagnósticos en soluciones que fortalecen la continuidad y seguridad de las operaciones eléctricas. En este sentido, las guías elaboradas no solo constituyen un respaldo metodológico para los proyectos en curso, sino que además optimizan el proceso de aprendizaje de los nuevos ingenieros que se integren a la compañía, permitiéndoles mantener la coherencia con las prácticas de trabajo confiables y ajustadas a los lineamientos normativos vigentes.

5.5. Limitaciones

Pese a los resultados positivos en términos de efectividad, es necesario considerar las limitaciones que enfrenta la prestación de estos servicios. La principal barrera identificada es de carácter económico, dado que los costos de los estudios de calidad de energía resultan elevados frente a la competencia que ofrece servicios a menor precio, aunque con un nivel técnico y metodológico considerablemente inferior.

En la Tabla 3 se presenta la clasificación de los sistemas de potencia de acuerdo con el número de transformadores, mientras que en las Tablas 2 y siguientes se detallan los costos asociados a la prestación de servicios de medición de parámetros eléctricos, inspecciones termográficas, estudios de puesta a tierra y diseños eléctricos. Estos valores varían de acuerdo con la magnitud de la instalación (pequeña, mediana o grande) y con el número de profesionales involucrados, el tiempo de ejecución y el nivel de especialización requerido.

Tabla 3. Clasificación de los clientes por su cantidad de transformadores.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Clasificación Sistema de potencia			
Transformadores		**Cantidad**	**Clasificación**
		1	**Pequeño**
		3	**Mediano**
		más de 3 hasta 7	**Grande**

Tabla 4. Costos asociados a mediciones de parámetros eléctricos.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Servicio	Clasificación	Profesionales involucrados	Dias	Valor
Medición de parámetros eléctricos	PEQUEÑO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	2	$ 1.171.842
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188

	TOTAL			$ 5.990.535
	MEDIANO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	4	$ 2.343.683
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 7.162.377
	GRANDE	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	10	$ 5.859.208
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 10.677.902

Tabla 5. Costos asociados a la inspección termográfica de una instalación.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Servicio	Clasificación	Profesionales involucrados	Dias	Valor
Termografía	PEQUEÑO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	2	$ 1.171.842
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 5.990.535
	MEDIANO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	4	$ 2.343.683
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 7.162.377
	GRANDE	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	10	$ 5.859.208
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	1	$ 909.188
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	1	$ 1.596.129
		HSE	2	$ 1.010.208
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 10.677.902

Tabla 6. Costos asociados a la inspección de tierras.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Servicio	Clasificación	Profesionales involucrados	Dias	Valor
INSPECIÓN DE TIERRAS	PEQUEÑO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	5	$ 2.929.604
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	2	$ 1.818.375
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	3	$ 1.515.313
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 10.758.719
	MEDIANO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	10	$ 5.859.208
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	2	$ 1.818.375
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	5	$ 2.525.521
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 14.698.531
	GRANDE	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	15	$ 8.788.813
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	4	$ 3.636.750
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	4	$ 2.020.417
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 18.941.406

Tabla 7. Costos asociados a estudios eléctricos (cortocircuito, coordinación de protecciones, flujo de carga y arco eléctrico) o diseños.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Servicio	Clasificación	Profesionales involucrados	Dias	Valor
DISEÑO Y ESTUDIOS	PEQUEÑO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	15	$ 8.788.813
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	5	$ 4.545.938
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	3	$ 1.515.313
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 19.345.490
	MEDIANO	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	20	$ 11.718.417
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	2	$ 1.818.375

		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	5	$ 2.525.521
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 20.557.740
	GRANDE	INGENIERO 3 (PROYECTOS)	25	$ 14.648.021
		INGENIERO 2 (GESTOR TECNICO)	4	$ 3.636.750
		INGENIERO 1 (DIRECTOR)	2	$ 3.192.258
		HSE	4	$ 2.020.417
		PERSONAL ADMINISTRATIVO	1	$ 393.981
		GERENTE ADMINISTRATIVO	1	$ 909.188
	TOTAL			$ 24.800.615

El análisis de estos costos evidencia que la realización de un estudio integral que combine mediciones de parámetros eléctricos, inspección de tierras y estudios eléctricos representa una inversión significativamente mayor que la contratación de un servicio aislado. Sin embargo, es importante señalar que esta inversión debe entenderse como un mecanismo de prevención. Estudios internacionales han demostrado que los costos derivados de una interrupción no planificada en sistemas eléctricos industriales pueden superar con facilidad los montos de inversión en diagnósticos preventivos (IEEE, 2019; U.S. Department of Energy, 2020).

Otra limitante observada se relaciona con la percepción del mercado. Mientras que algunos clientes comprenden la importancia de la calidad de la energía para la continuidad de sus procesos, otros pueden considerar el servicio como un gasto prescindible frente a otras prioridades operativas. Esta situación exige fortalecer la comunicación y sensibilización sobre los riesgos técnicos y financieros de no contar con diagnósticos especializados.

Finalmente, es importante resaltar que, si bien los costos constituyen la limitación más significativa, no deben interpretarse como una barrera insuperable. La adopción de un enfoque costo-beneficio demuestra que los servicios de GENELEC de Colombia S.A.S. representan una inversión orientada a la confiabilidad y seguridad eléctrica de las instalaciones, lo cual resulta fundamental para garantizar la competitividad de las organizaciones en el contexto actual.

5.6. Casos especiales

Se evidencia que, con base en el análisis realizado a la información suministrada por GENELEC de Colombia S.A.S., las guías establecidas permiten identificar los problemas de calidad de potencia presentes en el sector eléctrico, tanto a nivel comercial como industrial. No obstante, es pertinente destacar algunos casos particulares que, aunque no son frecuentes, pudieron ser determinados gracias a la aplicación de mediciones especializadas.

5.6.1. Caso 1: Falla en equipo secuenciador genético

Tras la remodelación del sistema eléctrico del laboratorio, se han presentado fallas en el funcionamiento del computador asociado al analizador genético serie 3500. Este equipo se encuentra conectado a la red regulada del laboratorio de secuenciación, y las anomalías detectadas han afectado la operación normal del sistema encargado de procesar muestras de ADN. La falla ocasiona reinicios inesperados del computador, lo que interrumpe la comunicación con el secuenciador genético y genera pérdida de información durante las pruebas. Como consecuencia, se producen retrasos en la entrega de resultados a los clientes finales, impactando directamente la eficiencia y confiabilidad del servicio prestado por el laboratorio.

Alcance: El alcance de las actividades y labores de ingeniería propuestas y ejecutadas por GENELEC de COLOMBIA S.A.S. para determinar la causa raíz del problema de la falla incluye:

1) Monitoreo de parámetros eléctricos de Calidad de Potencia por un periodo de 24 horas, tanto en la salida como en la entrada de la UPS trifásica de 20 kVA.

2) Monitoreo de parámetros eléctricos de Calidad de Potencia por un periodo de 24 horas, en la entrada y en la salida de la UPS monofásica de 3 kVA.

3) Servicio de inspección termográfica en los tableros eléctricos asociados a las UPS’s del laboratorio.

4) Mediciones de electricidad estática y campo magnético en el laboratorio.

5) Inspección física de las instalaciones eléctricas para establecer su cumplimiento con normas y reglamentos técnicos aplicables.

Resultados:

- **Fallas causadas por la calidad de potencia en las instalaciones eléctricas del laboratorio**

Se valida que la calidad de potencia puede ser una de las varias causas que generan la mala operación del equipo y aunque los eventos en tensión de estado estable estén debidamente suplidos por el generador de emergencia y la UPS, sin embargo, si dichos equipos no están funcionando de manera correcta y se puede producir una incorrecta operación de los equipos sensibles o apagado de los mismos. Aunque se evidencia un valor elevado de distorsión armónica en tensión a la entrada, dicha condición es corregida a la salida de la UPS de 20 kVA actualmente instalada. La UPS monofásica del tipo OFF-LINE NO protege al equipo secuenciador de manera adecuada ante eventos transitorios y problemas de calidad de potencia que se presenten en la entrada de esta UPS. Solamente da respaldo ante cortes de energía.

- **Fallas internas producidas por problemas de compatibilidad electromagnética**

Se valida esta condición, pues se evidencian diferentes condiciones a mejorar en el corto plazo, las cuales corresponden a: La forma inadecuada del tendido de los circuitos deja expuesto a problemas de compatibilidad electromagnética en los demás circuitos. El aumento de la tensión NEURO-TIERRA durante la entrada en operación de la UPS monofásica de 3 kVA, sin embargo, de acuerdo con las entrevistas realizadas los equipos vienen presentando un mal funcionamiento previo a la entrada en funcionamiento de la UPS. Las condiciones expuestas

pueden afectar el funcionamiento de los equipos del LABORATORIO de SECUENCIACIÓN por lo que deben ser atendidas en el menor tiempo posible.

Conclusiones

Se valida que la condición que afecta la operación de los equipos del LABORATORIO DE SECUENCIACIÓN corresponde a un mal funcionamiento de la UPS monofásica de 3 kVA, la cual no suple las caídas de tensión transitorias que se presentan en la red normal afectando a operación de los equipos del LABORATORIO DE SECUENCIACIÓN.

5.6.2. Caso 2: Falla en Transformador y DPS´s

Desde el inicio de operaciones de la estación de transporte de combustible ubicado en Facatativá, en el año 2008 se instaló un transformador tipo seco de 112,5 kVA, de relación 34,5 kV a 480 V, el cual tenía un sistema de protección por medio de un seccionador de tripolar con fusibles tipo HH en celda, alimentado por cable subterráneo de 15 kV XLPE, más unas cañuelas monopolares para maniobras en el poste de la acometida aérea, con sus respectivos DPS (dispositivos de Protección contra Sobretensiones).

Se reporta por parte del personal técnico de la estación de transporte de combustible que existan fallas regularmente que producían disparos de los fusibles de protección tanto en el poste como en la celda de protección, de manera indiscriminada, no siempre siendo en la misma fase. Esta situación continúo así hasta el momento en que finalmente fallo el transformador de 112,5 kVA. Adicionalmente se reporta que existió una falla que quemo los DPS del tablero de 480 V a nivel de Baja Tensión.

Se realizó la inspección del sistema eléctrico por el personal técnico del campo petrolero y se encontró que el sistema de puesta a tierra y la planta eléctrica de emergencia no se encontraban equipotencializado, se evidencio posteriormente que la tarjeta reguladora de tensión de la planta

de emergencia estaba quemada, razón por la cual se consideró que la falla de los DPS de baja tensión se debió a esta razón.

El campo petrolero tomo diferentes alternativas adecuaciones y demás sin embargo el problema fue aumentando a tal punto de llegar al daño del transformador de potencia:



Figura 22. Daño en dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS´s)

Fuente: Informe interno de GENELEC de Colombia S.A.S. (2012), documento no publicado.



Figura 23. Daño en Transformador tipo seco.

Fuente: Informe interno de GENELEC de Colombia S.A.S. (2012), documento no publicado.

El alcance de las actividades y labores de ingeniería propuestas para determinar la causa raiz de la falla incluye:

1) Monitoreo de parámetros eléctricos en la salida de baja tensión del transformador.
2) Servicio de inspección termográfica durante un periodo de cuatro (4) horas consecutivas en un mismo día hábil.
3) Evaluación del sistema de puesta a tierra en la subestación principal.
4) Verificación de la coordinación de protecciones, análisis de falla trifásica y monofásica, desde la acometida de media tensión hasta la protección principal del transformador. Protección de sobrecarga y cortocircuito.
5) Pruebas de aislamiento al transformador de 112,5 kVA.
6) Prueba de coronografía.

Resultados:

Se confirma que la mayor probabilidad para explicar los fenómenos ocurridos es la contingencia ante fenómenos de Ferroresonancia existente en el circuito eléctrico, debido a la configuración en particular por tener una acometida con transición de cambio de circuito aéreo a subterráneo en una distancia superior a la adecuada (menor a 27 metros) para el tipo de subestación utilizada.

Es decir, que si la subestación fuera de tipo intemperie o de tipo poste, no se presentarían las condiciones de Ferroresonancia que actualmente han causado las fallas de varios transformadores de distribución en 34, 5 kV.

Adicionalmente se debe tener presente que existe la probabilidad de una serie de condiciones en las instalaciones eléctricas del circuito que permiten la ocurrencia de la Ferroresonancia en las instalaciones del transformador de 112.5 kVA.

Conclusiones

Una vez finalizado el análisis para explicar las fallas presentadas en el sistema eléctrico, se procede a exponer las acciones a tomar en diferentes periodos de tiempo, las cuales mitigaran

al mínimo las condiciones y a su vez prevendrán los problemas potenciales que puedan ocurrir entre ellas realizar el cambio de seccionadores monofásicos por elementos de corte trifásicos como lo puede ser un reconectador, adicionalmente realizar la instalación de un equipo que permita identificar ausencia de fase y se genere alarma o disparo de alguna protección.

5.6.3. Caso 3: Falla en Operación de los equipos (Ascensores)

Desde el inicio de operaciones de los ascensores en el edificio se vienen presentado fallas en su funcionamiento afectando a los usuarios y generando pérdidas económicas y daños en equipos electrónicos y accesorios de los Ascensores. Causando principalmente bloqueo de los Ascensores, pérdidas de comunicación, avería en tarjetas electrónicas, daño de la UPS asociada a los ascensores, requiriendo repuestos mecánicos y eléctricos para reposición.

Resultados:

Se confirma que los valores de distorsiones armónicas en corriente y de desbalance en las corrientes, están bastante elevadas, por lo que se considera como una condición INCORRECTA, que requiere mayor análisis.

Adicionalmente se confirma que la compatibilidad electromagnética es la consecuencia de los problemas de calidad de potencia generados por los ascensores, que a su vez están afectando su correcta operación.

Conclusiones:

Se considera que la causa del problema en la operación de los ascensores está relacionada directamente con la elevada distorsión de corrientes armónicas (de tercero, quinto y séptimo armónico) que introducen los mismos ASCENSORES para su operación.

Esta elevada distorsión en corriente la producen los equipos NO LINEALES, tales como los variadores de velocidad utilizados para el control y mando de los motores eléctricos de los ascensores.

También se concluye que existe un elevado desbalance de corrientes que se presenta tanto en las acometidas de los ascensores, como en el tablero de servicios comunes y en la acometida del transformador.

