



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE NUEVA
ATACAMA**

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de Ingeniero de Ejecución en Electricidad

Profesor Guía: Juan Astorga Gómez

Yosthin Díaz Castro
Francisco Bordoli Villegas

Copiapó, Chile 2025

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO INTRODUCTORIO.....	1
1.1 Antecedentes Generales.	1
1.2 Objetivos del Proyecto.	2
1.2. Objetivo General.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3 Planteamiento del Problema	2
1.4 Alcance del Proyecto.....	3
1.5 Metodología.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Descripción de Grupo Aguas Nuevas S.A.	4
2.1. Objeto social Grupo Aguas Nuevas.	4
2.2 Descripción de Nueva Atacama S.A.....	5
2.2 Visión Empresarial.....	6
2.2 Misión de Nueva Atacama S.A.....	6
2.2 Visión de Nueva Atacama.....	7
2.2 Objetivos estratégicos.	7
2.3 Descripción de unidad bajo estudio.	8
2.4 Descripción del sistema eléctrico.....	10
2.5 Definición de Armónicos.	10
2.5 Análisis de Fourier para señales periódicas.....	11
2.5 Distorsión armónica total (THD).....	13
2.6 Causas y consecuencias de los armónicos.....	13
2.6 Causa de los armónicos.	13
2.6 Cargas Lineales.....	13
2.6 Cargas no Lineales.....	14

2.7 Consecuencias y daños provocados por presencia armónica.	15
2.7 Efectos y daños sobre el cableado.	15
2.7 Efectos en los capacitores.....	16
2.7 Efectos en los Motores.	16
2.7 Otros efectos provocados por la presencia de armónicos en un sistema eléctrico. ...	17
2.8 Legislaciones y Normativas asociadas a la eficiencia energética y calidad de energía.	17
2.8 Ley 21.305.....	17
2.8 Ley 20.936.....	18
2.8 Reglamento de Calidad de Servicio Eléctrico (DS N°250/2004).....	18
2.8 Norma técnica de calidad de servicio para sistema de distribución.....	18
2.8 Norma IEEE 519 1992.	19
2.9 Detección y medición de armónicos.	21
2.9 Analizador de redes eléctricas local.....	22
2.9 Analizador de calidad de energía portátil.....	23
2.10 Acciones y elementos utilizados para mitigar armónicos.	23
2.10 Filtros activos de armónicos.	24
2.10 Filtros pasivos de armónicos.	24
2.10 Transformadores de aislamiento y de reducción de armónicos (tipo K).....	25
CAPÍTULO III	27
UTILIZACIÓN DE ANALIZADOR DE CALIDAD ELÉCTRICA Y ENERGÍA	
FLUKE 434	27
3.1 Analizador de calidad eléctrica trifásica Fluke 434.....	27
3.2 Consideraciones de seguridad previas a la instalación del analizador de energía Fluke 434.....	28
3.3 Paso a paso de la instalación del analizador de calidad eléctrica Fluke 434.	29
3.3 Encendido y configuración inicial.	29
3.3 Configuración de normativas.....	30
3.3 Conexiones.	31
3.3 Modos de Medida.....	33
3.3 Supervisión de calidad eléctrica.	34

3.3 Registro de Datos.....	36
3.4 Lectura y visualización de datos.....	36
CAPÍTULO IV	37
ANALISIS DE RESULTADOS.....	37
4.1 Regulación de tensión.	37
4.1 Datos de tensión por línea.	38
4.1 Comparativa de datos según regulación de tensión:	41
4.2 Desequilibrio de Tensión:.....	41
4.2 Resumen de datos de desequilibrio de tensión nominal:.....	42
4.2 Comparativa de datos según desequilibrio de tensión:	43
4.3 Distorsión armónica de Tensión (THDv):.....	44
4.3 Datos de distorsión armónica de tensión (THDv) por línea:	45
4.3 Comparativa de datos Distorsión armónica de Tensión (THDv) según normativa: ..	47
4.4 Distorsión armónica de corriente (THDi).	48
4.4 Datos de distorsión armónica de corriente (THDi) por línea:	49
4.4 Comparativa de datos Distorsión armónica de corriente (THDi) según normativa...	51
4.5 Severidad de Parpadeo o Flicker (PLT).	51
4.5 Resumen de datos Flicker por línea (PLT):.....	52
4.5 Comparativa de datos de Flicker según normativa (PLT):.....	55
4.6 Calculo de factor de potencia:	56
4.6 Resumen de datos de factor de potencia por línea:	57
4.6 Comparativa de datos de factor de potencia según normativa:	60
4.7 Observaciones Generales.....	60
CAPÍTULO V	61
PROPUESTAS Y SOLUCIONES EN CALIDAD ENERGETICA	61
5.1 Propuestas y soluciones relacionadas al Flicker medido:	61
5.2 Propuestas y soluciones relacionada al THDi medido.	61
5.3 Recomendaciones relacionadas al mantenimiento preventivo y predictivo.....	62
CONCLUSIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Filiales Pertencientes al Grupo Aguas Nuevas S.A.	5
Figura 2.2 Sistema de Producción - Depuración Nueva Atacama.	6
Figura 2.3 Organigrama Nueva Atacama.....	7
Figura 2.4 Planta de Osmosis inversa Placilla Sierralta.....	8
Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de ósmosis inversa.	9
Figura 2.6 Diagrama Unilineal Sala eléctrica N°1.	10
Figura 2.7Ejemplo Descomposición de una onda distorsionada.	11
Figura 2.9 Espectro de armónicos con respecto a la onda fundamental.	12
Figura 2.10 Ejemplo de carga lineal formada por la combinación de un condensador y resistor.	14
Figura 2.11 Ejemplo de carga no lineal correspondiente a un rectificador de 6 pulsos. .	15
Figura 2.12 Ejemplo de Representación del efecto skin.	16
Figura 2.13 Distorsión total e individual de voltaje.....	20
Figura 2.14 Distorsión total e individual de corriente.	20
Figura 2.17 Analizador de Calidad de energía Fluke 435.....	23
Figura 2.18 Filtro activo de armónicos, instalación y compensación.....	24
Figura 2.19 Filtro pasivo de armónicos.	25
Figura 2.20 Transformador de aislación tipo K.....	26
Figura 3.1 Analizador Fluke 434.	27
Figura 3.2 Forma segura de utilizar el analizador de red.....	28
Figura 3.3 Ajustes generales de configuración.....	29
Figura 3.4 Configuración de Normativa EN50160.....	30
Figura 3.5 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.	31
Figura 3.6 Conexión de pinzas amperimétricas y pinzas de tensión en el breaker principal de la sala eléctrica N°1.	32
Figura 3.7 Conexión a tierra.	32
Figura 3.8 Pantalla de modo de medida.....	33
Figura 3.9 Configuración para medición de armónicos de voltaje.....	34
Figura 3.10 Pantalla de configuración modo monitor.	35
Figura 3.11 Pantalla principal de monitoreo de calidad eléctrica.....	35

Figura 3.12 Pantalla principal de registros guardados.	36
Figura 4.1 Resumen de voltaje Línea 1.....	38
Figura 4.2 Gráfico de datos de tensión Línea 1.....	38
Figura 4.3 Resumen de voltaje Línea 2.....	39
Figura 4.4 Gráfico de datos de tensión Línea 2.....	39
Figura 4.5 Resumen de voltaje Línea 3.....	40
Figura 4.6 Gráfico de datos de tensión Línea 3.....	40
Figura 4.7 Resumen de desequilibrio de tensión.....	42
Figura 4.8 Gráfico de datos de desequilibrio de tensión.....	43
Figura 4.8 Resumen de THDv Línea 1.	45
Figura 4.9 Gráfico de datos de THDv Línea 1.....	45
Figura 4.10 Resumen de THDv Línea 2.	46
Figura 4.11 Gráfico de datos THDv Línea 2.....	46
Figura 4.12 Resumen de THDv Línea 3.	47
Figura 4.13 Gráfico de datos THDv Línea 3.....	47
Figura 4.14 Grafico de lectura de armónicos.	49
Figura 4.15 Grafico de datos THDi Línea 1.....	49
Figura 4.16 Grafico de datos THDi Línea 2.....	50
Figura 4.17 Grafico de datos THDi Línea 3.....	50
Figura 4.14 Resumen de datos de Flicker Línea 1.....	52
Figura 4.15 Grafico de datos de Flicker Línea 1.	53
Figura 4.16 Resumen de datos de Flicker Línea 2.....	53
Figura 4.17 Gráfico de datos de Flicker Línea 2.	54
Figura 4.18 Resumen de datos de Flicker Línea 3.....	54
Figura 4.19 Gráfico de datos de Flicker Línea 3.	55
Figura 4.20 Resumen de datos de factor de potencia línea 1.	57
Figura 4.21 Gráfico de datos factor de potencia línea 1.	57
Figura 4.22 Resumen de datos de factor de potencia línea 2.	58
Figura 4.23 Gráfico de datos factor de potencia línea 2.	58
Figura 4.24 Resumen de datos de factor de potencia línea 3.	59
Figura 4.25 Gráfico de datos factor de potencia línea 3.	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Promedio de tensiones.....	41
Tabla 4.2 Normativa de regulación de tensión.....	41
Tabla 4.3 Normativa de desequilibrio de tensión.....	43
Tabla 4.4 Normativa de THDv.....	47
Tabla 4.5 normativa THDi.....	51
Tabla 4.6 Normativa de factor de potencia.....	60

RESUMEN

En los últimos años el término “calidad energética” ha sido tema de gran importancia a nivel global, tanto, que gran parte de países adoptaron e incluyeron en su legislación medidas que permitan mejorar la calidad de la energía eléctrica en sus redes e instalaciones, haciendo partícipes a la totalidad de las empresas que están involucradas en su crecimiento, sostenibilidad y sustentabilidad.

El presente proyecto abordó el análisis de calidad de energía mediante un estudio realizado en las instalaciones de la empresa Nueva Atacama. Su objetivo se centró en realizar un estudio de la calidad energética de la Planta de Tratamiento mediante el uso del analizador de calidad de energía fluke 434 con tal de comparar los datos obtenidos con la normativa vigente y proponer mejoras que ayuden a cumplir con la normativa en caso de incumplimiento. Distribuido en los siguientes capítulos:

Capítulo I. Marco introductorio: El presente capítulo consideró los objetivos principales y específicos del proyecto sus alcances y metodología de trabajo.

Capítulo II. Marco Teórico: Capítulo donde se definieron los principales temas a tratar indicando una breve descripción de la empresa y recinto donde se realizó el proyecto, definiciones como que son los armónicos, como se producen, como prevenirlos y las legislaciones y normativas a asociadas a la calidad energía.

Capítulo III. Utilización del analizador fluke 434: Se añadió una breve descripción sobre la instalación y utilización del analizador de calidad de energía fluke 434 donde además se adjuntaron figuras con tal de demostrar su uso y aplicación en la instalación.

Capítulo IV. Análisis de resultados: En el presente capítulo se incluyeron las distintas figuras y tablas comparativas de las variables consideradas en la normativa vigente junto a los datos obtenidos por el instrumento de medición, las observaciones obtenidas y las distintas soluciones propuestas en caso de no cumplimiento.

Por último se incluyeron las conclusiones obtenidas durante la realización de este proyecto.

ABSTRACT

In recent years, the term "energy quality" has been a topic of great importance globally, to the extent that many countries have adopted and included measures in their legislation to improve the quality of electrical energy in their networks and installations, involving all companies that are part of its growth, sustainability, and sustainability.

This project addressed the analysis of energy quality through a study conducted at the facilities of the company Nueva Atacama. Its objective was to carry out a study of the energy quality of the Treatment Plant using the Fluke 434 energy quality analyzer to compare the obtained data with the current regulations and propose improvements to help comply with the regulations in case of non-compliance. The project is distributed in the following chapters:

Chapter I. Introductory Framework: This chapter considered the main and specific objectives of the project, its scope, and work methodology.

Chapter II. Theoretical Framework: This chapter defined the main topics to be addressed, including a brief description of the company and the site where the project was carried out, definitions such as what harmonics are, how they are produced, how to prevent them, and the legislation and regulations associated with energy quality.

Chapter III. Use of the Fluke 434 Analyzer: A brief description of the installation and use of the Fluke 434 energy quality analyzer was added, along with figures to demonstrate its use and application in the installation.

Chapter IV. Analysis of Results: This chapter included various figures and comparative tables of the variables considered in the current regulations along with the data obtained by the measuring instrument, the observations made, and the different proposed solutions in case of non-compliance.