Esta situación en principio debería ser corregida por el transformador de alimentación de 10 kVA que se tiene instalado para el control y mando de los ascensores, sin embargo, NO fue posible verificar las especificaciones detalladas de estos transformadores, por la restricción de acceso que pusieron los funcionarios de la empresa encargada de los ascensores. Ya que si tienen configuración DELTA – ESTRELLA (D-Y) deberían corregir los desbalances presentes en el control y mando de los ascensores.

Como resultado de la generación de estas elevadas corrientes armónicas producidas por los ascensores, se concluye que se está presentando un problema de compatibilidad electromagnética, que es la que está causando la gran mayoría de las fallas en los equipos averiados y en las paradas aleatorias de los ascensores.

6. Conclusiones

- El análisis de la información recopilada durante más de diez años de experiencia de la empresa GENELEC de Colombia S.A.S. permitió identificar que los problemas de calidad de energía no son exclusivos del sector industrial, sino que también afectan de manera significativa a los sectores comercial y de servicios, generando impactos técnicos, económicos y operativos, esta condición se presenta dado que las instalaciones comerciales también cuentan con sistemas de potencia robustos que por lo tanto tienen la necesidad de ser monitoreados.

- La implementación de metodologías integrales que combinan la medición de parámetros eléctricos, la termografía y la verificación de sistemas de puesta a tierra constituye una estrategia efectiva para diagnosticar y solucionar problemas de calidad de energía, garantizando resultados confiables y generando soluciones específicas para problemas donde se tiene mala operación de equipos.
- Los resultados evidenciaron que más del 90 % de los clientes implementaron las recomendaciones propuestas, lo que refleja la confianza en los diagnósticos y confirma la efectividad de la metodología aplicada por la empresa. Este hecho respalda la pertinencia de formalizar las guías elaboradas como herramientas de consulta tanto para ingenieros como para estudiantes de la disciplina.
- Se identificaron limitaciones principalmente asociadas a los costos de los estudios especializados, Sin embargo, el beneficio demuestra que dichas inversiones resultan justificadas al prevenir pérdidas económicas mucho mayores derivadas de interrupciones o fallas en las instalaciones eléctricas.
- Los casos especiales analizados (fallas en secuenciadores genéticos, transformadores, DPS y ascensores) evidencian que la aplicación de diagnósticos especializados permite detectar condiciones atípicas que no serían identificadas mediante mediciones convencionales. Esto resalta la importancia de contar con metodologías estructuradas, equipos de clase A y personal especializado para garantizar diagnósticos precisos.
- Finalmente, el desarrollo de esta guía metodológica aporta no solo a la solución de problemas puntuales de los clientes de la empresa, sino que también representa un recurso académico y práctico para el fortalecimiento de la formación en ingeniería eléctrica, al documentar experiencias reales aplicables a distintos contextos, adicionalmente se evidencia que el termino de calidad de energía se tiene muy ligado a mediciones de parámetros eléctricos, sin embargo para determinar problemas de

calidad de energía se puede realizar mediante diferentes herramientas que aseguran un adecuado estudio de calidad de energía.

5. Referencias Bibliográficas

ABB. (s. f.). M4M 20 network analyzer [Página de producto]. ABB. https://new.abb.com/products/2CSG251151R4051/m4m-20

Alawasa, K. M., & Al-Badi, A. H. (2024). Investigation and analysis of the power quality in an academic institution's electrical distribution system. Energies, 17(16), 3998. https://doi.org/10.3390/en17163998

Caicedo, J. E., Zyabkina, O., Rivas, E., & Meyer, J. (2024). Flexible simulation platform for generating realistic disturbances in voltage waveforms. Applied Sciences, 14(23), 11031. https://doi.org/10.3390/app142311031

Chauvin Arnoux Energy. (2020, diciembre). Clase A: valoración incuestionable de la calidad de la electricidad – MAP Compact (Ed. 5). Chauvin Arnoux Energy. https://www.chauvin-arnoux-energy.com/sites/default/files/HLHBSMJR.PDF

Dranetz. (2025). Dran-SET [Software de análisis de calidad de energía] [Captura de pantalla]. Dranetz. https://www.dranetz.com

Flechas, J. (2024). Presentación sobre calidad de la energía. GENELEC de Colombia S.A.S. [Presentación no publicada].

Fluke Corporation. (s. f.). Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía Serie 1770. Fluke Corporation. https://www.fluke.com/es-co/product/quality-analysers/1770-series

General Electric Company. (1925). Flicker sensitivity of the human eye. Electrical World, 86(8), 371–375.

GENELEC de Colombia S.A.S. (2012). Informe de búsqueda de falla – Cliente industrial. Documento interno no publicado.

GENELEC de Colombia S.A.S. (2024). Informe de análisis de riesgos por arco eléctrico – Tablero TDG-PC-220V. Documento interno no publicado.

GENELEC de Colombia S.A.S. (2024). Informe de inspección termográfica – Cliente industrial. Documento interno no publicado.

GFUVE Electronics. (s. f.). GF438II three phase power quality analyzer with 6000 A current probe. GFUVE Electronics. https://www.gfuve.com/power-quality-analyzer/three-phase-power-quality-analyzer-with-6000A-current-probe.html

Helmenstine, A. M. (2025, junio 9). Scientific method flow chart. ThoughtCo. https://www.thoughtco.com/scientific-method-flow-chart-609104

Hioki E.E. Corporation. (s. f.). Power Quality Analyzer PQ3198. Hioki. https://www.hioki.com/us-es/products/pqa/power-quality/id_6735

ICONTEC. (2008). NTC 5001: Calidad de la potencia eléctrica. Parámetros de la calidad de la potencia, límites de variación y procedimientos de medición. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2007). IEEE Std 142-2007: IEEE green book – Grounding of industrial and commercial power systems. IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2007.4419505

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2013). IEEE Std 80-2013: IEEE guide for safety in AC substation grounding. IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2013.6649374

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019). IEEE Std 1159-2019: Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8758460

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1995). IEEE Std 446-1995: IEEE recommended practice for emergency and standby power systems for industrial and commercial applications (Orange Book). IEEE.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2005). IEEE Std 1100-2005: IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment (Emerald Book). IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2005.96341

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019). IEEE Std 3006.7-2019: Recommended practice for determining the reliability of industrial and commercial power systems. IEEE. https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8796420

International Electrotechnical Commission. (2015). IEC 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods (Ed. 3.0). IEC. https://webstore.iec.ch/publication/22276

Llamas Terrés, A. R., De los Reyes, J. A., & Báez, J. (s. f.). Comparación de filtros sintonizados y desintonizados. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/267803628_Comparacion_de_filtros_sintonizados_y_desintonizados

Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE 2024. Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

Quijije Sánchez, C. (2012). Estudio del fenómeno de ferroresonancia en transformadores (Trabajo de titulación de Ingeniería Técnica Industrial en Electricidad). Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Schneider Electric. (s. f.). PowerLogic ION7400 Power Quality Meters. Schneider Electric. https://www.se.com/es/es/product-range/63502-powerlogic-ion7400-power-quality-meters/

Shabbir, N., Kütt, L., Jarkovoi, M., Iqbal, M. N., Rassõlkin, A., & Daniel, K. (2021). An overview of measurement standards for power quality. Agronomy Research, 19(S1), 1104–1114. https://doi.org/10.15159/AR.21.074

U.S. Department of Energy. (2020). Grid resilience and reliability report. Office of Electricity, U.S. Department of Energy. https://www.energy.gov/oe/articles/grid-resilience-and-reliability-report

Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., & Bulnes, F. G. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. Sensors, 14(7), 12305–12348. https://doi.org/10.3390/s140712305

Villalobos, M. A. M. (2010). Compensadores estáticos de potencia: Visión general y aplicaciones. Redalyc. https://www.redalyc.org/pdf/5537/553756877001.pdf

Zheng, J., Chen, R., Zhang, Z., Wei, X., & Xue, J. (2024). Analysis and comprehensive assessment method of power quality in advanced distribution networks based on complex network theory. Frontiers in Energy Research, 12, 1501006. https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1501006

ANEXO A:

Tabla Resumen de Análisis de la información



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Tabla 8. Resumen del análisis realizado con la información de la empresa GENELEC DE COLOMBIA S.A.S.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Clasificación	Tipo de Cliente	Año	Ubicación	Tipo de necesidad	Alcance	Decisión cliente	Estado
Comercial	Banco	2015	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Centro comercial	2015	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Clínica	2015	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Centro comercial	2015	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Banco	2015	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2015	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Centro comercial	2015	Chía	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Universidad	2015	Cajicá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Centro comercial	2016	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Conjunto residencial	2016	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones y Actualización de unifilar	Aplico la solución	100%
Comercial	Restaurante	2016	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Acería	2016	Boyacá	Cargabilidad	Mediciones y Actualización de unifilar	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2016	Facatativá	Tierras	Inspección de Tierras	Aplico la solución	100%
Industria	cerámica	2016	Sopo	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%

Industria	Farmacéutico	2016	Facatativá	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Complejo acuático	2016	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Gases industriales	2018	Sibaté	Tierras	Inspección de Tierras	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2018	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Plásticos	2018	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2018	Bogotá	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Industria	Vidrio	2018	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Telefonía	2018	Bogotá	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Colegio	2018	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Acería	2018	Boyacá	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2018	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones y Actualización de unifilar	Aplico la solución	100%
Comercial	Farmacéutico	2019	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Colegio	2019	Bogotá	Disparo de protecciones	Mediciones y Actualización de unifilar	Aplico la solución	100%
Comercial	Iglesia	2019	Bogotá	Disparo de protecciones	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2019	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2019	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Plásticos	2019	Bogotá	Problemas de protecciones	Mediciones	No aplico la solución	50%
Industria	Telas	2019	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Desconoce	50%

Industria	Minera	2019	Ubaté	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Producción de Tubos	2019	Facatativá	Daño de equipos	Mediciones	Desconoce	50%
Industria	Fabricación de Autopartes	2019	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	70%
Industria	Alimentos	2019	Bogotá	Daño de equipos	Inspección de Tierras	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2019	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Minera	2019	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2019	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio integral	Desconoce	50%
Comercial	Universidad	2019	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2020	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2020	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Industria	Industrita de Cartón	2020	Bogotá	Mala operación de equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2020	Bogotá	Consumo de Energía elevado	Mediciones y Actualización de unifilar	Aplico la solución	100%
Industria	Envases y tapas	2021	Bogotá	Elevada distorsión armónica	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Clínica	2021	Bogotá	Tierras	Inspección de Tierras	Desconoce	100%
Industria	Acería	2021	Boyacá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Plásticos	2021	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	No Aplico la solución	50%
Industria	Maderera	2021	Gachancipá	Mala operación de Equipos	Mediciones	No aplico la solución	50%
Comercial	Universidad	2021	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%

Comercial	Universidad	2021	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de moneda	2022	Bogotá	Daño de equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Industria	Farmacéutico	2022	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2022	Bogotá	Tierras	Inspección de tierras	No aplico la solución	0%
Industria	Fabricación de Autopartes	2022	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2022	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de maletas	2022	Mosquera	Mala operación de Equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de cemento	2023	Saldaña	Mala operación de Equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de cemento	2023	Villavicencio	Daño de equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Conjunto residencial	2023	Bogotá	Mala operación de Equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Industria	Gases industriales	2023	Boyacá	Mala operación de Equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Túnel	2023	Santander	Daño de equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%
Comercial	Centro comercial	2024	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Plásticos	2024	Bogotá	Afectación del sistema solar	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Textil	2025	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de cemento	2025	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de envases	2025	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Ceramica	2025	Bogotá	Cargabilidad	Mediciones	Aplico la solución	100%

Comercial	Conjunto residencial	2025	Bogotá	Mala operación de equipos	Estudio integral	Aplico la solución	100%
Industria	Fabricación de Autopartes	2025	Bogotá	Afectación del sistema solar	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Alimentos	2025	Bogotá	Multas por reactiva	Mediciones	Aplico la solución	100%
Industria	Plásticos	2025	Bogotá	Mala operación de equipos	Mediciones	Aplico la solución	100%
Comercial	Edificio	2025	Bogotá	Mala operación de equipos	Estudio Integral	Aplico la solución	100%

ANEXO B:

Equipos Usados Para Mediciones de Parámetros eléctricos



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Analizadores de Energía

De acuerdo con la International Electrotechnical Commission (2015), la norma IEC 61000-4-30 establece los métodos de medición de la calidad de la energía:

"This part of IEC 61000-4 defines the methods for measurement and interpretation of results for power quality parameters in a.c. power supply systems with a declared fundamental frequency of 50 Hz or 60 Hz. Measurement methods are described for each relevant parameter in terms that give reliable and repeatable results, regardless of the method's implementation. This standard addresses measurement methods for in-situ measurements. Measurement of parameters covered by this standard is limited to conducted phenomena in power systems. The power quality parameters considered in this standard are power frequency, magnitude of the supply voltage, flicker, supply voltage dips and swells, voltage interruptions, transient voltages, supply voltage unbalance, voltage harmonics and interharmonics, mains signalling on the supply voltage, rapid voltage changes, and current measurements. Emissions in the 2 kHz to 150 kHz range are considered in Annex C (informative), and over- and underdeviations are considered in Annex D (informative). Depending on the purpose of the measurement, all or a subset of the phenomena on this list may be measured."
(International Electrotechnical Commission [IEC], 2015)

En resumen, esta norma define los métodos de medición e interpretación de resultados para los parámetros de calidad de la energía en sistemas de suministro de corriente alterna con frecuencia fundamental de 50 Hz o 60 Hz. Busca garantizar resultados confiables y repetibles, independientemente del método de implementación, e incluye la medición de parámetros como frecuencia, magnitud del voltaje, parpadeo (flicker), caídas y aumentos de tensión, interrupciones, transitorios, desbalance de voltaje, armónicos e interarmónicos, señales en la red, cambios rápidos de tensión y mediciones de corriente.

Un analizador de energía es un equipo que permite analizar, monitorear y registrar parámetros eléctricos tales como: voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, armónicos, frecuencia, entre otras variables. Estos instrumentos son ampliamente utilizados en la industria para realizar diagnósticos de las redes eléctricas y evaluar la calidad de la energía en los sistemas.

Clasificación de los analizadores de energía

Según su instalación y movilidad, estos equipos se clasifican en:

- **Fijos:** Permanecen instalados de forma continua en tableros eléctricos o sistemas de supervisión, permitiendo el monitoreo en tiempo real.
- **Portátiles:** Son de fácil transporte, utilizados para trabajos de campo y cuentan con capacidad de almacenamiento de registros.
- **Registradores de eventos:** Equipos diseñados para registrar fenómenos eléctricos específicos, como transitorios o disturbios de corta duración.
- **Según su clase:** Una clasificación de suma importancia es según su clase, lo cual se detalla en la tabla 4:

Tabla 9. Comparación entre equipos Clase A y Clases S o B.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Comparación entre CLASE A y CLASE S o B		
	CLASE A	**CLASE S o B**
USO	Se usa para estudios de calidad de la energía	Monitoreo Operativo y supervisión de instalaciones
CARACTERÍSTICAS	Máxima exactitud y repetibilidad en las mediciones. Registro con alta fidelidad tensiones, corrientes, flicker, huecos, armónicos, etc.	Usado usualmente para control, de menor precisión que la clase A. Registra ciertos parámetros, por ejemplo, en tema de transitorios se queda corto pues en

	Equipo certificado para realizar auditorías si lo requiere.	algunas ocasiones no registra transitorios cortos.
APLICACIÓN	Robusto, usado para Laboratorios por su precisión, compañías eléctricas, universidades y certificaciones.	Usualmente se usa para gestionar energía, mantenimientos preventivos y análisis de energía.

- **Según la marca:** Según la marca que desee el cliente y según se requiera en el proyecto, para esto se tiene gran variedad, a continuación, anexamos imágenes de referencia de algunos equipos usados hoy en la industria



Figura 24. Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía Serie 1770.

Fuente: Fuente: Fluke Corporation. (s. f.). Analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía Serie 1770. Fluke Corporation. https://www.fluke.com/es-co/product/quality-analysers/1770-series.



Figura 25. Power Logic ION7400 Power Quality.

Fuente: Schneider Electric. (s. f.). PowerLogic ION7400 Power Quality Meters. Recuperado de https://www.se.com/us/en/product-range/63502-powerlogic-ion7400-series/.



Figura 26. Power Quality Analyzer PQ3198.

Fuente: Hioki E.E. Corporation. (s. f.). Power Quality Analyzer PQ3198. Recuperado de https://www.hioki.com/us-es/products/pqa/power-quality/id_6735.



Figura 27. Analizador de red MAP Compact, Clase A.

Fuente: Chauvin Arnoux Energy. (2020, diciembre). Clase A: valoración incuestionable de la calidad de la electricidad – MAP Compact. Recuperado de https://www.chauvin-arnoux-energy.com/sites/default/files/HLHBSMJR.PDF.



Figura 28. Analizador de calidad de energía GF438II.

Fuente: GFUVE Electronics. (s. f.). GF438II three phase power quality analyzer with 6000 A current probe. Recuperado de https://www.gfuve.com/power-quality-analyzer/three-phase-power-quality-analyzer-with-6000A-current-probe.html.

Seguridad para las mediciones

Cabe resaltar que aparte de Las mediciones en circuitos de alta energía, por ejemplo, en la etapa de alimentación principal de una instalación, requieren un alto grado de seguridad. Los aparatos de medición usados y los accesorios deben incluir medidas efectivas de seguridad contra elevadas corrientes de cortocircuito y las sobretensiones que se puedan presentar.

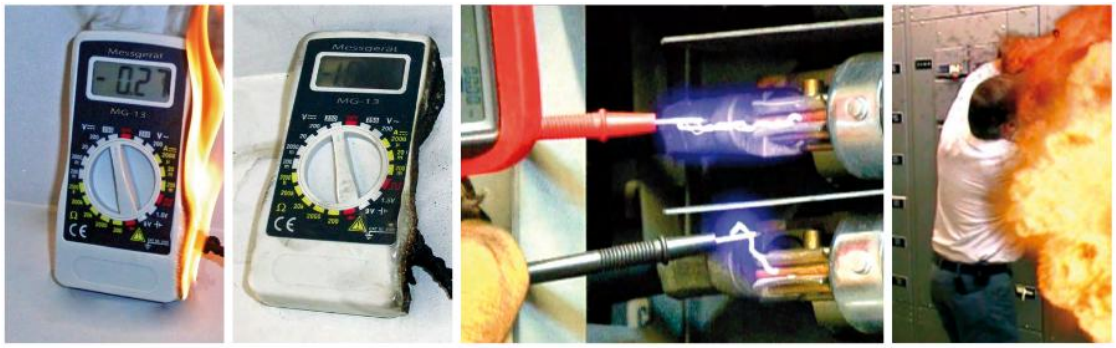


Figura 29. Cortocircuito provocado al realizar una medición.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

A fin de simplificar la clasificación del equipo de medición que se usa en cada caso, la norma IEC 61010 ha establecido varias categorías que fijan en qué lugar del suministro de red puede trabajarse y define los correspondientes requisitos para la categoría respectiva.

Como regla general, se aplica lo siguiente: Cuanto mayor es la CAT, mayores son los requisitos de seguridad del producto.

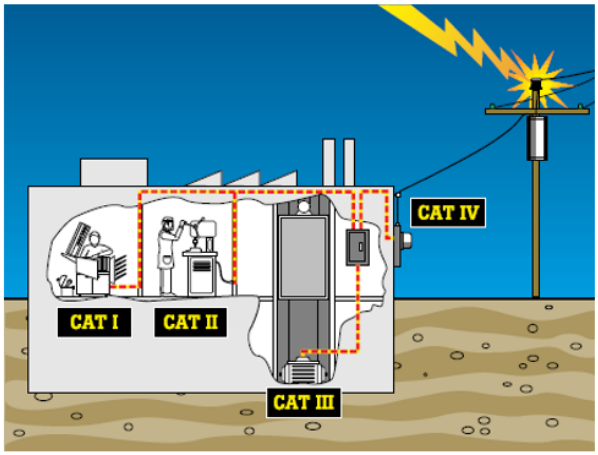


Figura 30. Categorías definidas por la normatividad.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

A continuación, se resumen las categorías de los equipos con su respectivo ejemplo de aplicación:

Categoría I (CAT I): Válida para objetos de medición no conectados al suministro de red. Aquí o bien no aparece ninguna sobretensión o bien aparecen sobretensiones muy específicas que, sin embargo, no han sido establecidas en la coordinación de aislamientos.



Figura 31. Ejemplo de medición en vehículos.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

Categoría II (CAT II):

Es válida para mediciones en equipos conectados a la red o que reciben suministro de red pero que no son parte de la instalación.



Figura 32. Ejemplo de medición en circuitos electrónicos.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

Categoría III (CAT III): Es válida para mediciones dentro de instalaciones domiciliarias o de edificios.



Figura 33. Ejemplo de medición en cajas de fusibles.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

Categoría IV (CAT IV):

Válida para mediciones en la fuente de la instalación (punto de alimentación).



Figura 34. Ejemplo de medición en barraje de baja tensión.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de seguridad eléctrica del autor / GENELEC.

En la figura 33 se muestra un ejemplo de referencia en la aplicación de las categorías mencionadas previamente:

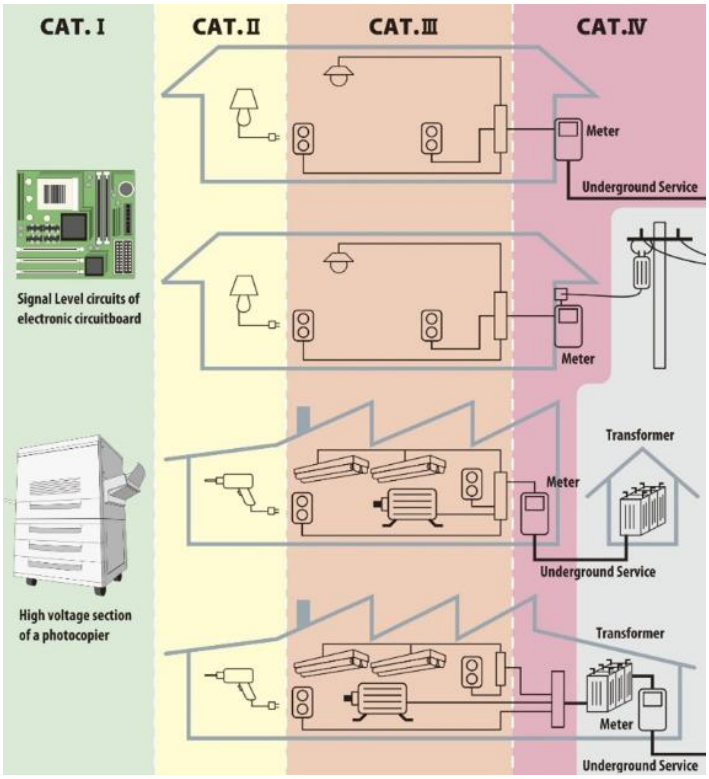


Figura 35. Diagrama de categorías de medición CAT I, CAT II, CAT III y CAT IV según IEC.

Fuente: Teledyne FLIR. (2023). What do CAT ratings mean? Recuperado de https://www.flir.com/discover/professional-tools/what-do-cat-ratings-mean/

Anexo C:

Guía para el análisis de mediciones para necesidades específicas de medición de carga, solución de reactivos o validación de parámetros eléctricos en el punto de conexión común



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Tabla de Contenido Anexo

1.Objetivo……77

2. Alcance…….....77

3. Seguridad Industrial…….77

4. Actividades……79

4.1. Lineamientos Generales de la Conexión…….79

4.2. Necesidad de la Medición……..80

4.2.1. Problemas de Reactiva en Exceso……80

4.2.2. Medición de Carga……82

4.2.3. Reclamo Ante el Operador de Red……83

4.3. Conexión del Equipo……...83

4.4. Falla en los Equipos……86

4.5. Programación del Equipo……87

4.6. Análisis de la Información y Elaboración del Informe…….94

4.6.1. Potencia Aparente y nivel de carga……94

4.6.2. Potencia y Energía Activa……95

4.6.3. Factor de potencia y potencia reactiva……..96

4.6.4. Tensión en estado estable y transitorio……..98

1. Objetivo

El presente procedimiento tiene como finalidad establecer una metodología clara y estandarizada para la realización de estudios de calidad de la energía, atendiendo a los requerimientos específicos de cada cliente. Dichos estudios permiten, entre otros aspectos, determinar la cargabilidad de una instalación eléctrica o de un punto particular, así como evaluar la calidad del servicio mediante el análisis de los parámetros eléctricos que llegan al punto de conexión. Con ello se busca garantizar mediciones confiables, que sirvan de base para la toma de decisiones técnicas y administrativas orientadas al mejoramiento de la operación y seguridad de las instalaciones.

2. Alcance

El alcance de este procedimiento aplica a ingenieros, tecnólogos y técnicos electricistas encargado del desarrollo de actividades relacionadas contratistas y encargados del desarrollo de la actividad.

3. Seguridad Industrial

Cabe resaltar que es un factor de suma importancia previo a la realización de un estudio de calidad de energía establecer los riesgos con sus respectivos controles dependiendo del tipo de equipo a usar niveles de tensión y equipos a medir, cabe resaltar que las instalaciones eléctricas deberían contar con etiquetas de arco eléctrico como la que se muestra en la figura 36.



Figura 36. Ejemplo de etiqueta de arco eléctrico.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Informe técnico de análisis de riesgos por arco eléctrico [Estudio de Arco eléctrico cliente industrial].

En la figura 37 se muestran las imágenes de referencia asociada a los elementos de protecccción personal con los cuales se debe contar a la hora de realizar la conexión de analizadores de redes.



Figura 37.Trajes ignífugos para la conexión de analizadores de redes.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Informe técnico de análisis de riesgos por arco eléctrico [Estudio de Arco eléctrico cliente industrial].

4. Actividades

A continuación, se detallan las actividades para la correcta ejecución de una medición de parámetros eléctricos incluyendo desde las actividades de conexión de equipos hasta el análisis de la información.

4.1. Lineamientos generales de la conexión

A. Antes de comenzar la conexión de cualquier equipo de medida, el encargado de la conexión debe verificar el estado de las instalaciones del cliente, asegurando la seguridad para el personal e integridad de las instalaciones durante la ejecución del servicio.
B. Debe asegurarse que un representante del cliente se encuentra presente al momento de intervenir las instalaciones, de preferencia llevar una cámara termográfica para validar que no existen elevaciones de temperatura en el punto de conexión.

C. En caso de que las condiciones de las instalaciones representen algún grado de riesgo en la ejecución de los trabajos contratados, se debe manifestar esta limitación al cliente o su representante.
D. No trabajar solo, el equipo es fácil de usar, pero se puede llegar a necesitar ayuda en caso de choque eléctrico.
E. Determinar claramente las condiciones de operación del equipo a medir. (Ejemplo: Tensión, potencia nominal y tipo de conexión). Se recomienda consultar al encargado del proyecto, si tiene alguna duda al respecto y si se cuenta con un diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas
F. Llevar consigo herramientas menores como destornilladores, pinzas y guantes para acceder a tableros y celdas de distribución.

4.2. Necesidad de la medición

Cabe resaltar que con base en el análisis de la información realizada con la cual cuenta la empresa GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. las necesidades por las cuales se busca un análisis de calidad de energía o una medición de parámetros eléctricos corresponden a las siguientes necesidades:

- ✓ Problemas de reactiva en exceso
- ✓ Medición de carga
- ✓ Reclamo ante el operador de red por fallas en la operación de los equipos

Entre otras necesidades que se indicaron en la sección correspondiente al análisis de la información proporcionada por la empresa GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. Por lo tanto, a continuación, se realizan algunas consideraciones con base en las necesidades indicadas previamente

4.2.1. Problemas de reactiva en exceso

Cuando se presentan problemas de reactiva en exceso siempre se piensa en el uso de una compensación global que por lo general corresponde a un banco de condensadores sin embargo se desconoce que existe la opción de compensación individual que corresponde a la medición de las cargas más representativas de la instalación eléctrica de tal manera que se dimensione una compensación individual para las cargas, en la figura 38 se presenta el diagrama asociado a la compensación individual de potencia reactiva:

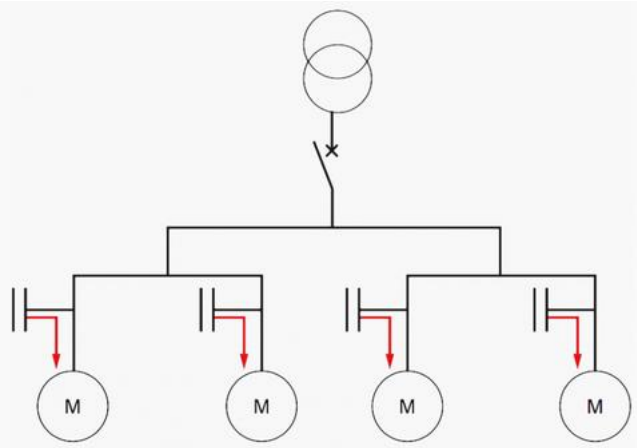


Figura 38.Compensación individual de potencia reactiva.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Informe técnico de análisis de riesgos por arco eléctrico [Estudio de compensación de potencia reactiva].