Finally, the conclusions obtained during the execution of this project were included.

CAPÍTULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Antecedentes Generales.

En la actualidad el uso de la energía eléctrica es de carácter indispensable para desarrollo y producción de un país, es por esto que para afrontar el acelerado cambio climático se requiere que toda organización participe de un plan de eficiencia energética y calidad de energía que permita reducir su huella de carbono. Chile presenta y establece la ley N°21.305 de eficiencia energética además de la Norma Técnica de Calidad de Servicio para Sistemas de Distribución cuyo objetivo es promover el uso racional y eficiente de los recursos energéticos y establecer parámetros de la calidad de la energía eléctrica.

La empresa Nueva Atacama S.A es una empresa de servicios sanitarios perteneciente a la tercera región, Para entregar sus servicios dentro de su proceso productivo utiliza en gran medida bombas de impulsión las cuales son reguladas mediante el uso de VDF (variadores de frecuencias) que normalmente están sometidos a un régimen permanente, al ser equipos de carácter electrónico alteran y perturban de forma constante la red eléctrica interna en las plantas de tratamiento de agua potable generando de esta manera perturbaciones armónicas que producen gran daño a los equipos eléctricos y un aumento significativo en el consumo eléctrico necesario.

Por este motivo es necesario realizar el estudio Calidad de energía eléctrica del sistema ya que este permitirá discernir mediante el cumplimiento de normativas si la empresa cumple con las regulaciones establecidas, lo permitirá cuantificar variables como la distorsión armónica total (THD) o la regulación de voltaje con el objetivo de proponer mejoras que ayuden cumplir con estos estándares y permitan proponer sugerencias que mejoren y optimicen el rendimiento de los equipos eléctricos involucrados.

1.2 Objetivos del Proyecto.

1.2. Objetivo General.

Realizar un estudio centrado en evaluar y proponer mejoras en la calidad energética de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Nueva Atacama Placilla Sierra-alta, mediante un analizador de energía con tal de reducir el consumo de energía y el cuidado del sistema eléctrico sin comprometer la calidad del proceso y proteger de manera eficiente los equipos involucrados en la planta de tratamiento, además de evaluar el cumplimiento normativo.

1.2. Objetivos Específicos.

A continuación, se describen los objetivos específicos del proyecto:

- Realizar mediciones de calidad de energía en el alimentador de la sala eléctrica N°1 de la planta de tratamiento de agua Placilla Sierralta.

Llevar a cabo una medición exhaustiva de la calidad de energía en la planta de tratamiento de agua potable. Mediante la medición de parámetros como voltaje, corriente, frecuencia, y factor de potencia. Esto incluirá el uso de equipos de análisis (Fluke 434) para identificar problemas relacionados con la calidad de la energía y establecer un análisis base para futuras comparaciones.

- Analizar y comparar datos con respecto a la normativa vigente.

Examinar y cuantificar las mediciones obtenidas. Este análisis permitirá identificar la presencia de perturbaciones en el sistema, evaluar su origen y magnitud.

- Proponer un sistema preventivo y predictivo con el fin de mejorar el rendimiento y optimizar el consumo energético.
- Proponer y recomendar el uso de elementos que permitan mejorar la calidad de energía del sistema sin dimensionar y ni especificar.

1.3 Planteamiento del Problema

El estudio se centra en evaluar y proponer mejoras de calidad energética de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Nueva Atacama, mediante un analizador de red. Se evaluará la calidad de energía utilizada en la planta con tal de identificar

oportunidades de mejora, como la implementación de tecnologías más eficientes. El objetivo es reducir el consumo de energía y el cuidado del sistema eléctrico sin comprometer la calidad del proceso y proteger de manera eficiente los equipos involucrados.

1.4 Alcance del Proyecto.

El presente proyecto está orientado a realizar un estudio de calidad energética mediante el análisis de armónicos y otras variables medidas por el analizador de calidad de energía Fluke 434 en la sala eléctrica N°1 de la planta de tratamiento de agua Placilla Sierralta perteneciente a la empresa Nueva Atacama SA. Respecto al análisis de datos y la propuesta de mejora de calidad de energía no se dimensionarán ni especificarán los elementos propuestos para la mejora de calidad de energía.

1.5 Metodología.

El estudio de eficiencia energética se llevará a cabo utilizando el analizador de calidad eléctrica trifásico Fluke 434 y el software PowerLog Classic. Para ello, se conectará el equipo de medición en la alimentación principal de la sala eléctrica N°1 de la Planta de Tratamiento de Agua Nueva Atacama. Esta conexión permitirá recopilar datos sobre los niveles de armónicos de voltaje y corriente, así como identificar las pérdidas energéticas o alteraciones de voltaje, Flicker y desequilibrios en el sistema. La información obtenida facilitará un análisis detallado de la eficiencia energética y calidad de la energía en la planta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Descripción de Grupo Aguas Nuevas S.A.

Aguas Nuevas nació en 2004 como operador de las empresas sanitarias de las principales áreas urbanas de las regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá (Aguas del Altiplano), de la Araucanía (Aguas Araucanía) y de Magallanes (Aguas Magallanes). En la actualidad Aguas Nuevas S.A. es propiedad de Marubeni Corporation e Innovation Network Corporation of Japan; cada una de estas compañías posee un 50% de la propiedad de Aguas Nuevas.

Grupo Aguas Nuevas a través de sus filiales, tiene por objeto principal la producción y distribución de agua potable, así como la recolección, disposición y tratamiento de aguas servidas, contribuyendo a optimizar la calidad de vida de nuestros clientes, mediante la mejora continua de sus procesos, esto, con la participación permanente de nuestros colaboradores y bajo un estricto cumplimiento de los estándares del Sistema de Gestión Integrado de Calidad, Medio Ambiente, y de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Las filiales pertenecientes al Grupo Aguas Nuevas comprenden: Aguas del Altiplano (regiones de Arica-Parinacota y Tarapacá), Aguas Araucanía (Región de la Araucanía), Aguas Magallanes (Región de Magallanes), Aguas Nueva Atacama (Región de Atacama), Aguas Décima (Región de los Ríos) y Enernuevas ligada al negocio de la generación eléctrica. Según información pública, las tres primeras empresas atienden a más de 443.000 clientes lo que representa una cuota de mercado de 8,4%, los que representan una población aproximada de 1,4 millones de personas. En 2023 Aguas Nuevas es el tercer operador más grande en Chile, con presencia en 6 regiones y una cobertura superior a 2,3 Millones de personas.