La principal ventaja de este tipo de compensación es la disminución de las corrientes transportadas en los cables y los barrajes localizadas aguas arriba de la carga, lo que reduce las perdidas por calor en los cables (kWh) y las caídas de tensión en las barras. Este es el tipo de compensación que ofrece las mayores ventajas, pero al requerir banco de condensadores por cada carga principal puede resultar más costosa.

También se puede implementar un único banco de condensadores como un sistema de compensación global. Con la compensación reactiva global se logra liberar capacidad y disminuir perdidas a nivel del transformador principal sin embargo no se disminuyen las

corrientes y perdidas por calor en los cables alimentadores de las cargas. Esta solución resultará más económica que una solución de compensación individual como la mencionada en anteriores párrafos.

Por lo tanto, cuando se realicen mediciones para entregar una solución por problemas de reactiva en exceso se recomienda:

1. Realizar mediciones en la acometida principal de la instalación eléctrica y en las cargas de mayor consumo de las instalaciones eléctricas, de ser posible realizar estas mediciones de manera simultánea.
2. Realizar mediciones del banco de condensadores o compensación actual instalada en las instalaciones bajo inspección con el objetivo de medir el aporte y el comportamiento de dicha compensación ante las variaciones de la carga.
3. Realizar inspección detallada de la compensación, si es un banco de condensadores se debe realizar inspección de cada uno de los pasos del banco con todos sus componentes como lo son condensadores, contactores e interruptores, adicionalmente se debe validar el correcto funcionamiento del relé que controla la compensación existente en la instalación eléctrica.

4.2.2. Medición de carga

En ocasiones el sector industrial tiene la necesidad de realizar nuevas inversiones y ampliaciones por lo tanto se ven en la necesidad de ingresar nuevas cargas en su sistema eléctrico de potencia, es por eso por lo que se ven en la necesidad de determinar la carga para tomar decesiones frente a sus proyectos

Por lo tanto, cuando se realicen mediciones para entregar una solución por problemas de medición de carga se recomienda:

1. Validar el diagrama unifilar de las instalaciones eléctricas de tal manera que se logre realizar las mediciones necesarias para determinar los niveles de carga de las instalaciones eléctricas esto es porque los clientes industriales tienen como característica tener varios transformadores de potencia conectados en su primario en media tensión para suplir la necesidad de la carga, por otro lado se puede presentar que se cuente con un solo transformador de potencia con primario y secundario en media tensión que alimenta diferentes transformadores por lo tanto se pueden realizar mediciones en media tensión a través del grupo de media de las instalaciones eléctricas a medir.

4.2.3. Reclamo ante el operador de red

El creciente uso de la electrónica de potencia en la industria a su vez genera que lo equipos o maquinarias sean más sensibles ante eventos transitorios así mismos los cortes de energía afectan en gran media el funcionamiento de las máquinas y se generan desperdicios que a su vez se ven reflejados en pérdidas económicas es por ello por lo que se realizan mediciones en el punto de conexión común.

Por lo tanto, cuando se realicen mediciones para validar el comportamiento de parámetros eléctricos en el punto de conexión común se recomienda:

1. Validar si el punto de conexión común se encuentra en media o baja tensión pues dependiendo del punto de conexión la configuración, las pinzas de corriente y el equipo a usar puede varias pues para este tipo de mediciones se recomienda que se realicen mediciones

4.3. Conexión del Equipo

A. Verificar los elementos energizados en el lugar de la medida. Identificar en sitio de trabajo el nivel de tensión presente y planificar las labores de conexión. Tener claro el o los puntos de medición, cabe resaltar que los equipos se pueden instalar en baja

tensión, pero también existe la posibilidad de realizar la instalación de analizadores de redes a través de grupos de medida.

B. Determinar el tipo de conexión y el orden de las fases, neutro y tierra del equipo o elemento a medir y validar que el analizador cuente con todos los elementos del equipo:



Figura 39. Analizador de redes marca Dranetz.

Fuente: GENELEC de Colombia. (2024). Informe técnico de análisis de riesgos por arco eléctrico [Estudio de compensación de potencia reactiva].

C. La instalación de las pinzas de corriente debe realizarse conforme a las entradas disponibles en el analizador, conectando en primer lugar el extremo correspondiente al equipo y posteriormente fijando las pinzas en los barrajes o conductores. Los diagramas de conexión, ajustados a las distintas configuraciones del sistema, se encuentran en el manual del equipo, el cual debe ser consultado y comprendido antes de iniciar el proceso de medición. Se recomienda efectuar las conexiones en fase-neutro, ya que esta disposición facilita el análisis individual de cada fase. En contraste, las mediciones en fase-fase tienden a complejizar la interpretación y dificultan la evaluación de los datos obtenidos.

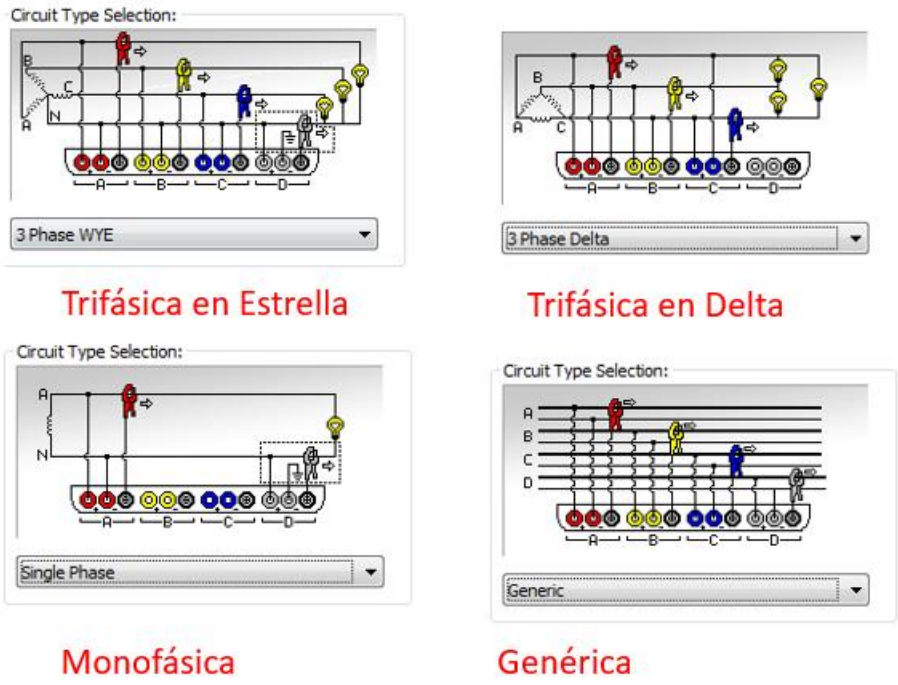


Figura 40. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

D. Instalar las puntas de tensión en el analizador y luego realizar la conexión sobre los barrajes o conductores de la carga. El orden de las pinzas de corriente y las puntas de tensión en el analizador deben ser las mismas, cabe resaltar que los primeros cables que se deben conectar corresponden a los de tierra en caso de fallas en la conexión del analizador se tiene un cable conectado al sistema de puesta a tierra para despejar la falla.

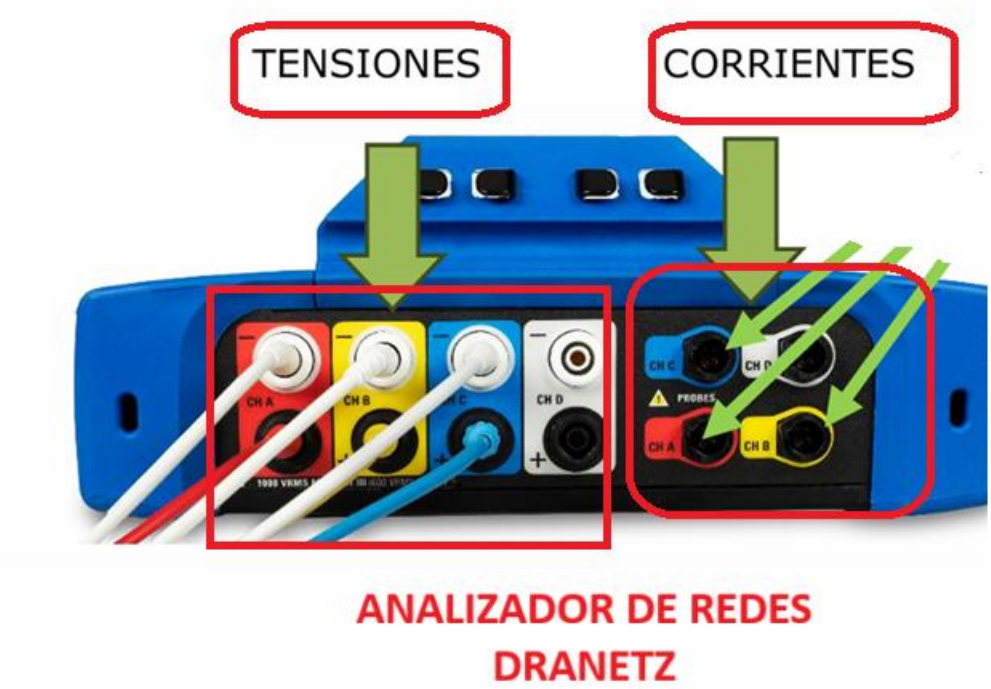


Figura 41. Entradas de tensión y corriente analizador de calidad de energía Dranetz.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

- Asegúrese de que la alimentación y las condiciones en las que queda el equipo instalado sean lo más seguras posibles.

4.4. Falla en los equipos

- Verificar el origen de las fallas y anotarlas en la columna “Estado” del Formato protocolo de captura de datos en el campo.

- En caso de que la falla sea causada por el daño interno del equipo, se debe manifestar al cliente la imposibilidad de tomar mediciones con el equipo dañado, programar una nueva medición para la realización de la nueva medida. Se debe utilizar un equipo de las mismas características del equipo dañado, bien sea que exista otro en las oficinas de GENELEC, o bien sea a través de equipo de un proveedor

4.5. Programación del equipo

Proceder a la programación de los equipos en este caso se aplicará la configuración de los analizadores marca DRANETZ los cuales corresponden a medidores clase A (para más información a la clase de los analizadores validar el anexo B del documento)

A. Una vez conectado el equipo se procede con la validación del rango en el cual se encuentra la pinza de corriente, es de vital importancia seleccionar el rango adecuado con el objetivo de que las pinzas no se saturen adicionalmente es de vital importancia que el led de alarma de batería baja de la batería no este encendido, si este se encuentra encendido se debe proceder con el cambio de las baterías de las pinzas de corriente.



Figura 42. Pinzas de corriente analizador de redes Dranetz.

Fuente: Elaboración propia basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

B. Mediante el software DRAN SET se puede realizar la configuración del analizador de redes donde se debe seleccionar el tipo de analizador a usar, las pinzas de corriente a usar, es decir la referencia, frecuencia nominal, tensión nominal, corriente nominal y los

factores de escala que corresponden a los factores multiplicadores que se programan si la conexión del equipo se realiza a través de un grupo de medida.

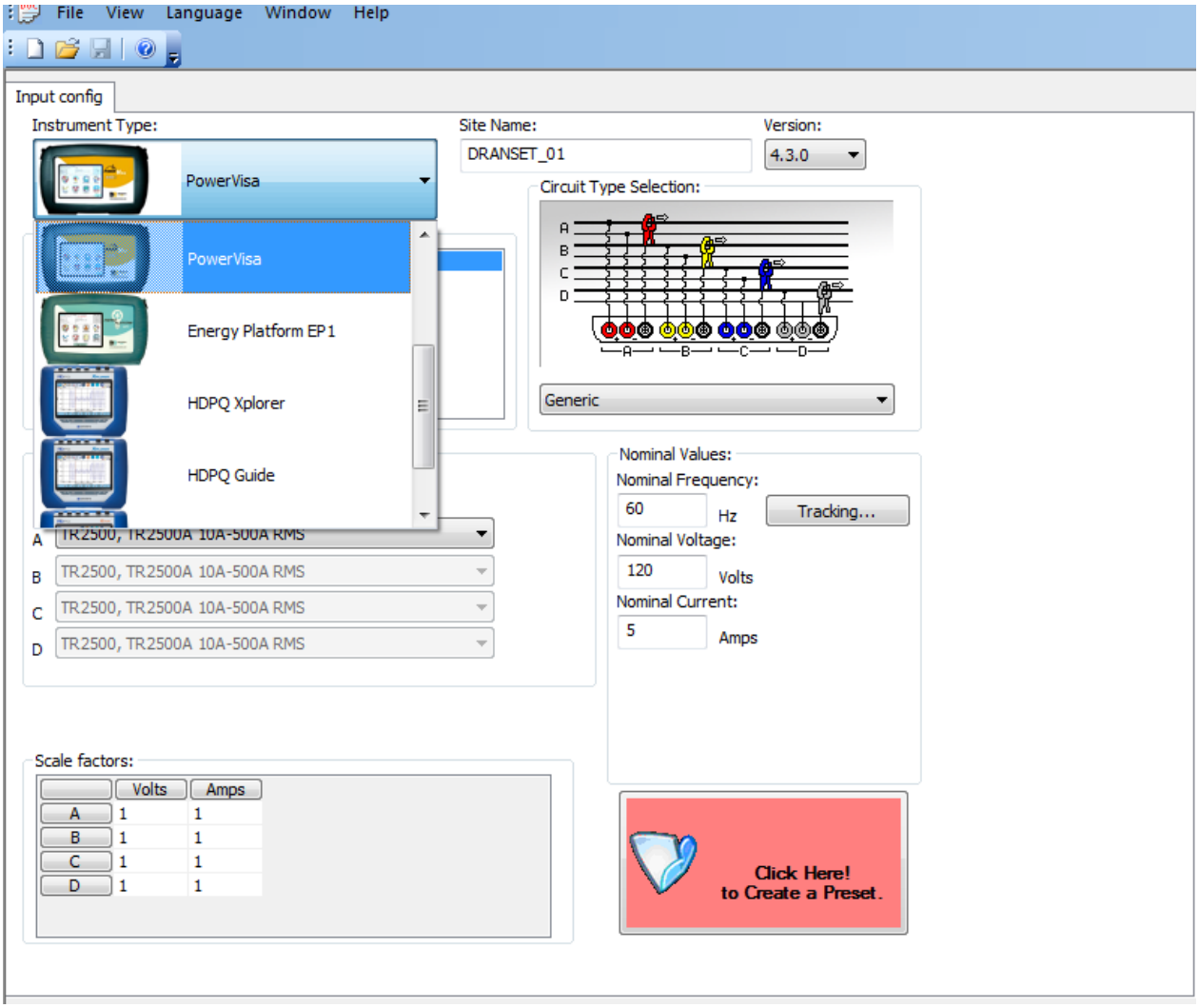


Figura 43. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).



Figura 44. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

C. Paso siguiente es proceder con la selección de la configuración adecuada según el análisis realizado previamente, sin embargo, como se había indicado previamente la configuración de preferencia es Trifásica en estrella.

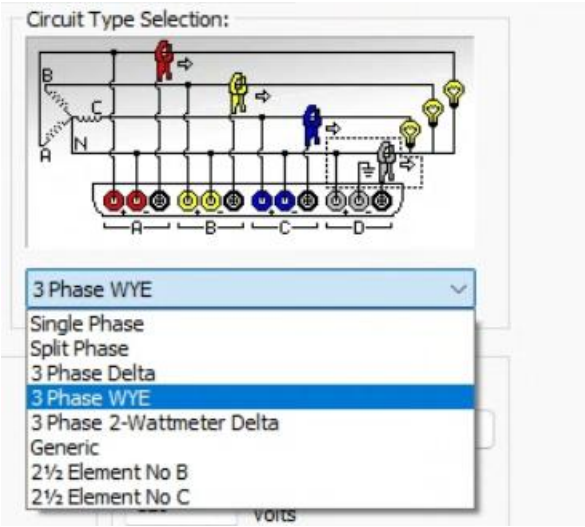


Figura 45. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

D. Se procede con habilitar los eventos en tensión y corriente de las mediciones, por defecto el analizador toma el +/- 10 % de la tensión nominal que se programe en el analizador para los eventos de corriente se deben programar y se puede programar con base en la corriente nominal del equipo a medir.

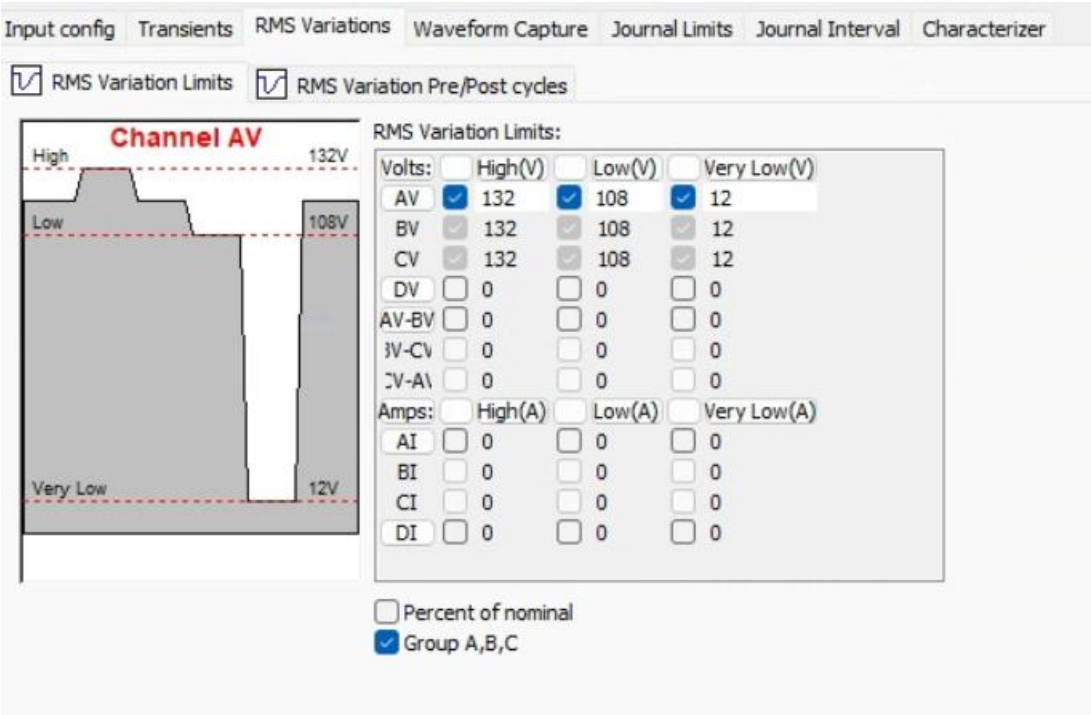


Figura 46. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

E. Para la captura de eventos se procede a configurar la captura de la forma de onda, donde por recomendación se deben seleccionar todos los canales y así lograr realizar un correcto análisis de los eventos que capture el equipo:

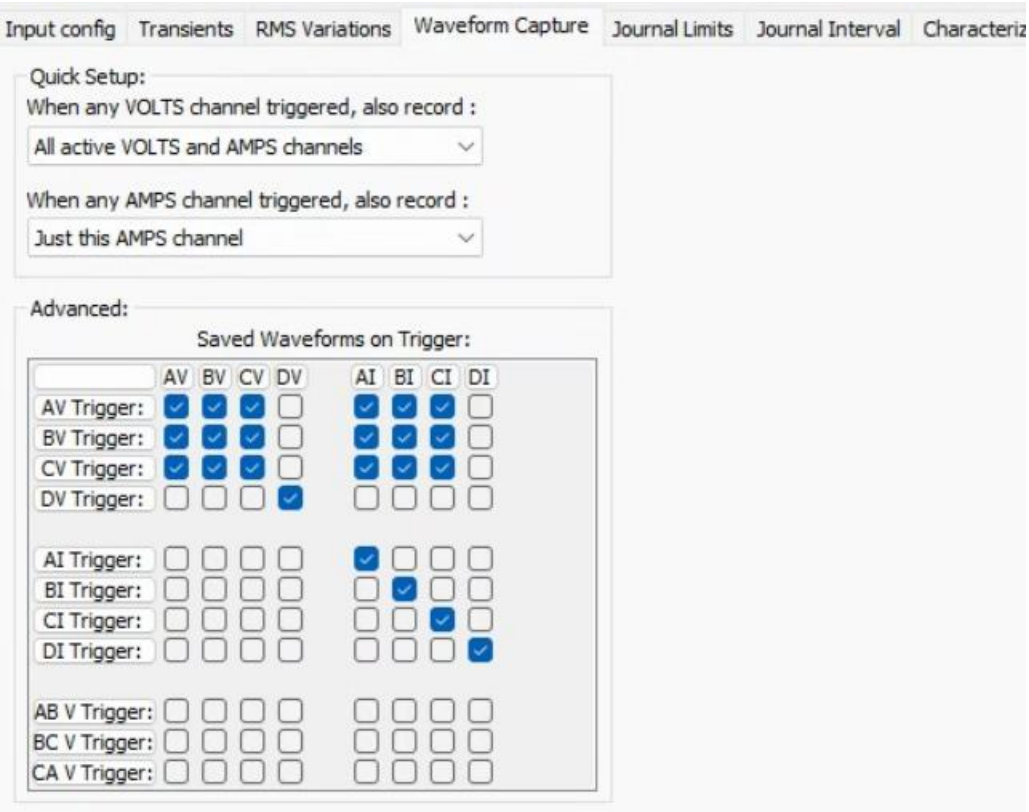


Figura 47. Configuraciones programables en el analizador de redes Dranetz.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

F. Se procede con la programación del intervalo que se desea que el equipo capture los datos, o que realice la agregación de los datos, en la tabla 1 se procede a indicar algunos intervalos de agregación con base en lo recomendado con la NTC 5001

Tabla 10. Intervalos de programación recomendados por la normatividad.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Parámetro / Perturbación	Período de medida	Intervalo de agregación
Variaciones de tensión de estado estable	1 semana	10 minutos
Desbalance de tensión (urbanos)	1 semana	10 minutos
Desbalance de tensión (rurales)	1 semana	10 minutos

Flicker (severidad de larga duración, Plt)	1 semana	No aplica (datos acumulados)
Corriente de demanda máxima (IL)	≥ 1 semana	10 minutos
Otras variables (frecuencia, armónicos, sags, etc.)	1 semana	10 minutos

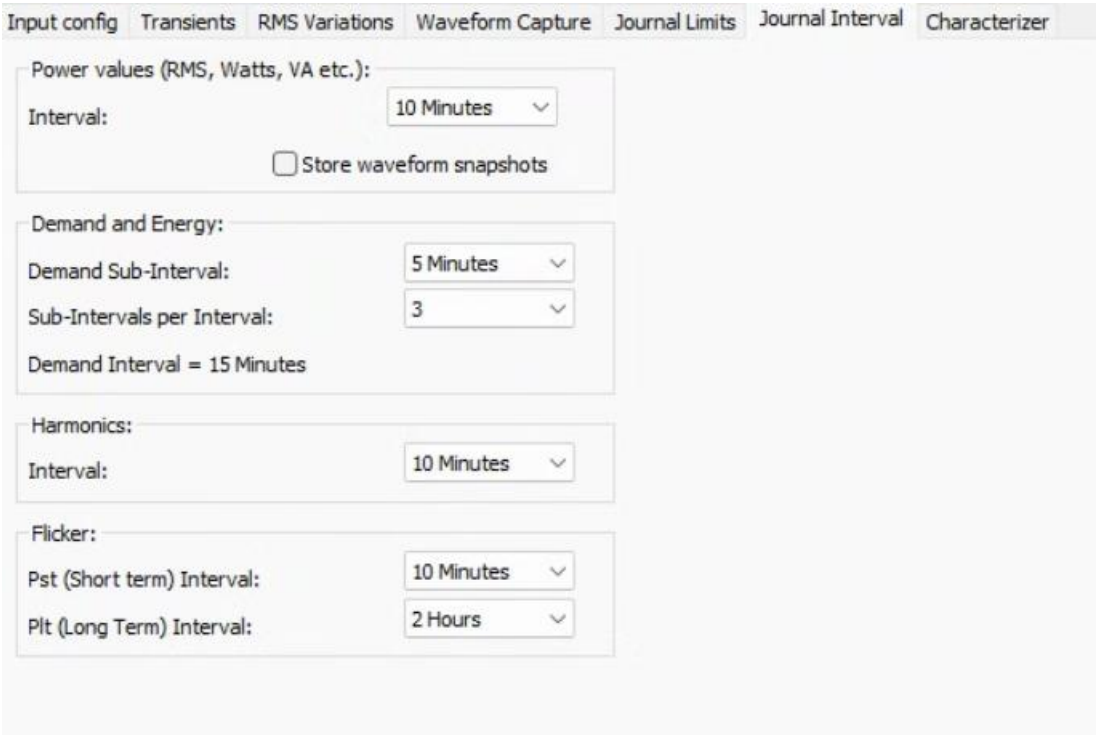


Figura 48. Programación de intervalos de medida.

Fuente: Adaptado de Dran-SET (Dranetz, 2025).

G. Finalmente se procede a programar el nombre del sitio, validar que la fecha y la hora del equipo sean correctas y finalmente se da inicio al monitoreo, una vez inicie el equipo se procede a validar mediante un equipo adicional si los valores de tensión y corriente no difieran entre el analizador y el equipo de media adicionalmente se valida el diagrama fasorial del equipo:

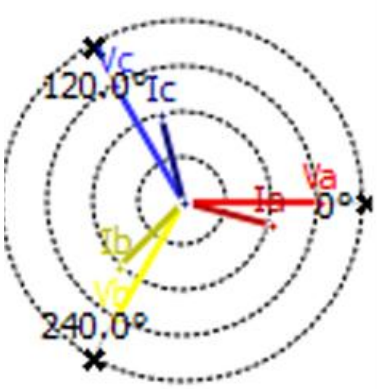


Figura 49. Validación de diagrama Fasorial.

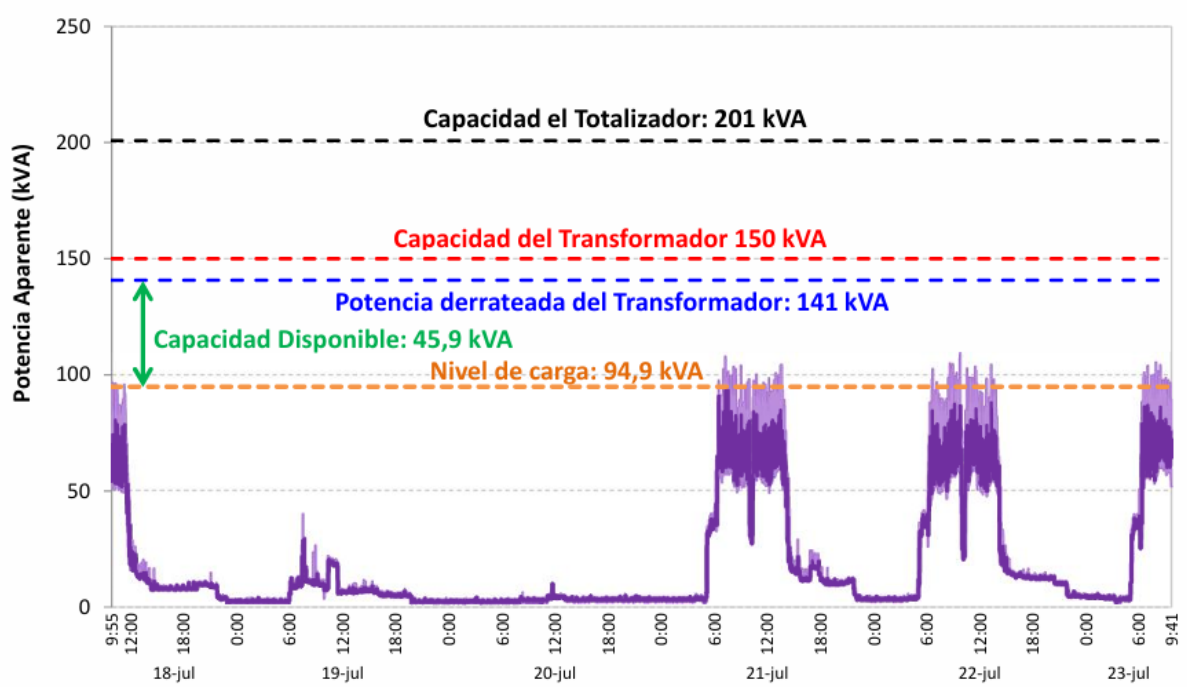
Fuente: GENELEC DE COLOMBIA SA.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

4.6. Análisis de la Información y Elaboración del Informe

Para proceder con la elaboración del informe se procede con el análisis de cada uno de los parámetros eléctricos realizando énfasis en las recomendaciones respectivas según la necesidad:

4.6.1. Potencia Aparente y nivel de carga

Este parámetro es de suma importancia en especial cuando la necesidad es conocer los niveles de carga disponible en las instalaciones, equipos o demás bajo medida pues la potencia aparente es la suma vectorial de las potencias activa y reactiva, su análisis resulta relevante en el momento de definir si la capacidad de transformadores, conductores eléctricos y protecciones es adecuada respecto a la demanda presentada en la figura 50 se presenta el nivel de carga de una transformador de potencia, cabe resaltar que la gráfica muestra diferentes limites los cuales corresponden a la capacidad del interruptor y si se conoce la capacidad del cableado también se puede insertar este límite en la gráfica, cabe resaltar que la potencia aparente se le debe sumar los valores de perdidas por distorsión armónica y el derrateo por altura el cual aplica cuando se instalan transformadores de potencia fabricados para alturas de los 1 000 msnm en ciudades con alturas mucho mayores.