2.1. Objeto social Grupo Aguas Nuevas.

Desarrollar negocios en las áreas sanitarias, energéticas, telecomunicaciones y servicios públicos en general, y cualquier otro relacionado a los anteriores, a través de sociedades constituidas o que se constituyan para tales propósitos. Asimismo, podrá prestar servicios en las áreas de gestión de negocios, asesoría legal, técnica y financiera, estudios de mercado, desarrollo de proyectos de ingeniería, implementación de políticas corporativas en las áreas

comercial, recursos humanos, operativa o financiera y otras actividades relacionadas. Para el cumplimiento de su objeto, la sociedad podrá ejecutar todos los actos y celebrar todos los contratos, incluido el de sociedad, necesarios o convenientes a los fines indicados, al cabal desarrollo de su objeto o a la inversión de los fondos disponibles de la sociedad

Figura 2.1 Filiales Pertencientes al Grupo Aguas Nuevas S.A.



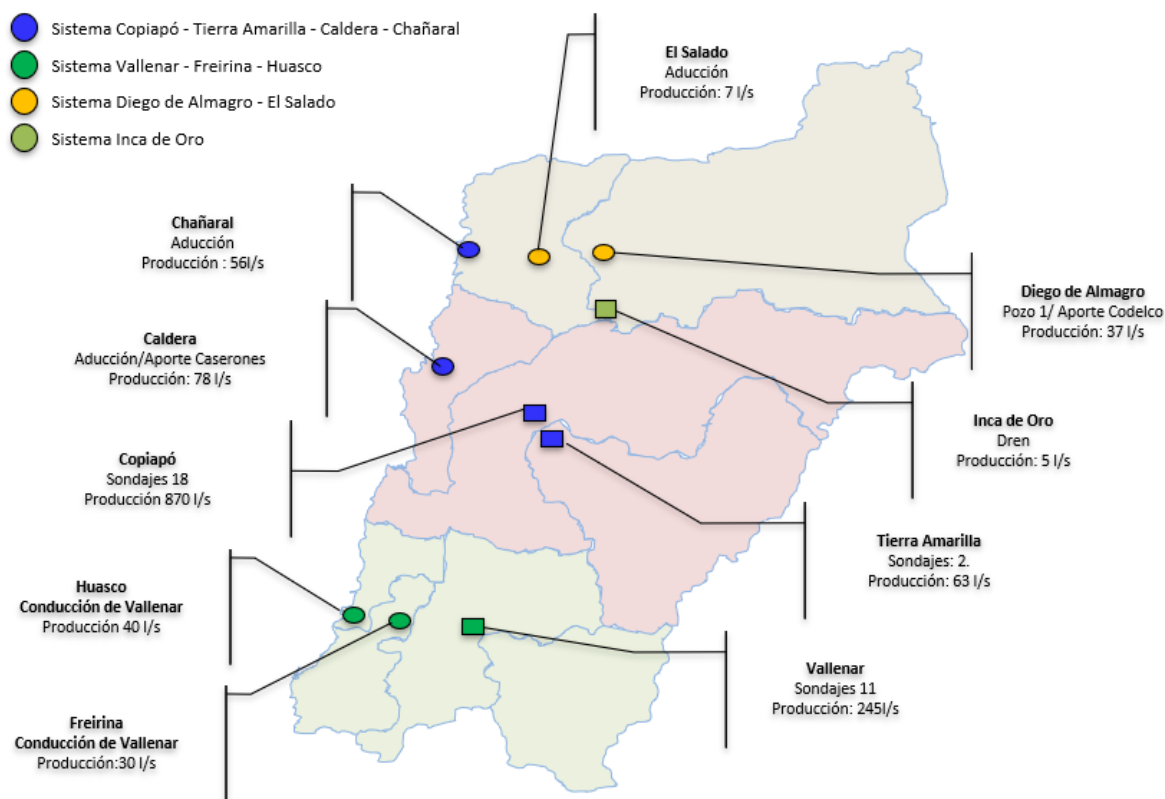
2.2 Descripción de Nueva Atacama S.A.

Nueva Atacama es una sociedad y empresa filial al Grupo Aguas Nuevas dedicada a la producción y distribución de agua potable, además de prestar servicio de evacuación de las aguas servidas.

Categorizado como mercado cautivo Nueva Atacama se encuentra presente en la totalidad de la Región de Atacama entregando servicio continuo a clientes residenciales, comerciales, industriales y fiscales comprendidos en las localidades de Caldera, Chañaral, Copiapó, Diego de Almagro, El Salado, Freirina, Huasco, Tierra Amarilla y Vallenar prestando servicios sanitarios a más de 99.000 clientes. Sus principales clientes a nivel regional son:

- Compañía contractual Minera Candelaria.
- Sociedad Punta del Cobre S.A.
- Disal Chile.
- Municipalidad de Vallenar.
- Municipalidad de Copiapó.
- Punta del Cobre

Figura 2.2 Sistema de Producción - Depuración Nueva Atacama.



2.2 Visión Empresarial.

En el Grupo Aguas Nuevas aspiramos a ser reconocidos como una empresa que contribuye a mejorar la calidad de vida de nuestros clientes.

Ésta es nuestra declaración de principios básica, y lo que orienta nuestras acciones.

2.2 Misión de Nueva Atacama S.A.

Entregamos servicios sanitarios a los clientes satisfaciendo en cada momento sus necesidades, contribuyendo a la mejora del medio ambiente y al desarrollo de las ciudades donde operamos.

Entendemos que la participación de nuestros trabajadores es imprescindible, por lo que estamos comprometidos con su desarrollo personal y profesional.

Debemos garantizar que nuestros accionistas perciban una rentabilidad atractiva dentro de la industria, en un proyecto de largo plazo y crecimiento sostenido.

Somos sensibles a la diversidad geográfica y cultural de las distintas regiones en las que

estamos presentes, por lo que nos preocupamos de generar una única identidad que respete y cuide la diversidad que nos enriquece.