Nivel de carga	94,9 kVA 63,3 %	Capacidad Disponible	45,9 kVA 30,6 %

Figura 50. Ejemplo de análisis de potencia Aparente.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

4.6.2. Potencia y Energía Activa

Este parámetro es relevante cuando se desea validar si los valores de energía activa que se están facturando en la instalación eléctrica son acordes por lo tanto se puede realizar una correcta aproximación estableciendo los consumos de energía activa por día, en la figura 51 se puede validar el consumo de energía activa durante un periodo de monitoreo

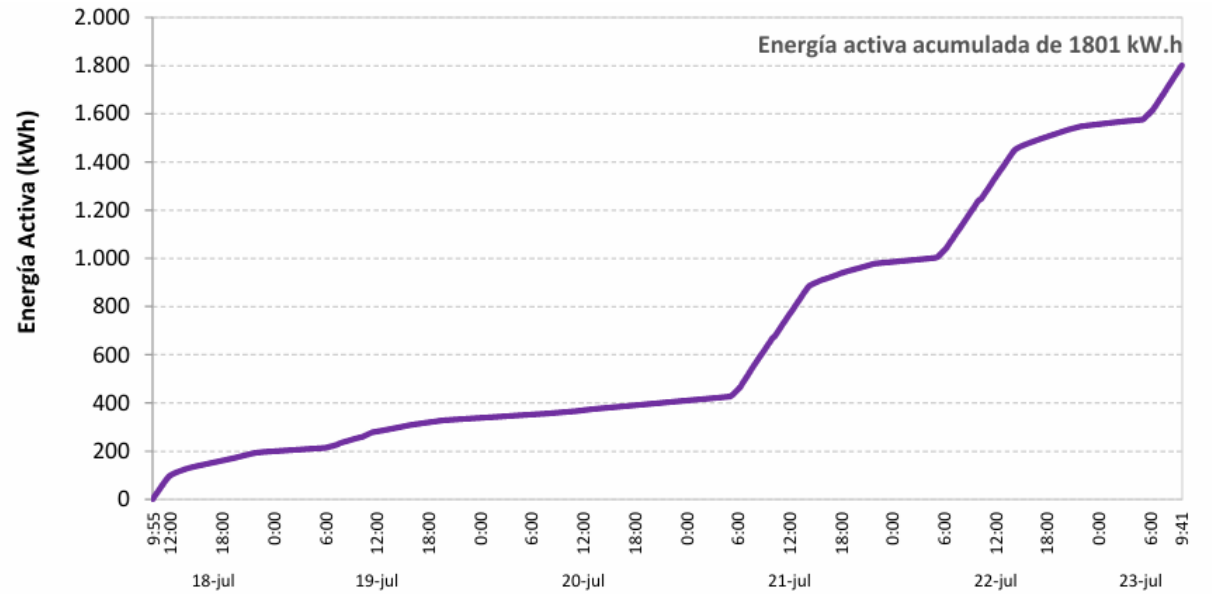


Figura 51. Ejemplo de análisis de energía Activa.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

4.6.3. Factor de potencia y potencia reactiva

Este parámetro es de vital importancia cuando la necesidad corresponde a determinar soluciones por problemas de potencia reactiva en exceso es por ello es de vital importancia analizar el comportamiento del factor de potencia pues permite determinar si la solución a plantear corresponde a excesos de potencia reactiva inductiva o capacitiva, o en ocasiones las dos por ello se debe analizar la gráfica del factor de potencia y determinar el tipo de solución, también validar los tiempos en los cuales el factor de potencia se encuentra fuera de los limites pues si son arranques de equipos ya la compensación mediante un banco de condensadores o inductancias puede que no esté en la capacidad de reaccionar frente a estos cambios bruscos de carga es por ello que la solución a plantear corresponde a un compensador estático de potencia reactiva, sobre dichos equipos (sobre estos equipos se puede validar en el anexo D del documento general)

En la figura 52 se presenta el comportamiento de la potencia reactiva, factor de potencia y potencia activa, este tipo de graficas permiten realizar un análisis más claro y a su vez dimensionar la potencia necesaria a compensar para mantener el factor de potencia dentro de los límites establecidos.

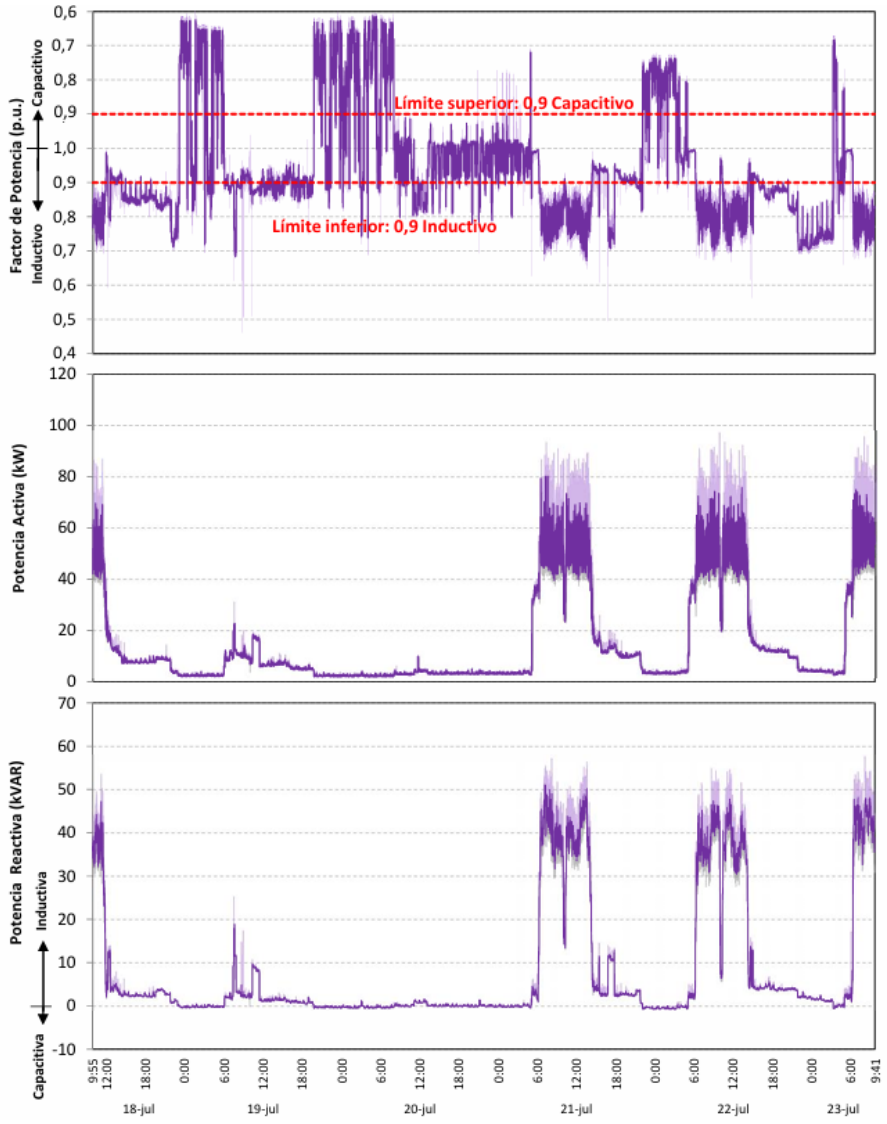


Figura 52. Ejemplo de análisis de potencia reactiva y factor de potencia.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

4.6.4. Tensión en Estado Estable y Transitorio

Este parámetros es de vital importancia y en especial cuando se desean realizar reclamaciones ante el operador de red pues los cortes de energía o eventos transitorios pueden afectar la operación de los procesos generando apagado de equipos o daños en los mismos es por esto que se realizan los análisis de la tensión en estado estable mediante el comportamiento de este parámetro con herramientas como la curva ITI que corresponde a una curva que La asociación norteamericana Information Technology Industry Council (ITIC), desarrolló donde se presenta una curva de tolerancia a los eventos de tensión en equipos eléctricos, los cuales son representados en la llamada curva ITI, que indica que los eventos presentados se encuentran dentro o fuera de una región de tolerancia. La descripción más común de un evento de tensión (caída de tensión de corta duración o SAG y sobretensión de corta duración o SWELL) puede ser representada como un punto sobre un gráfico que presenta la tensión del evento en función de la duración del evento, en la figura 53 se ilustra un ejemplo de la CURVA ITI donde se grafican varios eventos en tensión a manera de ejemplo.

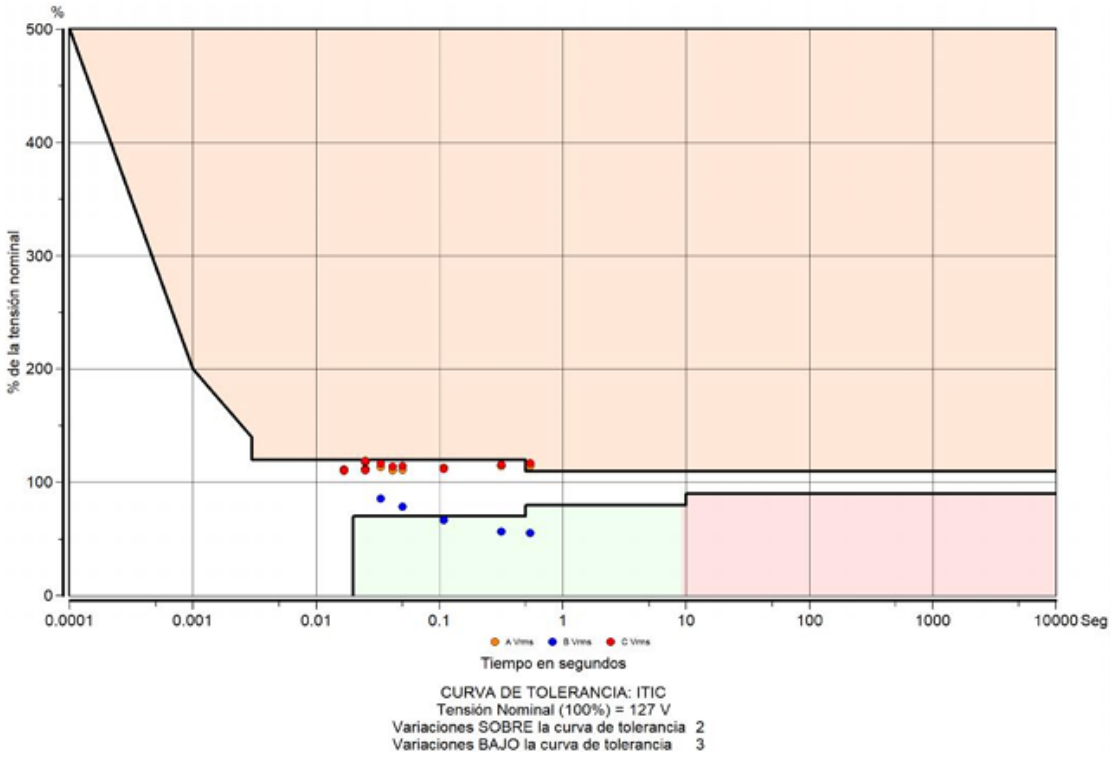


Figura 53. Ejemplo de análisis de tensión en estado transitorios mediante la CURVA ITI.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

Anexo D:

Guía para el Análisis de Calidad de Energía para Necesidades Asociadas a Mala Operación de Equipos



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

1. Metodología

La metodología aplicada para la evaluación y solución de los problemas en los casos que se presentan fallas de equipos que no son fácil de determinar simplemente con una termografía, una medición u otras herramientas que nos brinda la ingeniería eléctrica se fundamenta en el método científico, entendido como un proceso sistemático que permite generar conocimiento verificable y confiable. Este enfoque parte de la idea de que el problema debe considerarse en su conjunto, pero que, para comprenderlo de manera adecuada, es necesario descomponerlo en partes más pequeñas que faciliten su análisis, identificación de relaciones, interdependencias y conexiones entre el todo y sus componentes.

En términos generales, el método científico puede definirse como el conjunto de pasos previamente establecidos por una disciplina para alcanzar conocimientos válidos mediante técnicas e instrumentos confiables. Estos pasos incluyen la observación, la formulación de hipótesis, la experimentación, el análisis de resultados y la elaboración de conclusiones, cabe resaltar que esta metodología aplica y se explicara de manera general

En la Figura 1 se presenta gráficamente el modelo simplificado del proceso del método científico, empleado como base para la estructuración de esta investigación.

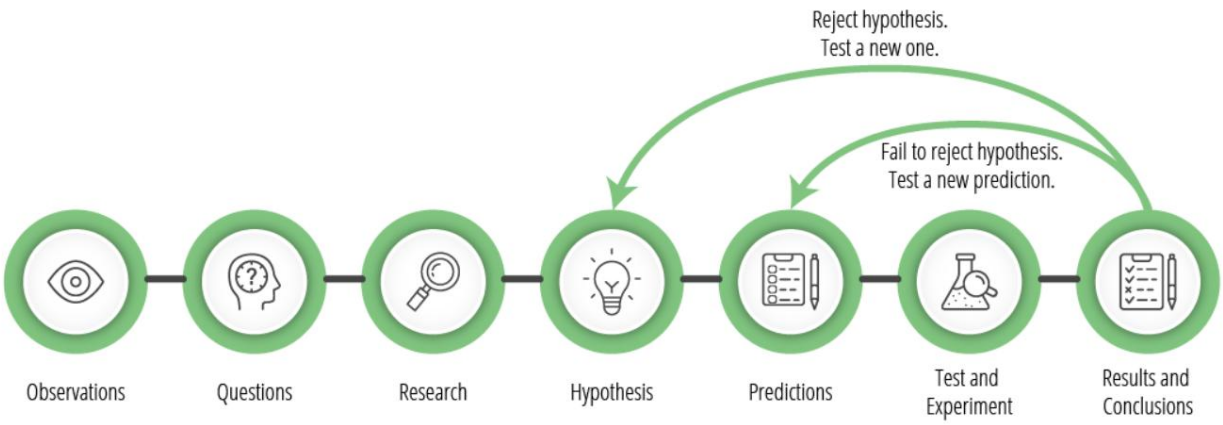


Figura 54. Diagrama del método científico.

Fuente: Helmenstine (2025), adaptado de ThoughtCo.

2. **Paso 1: Observación**

Este paso consiste en realizar el análisis de la información suministrada por el personal técnico de la instalación donde se presenta la falla, Para ello, se deben realizar consultas con las personas directamente involucradas, con el fin de identificar la forma en que el problema se manifiesta y las circunstancias específicas en las que se presenta.

Como resultado de este proceso, se formularon diversas preguntas orientadas a esclarecer la situación, las preguntas sugeridas para son las siguientes:

¿Qué Falla?

¿Cuándo Fallan?

¿Cómo se manifiesta la falla?

¿Qué impacto produce cuando fallan?

¿Qué acciones se han tomado?

3. **Paso 2: Descripción del Fenómeno**

Para este paso en primera medida se debe realizar la descripción general del sistema eléctrico por lo tanto en lo posible se recomienda contar con un diagrama unifilar actualizado.

3.1. Aspectos que afectan las instalaciones eléctricas

3.1.1. El cumplimiento normativo: en lo referente al diseño adecuado, la correcta instalación, el uso de mano de obra calificada y certificada, así como la selección de equipos con certificación de calidad, constituye una de las principales garantías para disponer de instalaciones eléctricas seguras, confiables y eficientes. Este cumplimiento abarca tanto el sistema de puesta a tierra como la equipotencialización de todas las estructuras y elementos que conforman la instalación eléctrica, asegurando su correcta operación y un mantenimiento apropiado a lo largo de su vida útil.

3.1.2. **Los parámetros eléctricos:** La calidad de la onda de tensión y corriente de alimentación de la red eléctrica, su adecuada regulación y las variaciones tanto en estado estable como en condiciones transitorias producidas por sobretensiones o subtensiones, de origen interno o externo constituyen aspectos fundamentales a considerar al evaluar los parámetros eléctricos suministrados por el operador de red. Dichos parámetros deben encontrarse dentro de los rangos establecidos por las normas técnicas, regulaciones y recomendaciones vigentes. Esta evaluación incluye además la operación en condiciones de transferencia, cuando las cargas son alimentadas mediante la planta de emergencia.

Cabe resaltar que la calidad del servicio eléctrico puede verse afectada no solo por las maniobras de apertura o cierre realizadas en los circuitos de media tensión externos, sino también por maniobras internas de conexión, desenergización u operación de equipos de otros usuarios conectados al mismo circuito de baja tensión.

3.1.3. **La compatibilidad electromagnética (EMC):** Los equipos instalados en las instalaciones pueden verse comprometida por la presencia de cargas que generan perturbaciones o emiten contaminación electromagnética, así como por aquellas cargas susceptibles que carecen de inmunidad frente a dichos fenómenos. Estas perturbaciones pueden transmitirse tanto de manera radiada (a través del aire) como conducida (por medio de conductores o estructuras metálicas), afectando el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos y electrónicos.

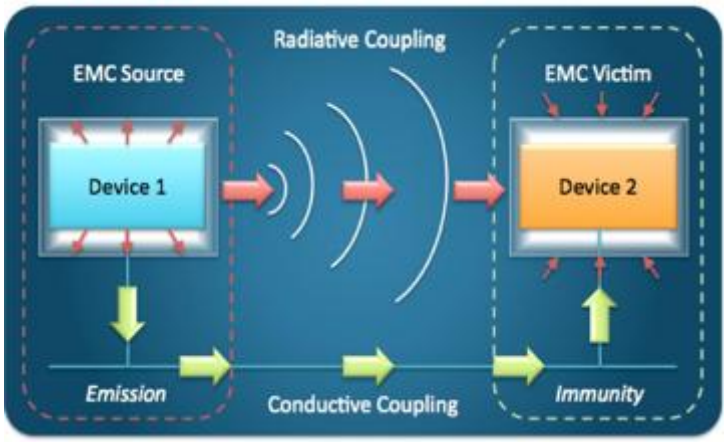


Figura 55. Compatibilidad electromagnética.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

4. Planteamiento de las Hipótesis

Dependiendo de la naturaleza del problema, del tipo de instalación eléctrica y del fenómeno observado, se formulan diferentes hipótesis orientadas a identificar la causa raíz que está afectando el sistema. En este sentido, no existe una metodología única o una “receta” específica que pueda aplicarse a todos los casos; por ello, a continuación, se presentan algunas de las hipótesis que pueden plantearse en el proceso de análisis.

4.1. Fallas externas causadas por la calidad de los parámetros eléctricos de entrada del edificio.

4.2. Fallas internas causadas por instalaciones eléctricas inadecuadas las cuales pueden producirse por fallas en cableado, elementos sub o sobre dimensionados u otros aspectos internos de operación de las instalaciones eléctricas.

4.3. Fallas internas causadas por la operación con planta de emergencia

4.4. Fallas internas causadas por los parámetros eléctricos en la operación de los equipos

4.5. Fallas internas causadas por problemas de compatibilidad electromagnética.

4.6. Fallas no asociadas a problemas eléctricos las cuales pueden ser producidas por problemas mecánicos.

5. Comprobación de la hipótesis mediante experimentación

5.1. Para descartar la hipótesis se realiza medición de parámetros eléctricos en el punto de conexión común como se había indicado previamente en el documento se puede realizar medición en baja tensión mediante medición directa o en media o alta tensión a través de grupos de medidas.

5.2. Para descartar esta hipótesis se recomienda validar el cableado eléctrico en equipos en principio que estén sub dimensionados o sobre dimensionados, adicionalmente validar si existen fallas en los equipos mediante la inspección termográfica; adicionalmente se recomienda de ser posible realizar un estudio de coordinación de protecciones con el objetivo de validar si está debidamente coordinado el sistema sin embargo cabe resaltar que si la falla que se presenta en las instalaciones produce disparos de las protecciones entonces revisar la coordinación de protecciones de la instalación eléctrica es una actividad primordial a realizar.

5.3. Para validar esta hipótesis se recomienda realizar pruebas con el generador de emergencia es decir simular un corte de energía con un equipo conectado en la

salida común del tablero de transferencia con el objetivo de capturar el comportamiento de los parámetros eléctricos.

5.4. Para descartar esta hipótesis se deben realizar mediciones en los equipos bajo falla, cabe resaltar que si los equipos corresponden a UPS´s o Variadores de velocidad se debe medir tanto en la entrada como en la salida de estos equipos adicionalmente se deben realizar mediciones en la alimentación o tablero de donde se alimenta la carga o equipos.

5.5. Para descartas esta hipótesis se deben realizar mediciones e inspección en el sistema de puesta a tierra, validar el cableado de los equipos y la operación de los filtros de armónicos adicionalmente se debe validar el sistema de protección contra rayos de las instalaciones.

5.6. Cabe resaltar que para esta hipótesis se recomienda validar si ninguna de las hipótesis se asocia con los problemas que se presentan en los equipos por ende se debe validar mediante otros tipos de herramientas de las ingenierías si los problemas que se presentan corresponden a problemas mecánicos u otros tipos de problemas que no corresponde a temas eléctricos.

Anexo E:

Equipos recomendados para mejorar el comportamiento de los parámetros eléctricos



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Equipos recomendados para mejorar el comportamiento de parámetros eléctricos

Las cargas no lineales corresponden a todos aquellos equipos eléctricos en los cuales su consumo eléctrico, hablando en parámetros eléctricos; tensión y corriente no es lineal. tenemos como caso de ejemplo una resistencia pura, en la cual la tensión y corriente están en fase y por lo tanto entre más corriente consuma la carga, más tensión necesitará y su forma de onda seguirá siendo una onda pura, sin ningún tipo de distorsión.

Un ejemplo de carga no lineal, puede ser un equipo ideal que contenga un diodo y un condensador; en esta carga “ficticia” el condensador atrasa la onda de tensión y el diodo deforma la onda, ya que esta permite el paso de la parte positiva de la onda, por lo tanto, esta carga “Ficticia” distorsiona en gran manera la onda.

Por tal razón se consideran cargas no lineales a todos aquellos equipos que contengan dispositivos electrónicos de este tipo, tales equipos no lineales pueden ser: UPS, Computadores, variadores de velocidad, hornos de arco eléctrico, Fuentes de alimentación conmutadas, A continuación, en la figura 56 se presenta un ejemplo asociado a la representación de cargas lineales y cargas no lineales:

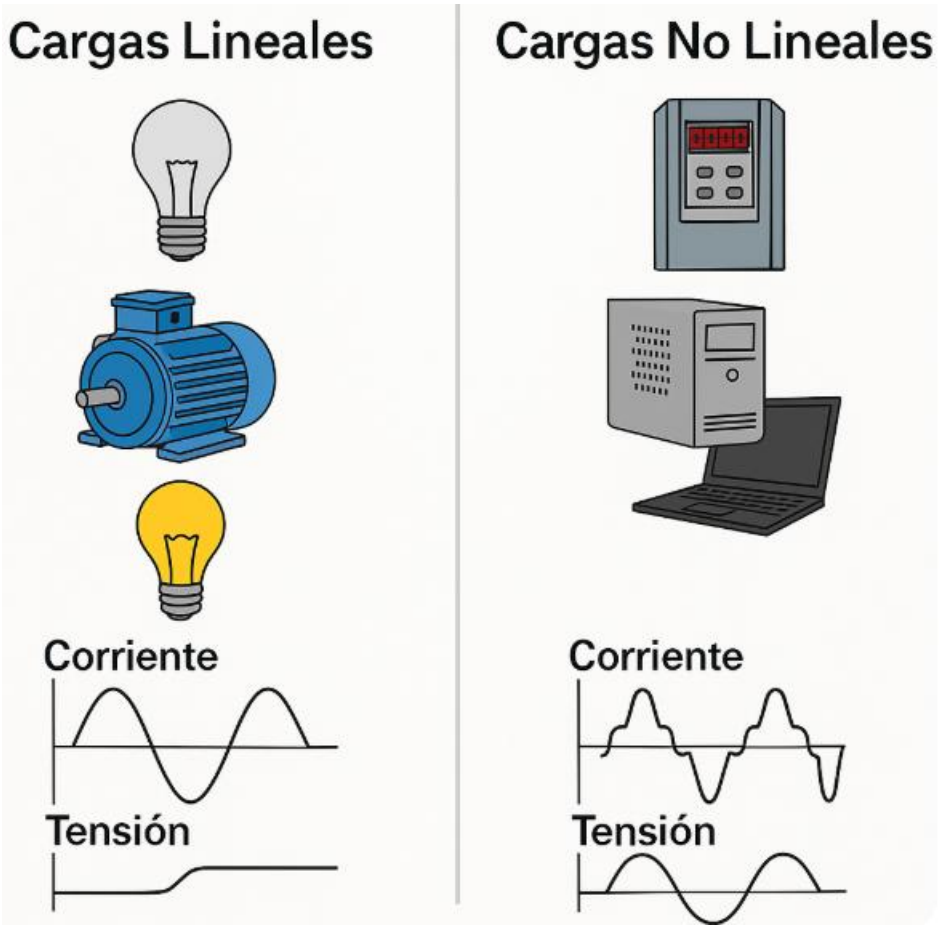


Figura 56. Comparación entre cargas lineales y no lineales.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

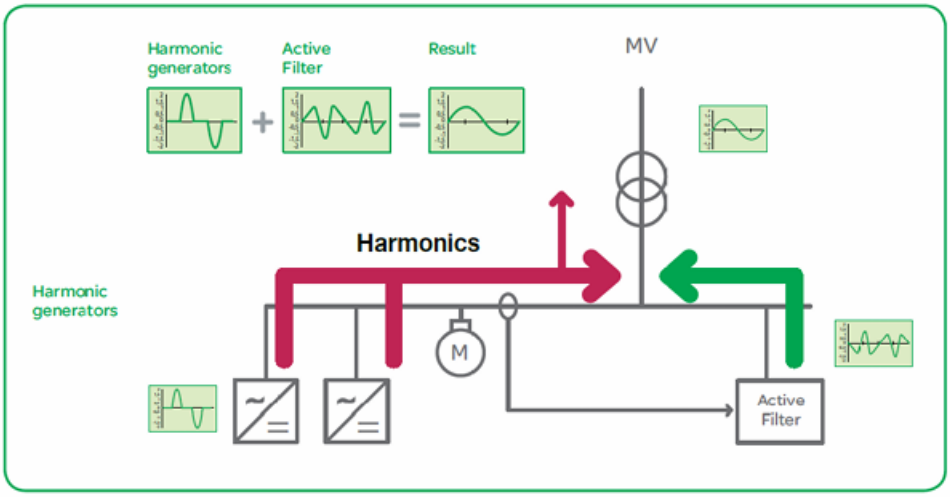
Filtros de Armónicos

Para la cantidad de problemas presentados por presencia de armónicos, se diseñan filtros para armónicos, equipos capaces disminuir los niveles de distorsión armónica. Estos armónicos son causados principalmente por cargas no lineales. En la figura 57 se presenta una imagen de referencia asociada a un filtro de armónicos marcha Schneider:



Figura 57. Schneider Electric Colombia. Filtro de armónicos activos 60 A 380-480 V CA.

Fuente: Schneider Electric (s. f.).