2.2 Visión de Nueva Atacama.

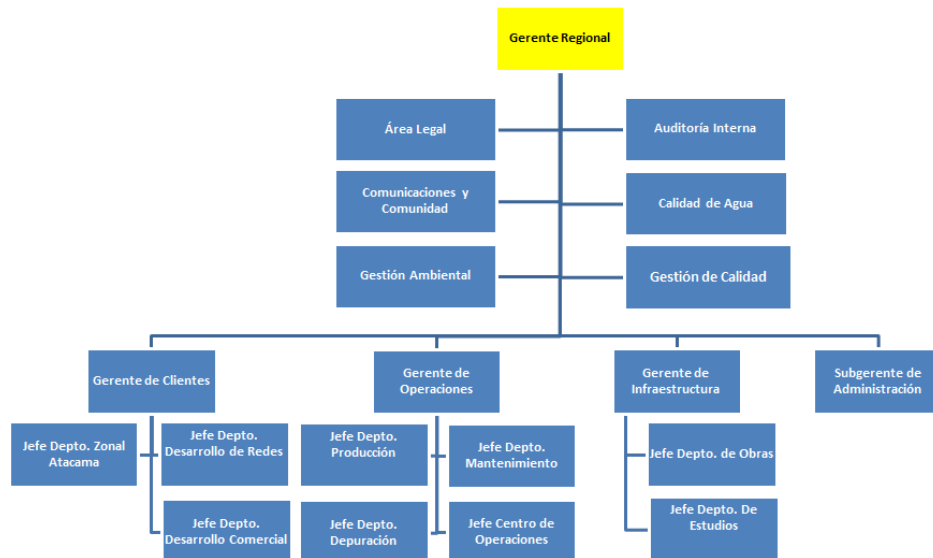
En Nueva Atacama creemos firmemente que las cosas no pueden hacerse de cualquier manera, por lo que compartimos sólidos valores que nos identifican y nos distinguen. Amabilidad, Esfuerzo y Honestidad.

2.2 Objetivos estratégicos.

Los objetivos estratégicos de Nueva Atacama son los siguientes:

- Satisfacción de los Clientes.
- Desarrollo de los Trabajadores.
- Desarrollo Comunidades donde estamos presentes.
- Desarrollo Sostenible.
- Rentabilidad y Crecimiento.

Figura 2.3 Organigrama Nueva Atacama.

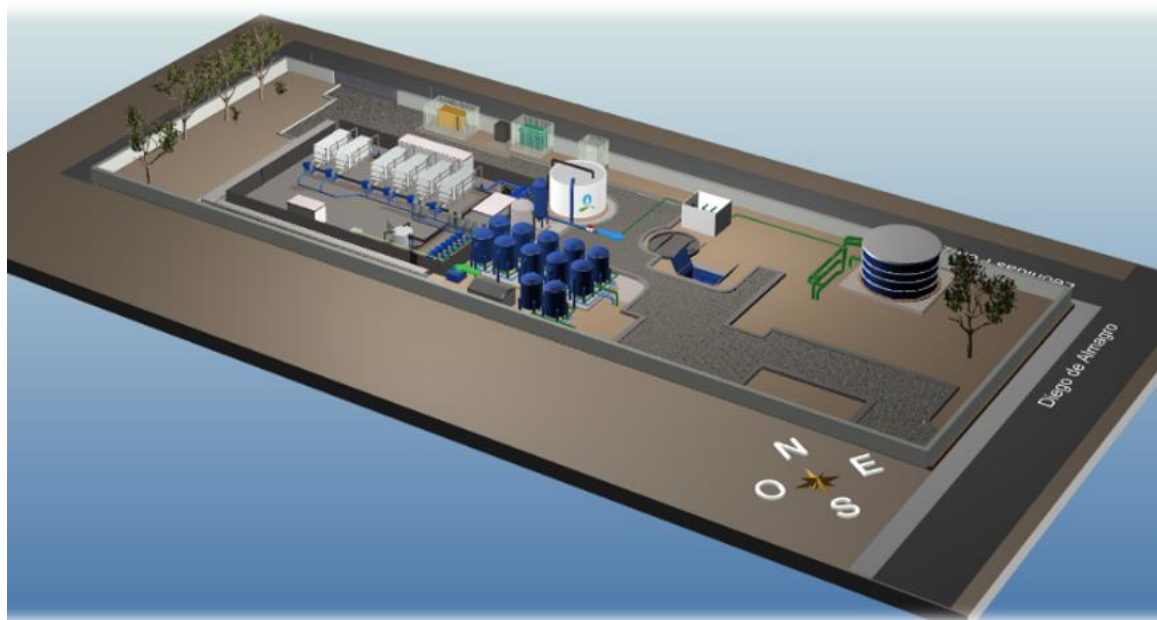


2.3 Descripción de unidad bajo estudio.

La planta de osmosis inversa Placilla Sierralta es una planta de purificación de agua ubicada en la ciudad de Copiapó, perteneciente a la empresa Nueva Atacama S.A.

Diseñada para una operación continua de 24 horas, su rol principal es la producción de agua potable mediante el uso de membranas de osmosis inversa, siendo capaz de producir hasta 240 litros por segundo de agua osmotizada, la cual es posteriormente mezclada con una fracción de agua cruda superando de esta manera los 400 litros por segundo de agua potable (debidamente clorada según NCh. 409 y fluorada según Minsal) con tal de suministrar a la ciudad de Copiapó.

Figura 2.4 Planta de Osmosis inversa Placilla Sierralta.



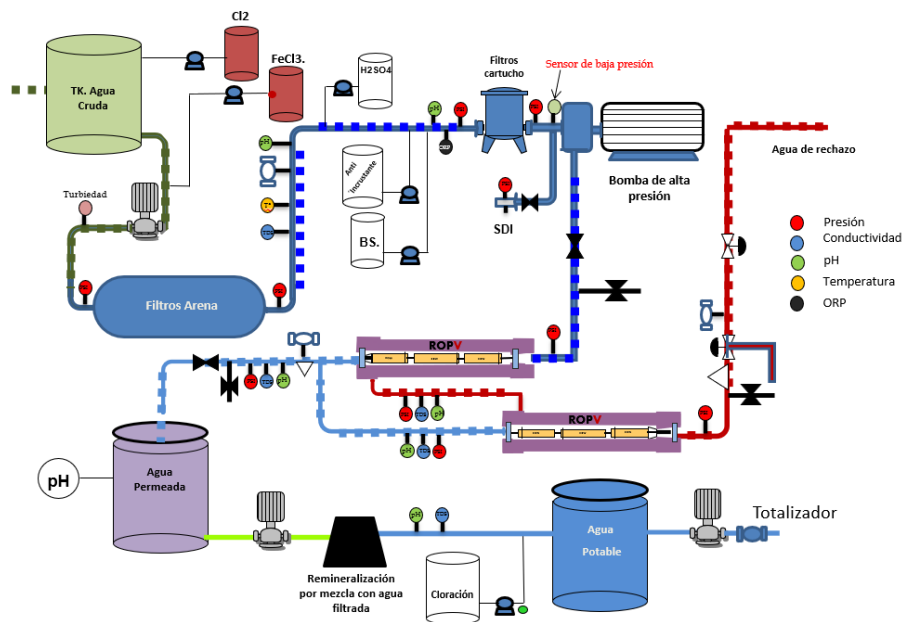
POI Placilla Sierralta consta de las siguientes etapas en su proceso de elaboración de agua potable:

1. Etapa de Pretratamiento: En esta etapa se recibe el agua cruda proveniente de pozos para ser posteriormente impulsada mediante bombas y posteriormente filtrada a través del uso de filtros de arena y filtros de cartucho los cuales permiten reducir la cantidad de sólidos que pueda ingresar a la planta como medida de protección.

Además, se inyectan dos químicos relevantes para el proceso, uno llamado metabisulfito de sodio utilizado para reducir los índices de cloro en el agua y antiincrustante para evitar incrustaciones sólidas en las tuberías, bombas y membranas utilizadas a lo largo del proceso.

2. Filtrado mediante membranas de ósmosis inversa: El agua cruda pretratada es impulsada mediante bombas de alta presión a los módulos de ósmosis inversa produciendo de esta manera agua osmotizada y agua de descarte, estos módulos constan de dos etapas de filtrado permitiendo de esta manera recuperar parte del agua descartada. Una vez obtenida el agua osmotizada es enviada al TK de agua mezcla donde posteriormente es mezclada con agua cruda.
3. Recepción y producción de agua mezcla: En este punto el agua osmotizada es mezclada con una fracción de agua cruda (sin pretratamiento) con tal de cumplir la normativa establecida, además es clorada, fluorada y mediante bombas de alta presión es enviada a los distintos estanques ubicados en la ciudad.
4. Disposición de agua descartada: El agua descartada durante el proceso de ósmosis es recuperado y enviada mediante bombas de alta presión a clientes de la minería para ser utilizada como agua de proceso.

Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de ósmosis inversa.

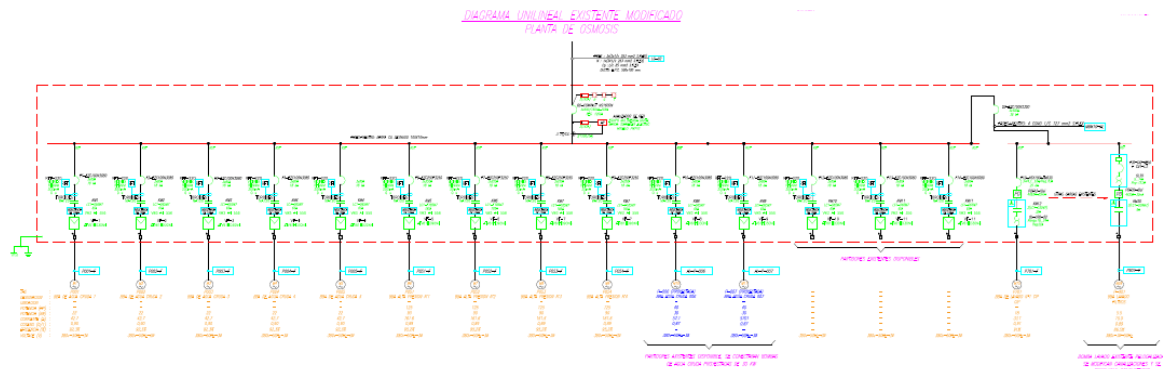


POI Placilla Sierralta al ser una planta de régimen permanente presenta una gran cantidad de bombas las cuales al ser controladas mediante variadores de frecuencia es altamente susceptible a la presencia de corrientes armónicas, debido a su importancia es por lo que se decide realizar el análisis de calidad de energía.

2.4 Descripción del sistema eléctrico

La Planta de osmosis Placilla Sierralta cuenta con dos salas eléctricas alimentadas por la red de distribución perteneciente a CGE de las cuales la Sala eléctrica N°1 fue escogida para realizar este proyecto, esta sala presenta mayor antigüedad y comprende la primera mitad del proceso, alimenta siete bombas de agua cruda de aproximadamente 40HP, tres bombas booster de 40HP y cuatro bombas de alta presión de 120HP siendo un total de doce bombas las cuales trabajan en régimen permanente, sin considerar que además posee bombas dosificadoras y agitadores manuales. A continuación, la figura 2.6 representa el diagrama unilineal perteneciente a la sala eléctrica N°1

Figura 2.6 Diagrama Unilineal Sala eléctrica N°1.

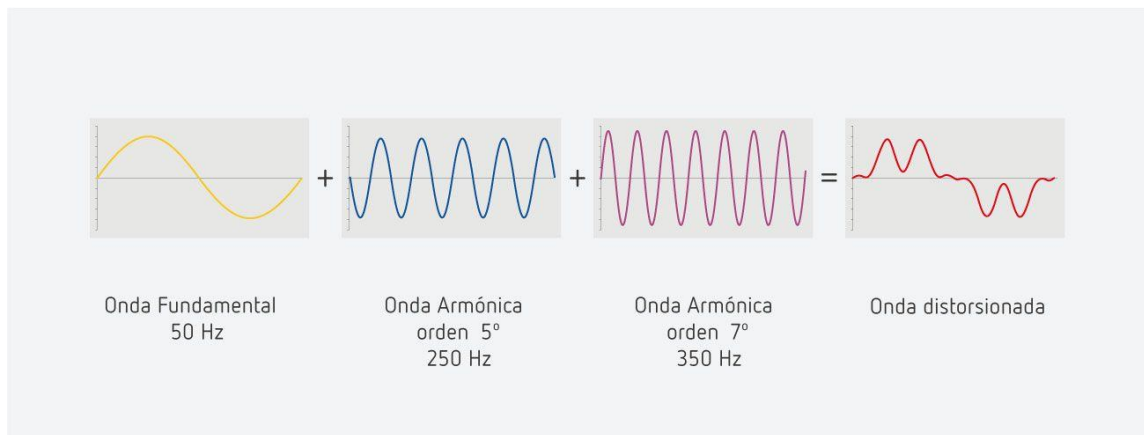


2.5 Definición de Armónicos.

Un armónico se define como un voltaje o corriente que se presenta en múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema. Los armónicos pueden entenderse como deformaciones en la forma de onda de voltaje o corriente que se desvían de la forma senoidal ideal. En otras palabras, toda forma de onda medida en un sistema eléctrico además de tener una componente fundamental a 50 o 60Hz poseen componentes armónicas de