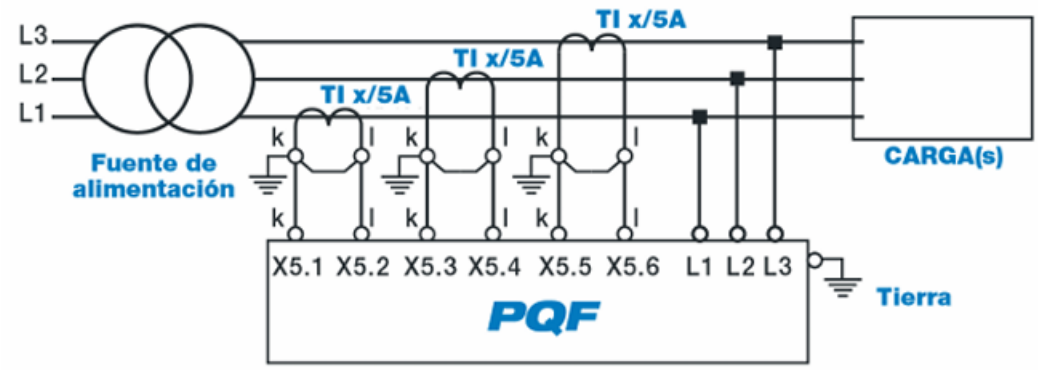


Figura 58. Esquema de generación de armónicos, filtrado activo.

Fuente: GENELEC DE COLOMBIA S.A.S. basada en imágenes y ejemplos de calidad de energía / GENELEC.

Para los tipos de filtros, se pueden tener filtros en serie; las cuales permiten el paso de ciertas frecuencias para la que fue diseñada o también existe Shunt o paralela, la cual presenta mayores ventajas ya que presentan un camino alternativo de baja impedancia por el cual pueden circular las frecuencias armónicas

Ríos Porras, Aristizábal Naranjo y Gallego R. (s. f.) realizaron un análisis del sistema de distribución de Pereira para estudiar el impacto de los armónicos y la efectividad de filtros en la red eléctrica, y la conclusión a la que llegaron es que:

- El filtro sintonizado simple proporciona una máxima atenuación para una armónica individual, a frecuencia fundamental, puede proporcionar la potencia reactiva requerida en la red, y tiene bajas pérdidas (asociadas a la reactancia del inductor y la resistencia del filtro) (Ríos Reyes, Gallego Rendón & Aristizábal Naranja, 2003).
- El filtro sintonizado simple es vulnerable a la desintonía debido a la tolerancia de los elementos con la temperatura, interactúa con la red originando una resonancia paralela al igual que un banco de condensadores. (Ríos Reyes, Gallego Rendón & Aristizábal Naranja, 2003).
- El crecimiento sostenido de cargas no lineales, unido al aumento de la utilización de bancos de condensadores para la compensación del factor de potencia, aumenta las fuentes de distorsión o sus componentes negativas, tanto para el usuario como para la empresa responsable del suministro eléctrico (Ríos Reyes, Gallego Rendón & Aristizábal Naranja, 2003).
- La magnitud de los costos originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con tensiones y corrientes distorsionadas aumenta en la medida en que se reduce la vida útil de estos (Ríos Reyes, Gallego Rendón & Aristizábal Naranja, 2003).
- Las resonancias crean tensiones y corrientes elevadas que deterioran o destruyen los elementos del sistema. (Ríos Reyes, Gallego Rendón & Aristizábal Naranja, 2003).

Compensadores Estáticos

Los compensadores estáticos son equipos que ayudan a mantener el nivel de tensión fijo o constante y corrección de factor de potencia. Para ellos el equipo inyecta o consume reactivos con la finalidad de mantener controlado los parámetros eléctricos de tensión y factor de

potencia dentro de los límites establecidos. En la siguiente figura 59 se muestra una imagen de referencia con los componentes más importantes de un compensador estático de reactivos (SVC); Filtros armónicos; este equipo es de suma importancia en los compensadores, ya que ayudan a reducir la distorsión armónica en la conmutación de los tiristore. capacitor conmutado; Los cuales inyectan potencia reactiva capacitiva y reactor controlado por tiristores; el cual ayuda a absorber energía reactiva inductiva

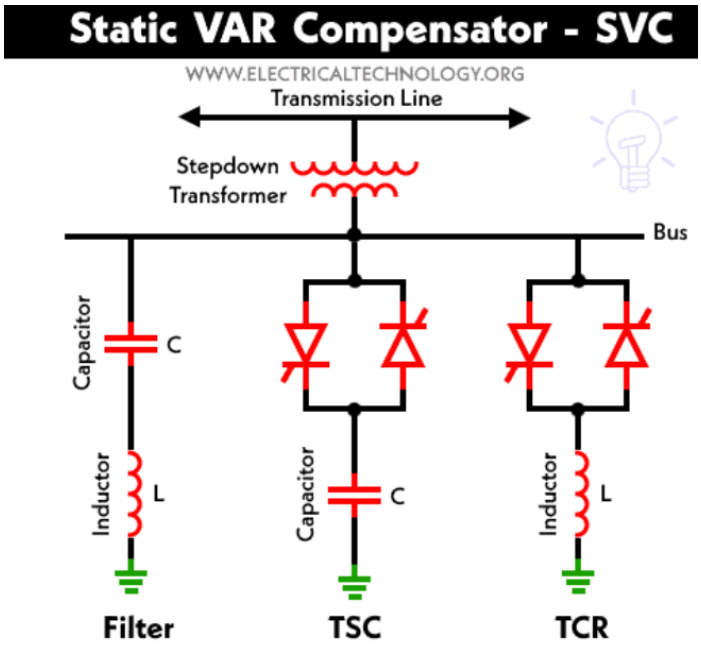


Figura 59.Diagrama de un compensador Estático de SVC mostrando TCR, TSC y filtros armónicos.

Fuente: Adaptado de Electrical Technology (s. f.)

Bancos Sintonizados

Un banco sintonizado corresponde a la conexión de capacitores e inductores los cuales son diseñados para mitigar o eliminar las frecuencias de resonancia y mejorar el factor de potencia, por tal razón es evidente que dentro de sus componentes se encuentran; capacitores, inductores, protecciones. etc.

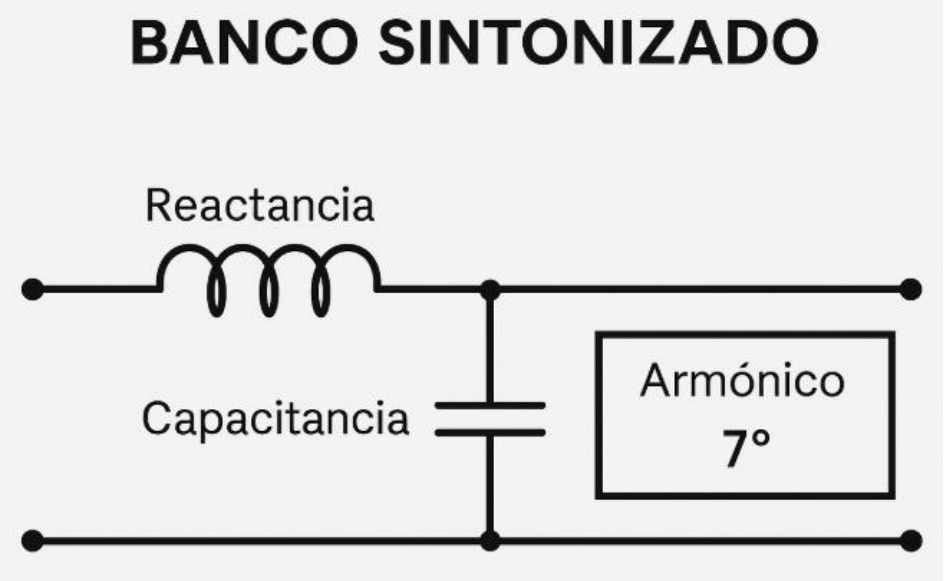


Figura 60. Banco sintonizado para filtrado de armónico de 7.º orden.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Para el estudio de los bancos sintonizados es bueno realizar una comparación entre los bancos sintonizados y los no sintonizados, para ello, Llamas Terrés, De los Reyes y Báez (s. f.) comparan el desempeño de filtros sintonizados y desintonizados, analizando su efecto en la mitigación de armónicos y el factor de potencia, y para ello llegan a la conclusión de que “Los filtros desintonizados absorben una buena porción de la distorsión armónica, en el caso presentado un 50% de la quinta armónica. Los filtros sintonizados absorben más; pero requieren de mayor cuidado durante su diseño e instalación. Tanto el filtro sintonizado como el desintonizado tienen aplicación dependiendo de la instalación en particular, de tal manera que no es posible afirmar que uno es superior al otro.” (Llamas Terrés, De los Reyes & Báez, s. f.).

Anexo F:

Normatividad asociada a la calidad de energía



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Luis Antonio Peña Malambo Cod: 20231372002

Luis Eduardo Vásquez Cod: 20231372001

Proyecto Curricular de Ingeniería Eléctrica

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Bogotá D.C., Colombia

Septiembre de 2025

Tabla 11. Normatividad asociada a la calidad de potencia.

Fuente: Elaboración propia (2025) Adaptado de la tabla de normatividad de GENELEC DE COLOMBIA S.A.S.. *basada en informes de calidad de energía / GENELEC.*

Ítem	*Parámetro*	*Norma o Referencia*
1	**TENSION DE ESTADO ESTACIONARIO:** **Variaciones máximas permitidas en baja tensión:** Las variaciones de tensión permitidas en condiciones normales de operación para redes de baja tensión (menores a 1kV) deben estar entre el 90% y el 110% de la tensión nominal, en periodos superiores a 1 minuto.	**NTC 5001**. **ICONTEC**. Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común- **CREG 024/2005** Normas de Calidad de Potencia aplicables a la distribución de Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. **CREG 016/2007** Normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía
2	**EVENTOS EN TENSIÓN DE CORTA** **DURACIÓN:** **Variaciones máximas permitidas en baja tensión para eventos transitorios electromagnéticos rápidos y fluctuaciones de tensión: SAG/SWELL/SUBTENSIONES Y SOBRETENSIONES.** Las variaciones de tensión de corta duración, permitidas para redes de baja tensión (menores a 1kV) se analizan por medio de la curva ITI, que es una envolvente de valores de tensión aceptables, dentro de la cual, típicamente se pueden aceptar variaciones de tensión de corta duración que pueden ser toleradas por la mayoría de equipos, en periodos inferiores a 1 minuto.	**NTC 5001**. **ICONTEC**. Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común- **ANSI/IEEE std 1159 - 1995**. "*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*" **CURVA ITI (CBEMA)** Information Technology Industry

3	**<u>INTERRUPCIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN (Menores a 1 minuto)</u>** Cuando existen este tipo de eventos, se pueden clasificar de acuerdo con su duración con relación a la caracterización del standar 1159, no hay aun establecidos valores objetivos contra los cuales comparar.	**ANSI/IEEE std 1159 - 2019**. "*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*"

Ítem	*Parámetro*	*Norma o Referencia*
4	**<u>ARMONICOS</u>** **Contenido de Armónicos de las Ondas de Tensión y Corriente** (Límites de Distorsión Armónica): Límites máximos recomendados de distorsión armónica en tensión: Para niveles de tensión nominal menores a 69kV: 5%. Límites máximos recomendados de distorsión armónica en corriente: Para niveles de tensión nominal menores a 69kV residenciales: 20%.	**NTC 5001. ICONTEC.** Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común- **CREG 024/2005** Normas de Calidad de Potencia aplicables a la distribución de Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. **ANSI/IEEE std 519 - 2022** "*Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*"
5	**<u>FRECUENCIA</u>** **Variaciones máximas permitidas en frecuencia:** La frecuencia nominal del SIN es 60 Hz y su rango de variación de operación está entre 59.8 y 60.2 Hz en condiciones normales de operación. La frecuencia es una variable establecida y manejada por el Centro Nacional de Despacho (CND) y los Generadores.	**NTC 5001. ICONTEC.** Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común-

6	**CORRIENTE** Los valores de corrientes deben estar por debajo de los valores Nominales de la capacidad de los conductores eléctricos de acuerdo con las especificaciones de NORMA ICONTEC NTC2050	**RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)** **NTC 2050 ICONTEC CÓDIGO ELÉCTRICO** **ANSI-IEEE std 446- 1995 Orange Book** "*Recommended Practice for emergency and standby power systems for Industrial and Commercial Applicattions*"
7	**CORRIENTES POR TIERRA** Los valores de corrientes circulantes por tierra deben ser CERO según el RETIE o estar por debajo de los valores recomendados en el std IEEE/1100 de 0 a 10 A (r.m.s.)	**RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas)** **NTC 2050 ICONTEC CÓDIGO ELÉCTRICO** **ANSI/IEEE 1100 -2005 EMERALD BOOK** "*Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment*" tabla 4-3 **FIPS PUB 94 – 1983** *(Federal Information Processing Standards) Guideline on Electrical Power for ADP installations.*
Item	*Parámetro*	*Norma o Referencia*
8	**FACTOR DE POTENCIA:** "El factor de potencia inductivo de las instalaciones deberá ser igual o superior a 0.90." "En caso de que la energía reactiva consumida por un Usuario, sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) que le es entregada en cada periodo horario, el exceso sobre este límite, en cada periodo, se considerará como energía activa para efectos de liquidar mensualmente el cargo por uso del respectivo sistema"	**NTC 5001. ICONTEC.** Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común- **CREG 108/1997 Art. 25.**

9	**<u>DESBALANCE DE TENSION Y CORRIENTE</u>** El valor recomendado para desbalances de tensión en Baja Tensión en sistemas trifásicos es de 2,5 al 5% calculado asi: % desbalance V = 3 (Vmax-Vmin) / (Va+Vb+Vc) El valor recomendado para desbalances de Corriente en Baja Tensión en sistemas trifásicos es de 5 al 20% para una fase.	**NTC 5001. ICONTEC.** Norma Técnica Colombiana - Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en punto de conexión común- **ANSI-IEEE std 446- 1995 Orange Book** "*Recommended* *Practice for emergency and standby power systems for Industrial and Commercial Applicattions*"
10	**TENSION NEUTRO TIERRA** En algunos sistemas de equipos electrónicos y de comunicaciones en donde se requiere que la señal de tierra utilizada para la electrónica sea lo más cercana a cero. Se sugiere un valor máximo de 1 V. En algunos países se sugiere un valor máximo de 0,6 V.	***ANSI IEEE 1100 – 2005*** *"Recommended practice for powering grounding electronic element" Tabla 6.2.*