mayor frecuencia, estos armónicos pueden clasificarse en diferentes órdenes, siendo los más comunes los armónicos impares, como el 3° y el 5°, que tienden a tener un impacto más significativo en la calidad de la energía incluye una serie de frecuencias adicionales a las cuales llamamos armónicos eléctricos. Como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 2.7 Ejemplo Descomposición de una onda distorsionada.



2.5 Análisis de Fourier para señales periódicas.

El análisis de Fourier es una herramienta matemática que permite representar y descomponer cualquier señal periódica compleja como la suma infinita o finita de funciones para el caso de las ondas armónicas estas serían la suma de las diferentes ondas sinusoidales

Es necesario cumplir con las siguientes condiciones para realizar de manera correcta el análisis de Fourier en armónicos:

- Que la integral a lo largo de un periodo de la función sea un valor finito.
- Que la función posea un número finito de discontinuidades en un periodo.
- Que la función posea un número finito de máximos y mínimos en un periodo.

A continuación, se presenta la expresión matemática para una señal periódica $I(t)$:

$$I(t) = I_0 + \sum_{n=1}^N [A_n \cdot \sin(n \cdot \omega t - \phi_n)]$$

Tabla 2.1 Tabla de armónicos de las ondas más comunes.

CLASE DE ONDA	DESCOMPOSICIÓN ARMÓNICA
Onda seno	$Y=a \text{ sen } \theta$
Rectificación de media onda	$Y=a/\pi+0.5\text{sen } \theta-(2/1.3)\text{cos}2\theta-(2/3.5\pi)\text{cos}4\theta\dots$
Rectificación de onda completa	$Y=2a/\pi+(2/1.3)\text{cos } 2\theta-(2/3.5\pi)\text{cos } 4\theta-(2/5.7)\text{cos } 6\theta\dots\dots$
Rectificación de M fases	$Y=(am/\pi)\text{sen } \pi\theta/m+(2/(m^2-1))\text{cos } m\theta-(2/(4m^2-1))\text{cos } 2\theta+(2/(9m^2-1))\text{cos } 3m\theta\dots\dots$
Onda triangular	$Y=8a/\pi^2 [\text{sen } \theta-(1/9)\text{sen } 3\theta+(1/25)\text{sen } 5\theta+(1/49)\text{sen } 7\theta\dots$
Onda rectangular	$Y=4a/\pi [\text{sen } \theta-(1/3)\text{sen } 3\theta+(1/5)\text{sen } 5\theta+(1/7)\text{sen } 7\theta\dots$
Onda de tres niveles	$Y=3.4641a/\pi [\text{cos } \theta-(1/5)\text{cos } 5\theta+(1/7)\text{cos } 7\theta+(1/11)\text{sen } 11\theta\dots]$

A continuación, se indica la representación de las señales armónicas con respecto a la componente fundamental:

Figura 2.9 Espectro de armónicos con respecto a la onda fundamental.



2.5 Distorsión armónica total (THD).

La THD o distorsión armónica total es un valor concreto que expresa la distorsión armónica como un porcentaje de la componente fundamental. Se obtiene al dividir el valor RMS de los componentes armónicos por el valor RMS de la componente fundamental. Cuanto mayor sea la THD, más distorsionada estará la forma de onda y es importante mencionar que la THD se puede aplicar tanto a la corriente como al voltaje de un sistema eléctrico.

El valor RMS de los armónicos para corriente o voltaje se calcula como la raíz cuadrada del cuadrado de las magnitudes de los armónicos, representado en la siguiente fórmula:

$$V_H = \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 \dots}$$

Por último, para calcular el THD se debe dividir el valor RMS anteriormente obtenido por el valor de la componente fundamental.

$$THD_V = \frac{V_H}{V_1} \times 100$$

2.6 Causas y consecuencias de los armónicos.

2.6 Causa de los armónicos.

Las corrientes de carga armónicas son principalmente generadas y producidas por cargas no lineales, a continuación, se definen y ejemplifican las cargas lineales y no lineales.

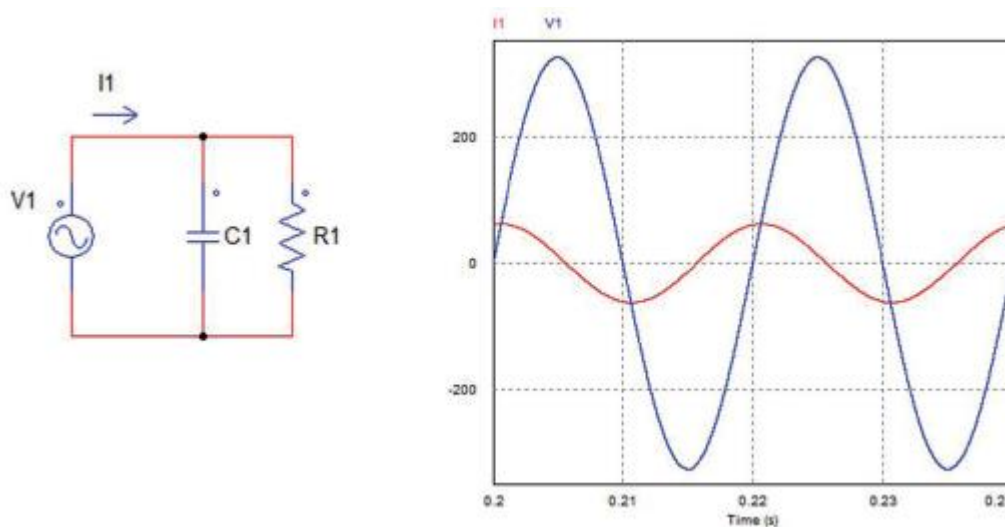
2.6 Cargas Lineales.

Una carga lineal es aquella que consume corriente instantánea proporcional a la tensión

aplicada, es decir, su impedancia se mantiene constante a lo largo de todo el periodo. Las cargas lineales se pueden clasificar como resistivas, capacitivas, inductivas o combinaciones de algunas de ellas, como, por ejemplo:

- Calentadores eléctricos.
- Transformadores.
- Motores.

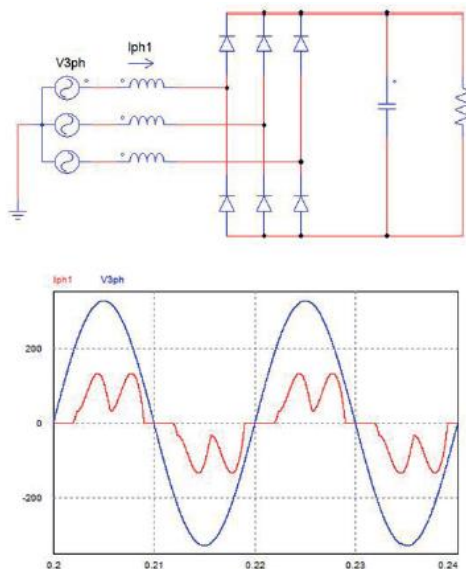
Figura 2.10 Ejemplo de carga lineal formada por la combinación de un condensador y resistor.



2.6 Cargas no Lineales.

Una carga no lineal al contrario que las cargas lineales cambia su impedancia en función de la tensión instantánea aplicada, dando lugar a una corriente absorbida no sinusoidal, es decir, este tipo de carga no tiene una relación constante entre corriente y tensión. El circuito más conocido para identificar una carga no lineal es el famoso puente rectificador de diodos.

Figura 2.11 Ejemplo de carga no lineal correspondiente a un rectificador de 6 pulsos.



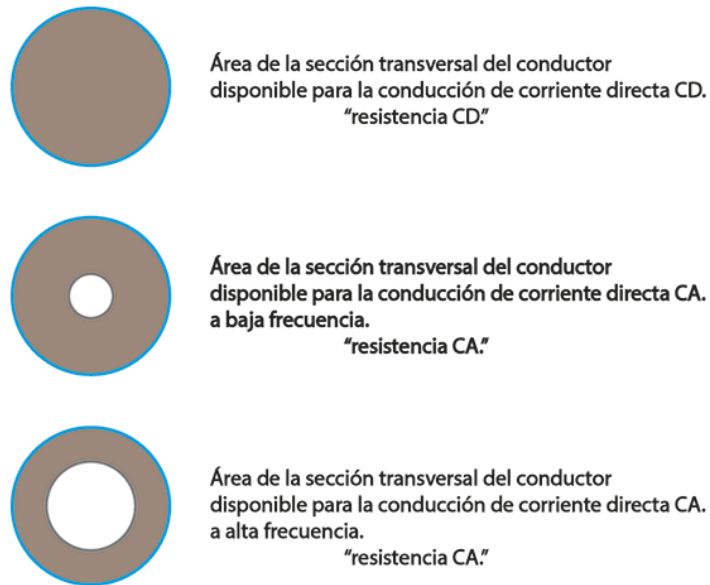
Otros ejemplos de cargas no lineales causantes de generar distorsiones armónicas son: Equipos industriales, VDF, Maquinas para soldar y equipos electrónicos modernos, con esto, podemos observar que estos equipos tienen en común la utilización de dispositivos de potencia como diodos semiconductores, transistores, etc.

2.7 Consecuencias y daños provocados por presencia armónica.

2.7 Efectos y daños sobre el cableado.

La presencia de armónicos en el cableado produce un efecto bastante particular llamado **efecto skin** el cual es el causante de la variación de la resistencia eléctrica (en corriente alterna), de un conductor provocado por la variación de la frecuencia de la corriente eléctrica que circula por dicho conductor. En altas frecuencias los electrones circulan por el área externa del conductor, en vez de utilizar toda su sección, aumentando la resistencia del conductor.

Figura 2.12 Ejemplo de Representación del efecto skin.



Efecto skin, la profundidad del efecto decrece cuando la frecuencia incrementa

2.7 Efectos en los capacitores.

Si en un sistema de potencia hay capacitores instalados existe la posibilidad de encontrar resonancia entre estos y el sistema. Este efecto genera voltajes y corrientes de mayor magnitud que en el caso de no haber resonancia. ya que la reactancia de los capacitores disminuye con el aumento de la frecuencia, este se comportará como un "sumidero" para corrientes con alta frecuencia armónica provocando el esfuerzo dieléctrico y el calentamiento al interior del capacitor.

2.7 Efectos en los Motores.

En los motores de inducción y maquinas rotativas sincrónicas los armónicos de voltaje puede provocar un aumento en la temperatura de trabajo del equipo debido a las pérdidas en el hierro y en el cobre a altas frecuencias, las corrientes armónicas causan que la máquina necesite más corriente para producir el mismo trabajo, por lo tanto, la eficiencia disminuye y también pueden aumentar la emisión de ruidos audibles

2.7 Otros efectos provocados por la presencia de armónicos en un sistema eléctrico.

A continuación, se indican una gran variedad de efectos provocados por la presencia de armónicos en un sistema eléctrico:

- Disparo intempestivo de interruptores automáticos.
- Interferencias electromagnéticas.
- Sobrecarga en los conductores.
- Desbalance de fases en sistemas trifásicos.
- Vibraciones y sobrecargas en máquinas eléctricas.
- Problemas de calidad de energía.
- Inestabilidad en el sistema eléctrico.
- Perturbaciones en equipos de control.
- Mal funcionamiento de relés de protección.
- Disminución de la impedancia en los condensadores.
- Mediciones erróneas en equipos de medida.
- Empeoramiento de factor de potencia.

2.8 Legislaciones y Normativas asociadas a la eficiencia energética y calidad de energía.

2.8 Ley 21.305.

La Ley N°21.305 política pública clave de eficiencia energética que promueve acciones que beneficien a la ciudadanía a través de la reducción del gasto energético, la disminución de emisiones contaminantes, y una menor dependencia de mercados internacionales. Además, busca optimizar el uso del territorio y aumentar la productividad al disminuir costos de energía. Esta ley comprende los siguientes puntos:

- Institucionalización de la eficiencia energética.
- Gestión energética de grandes consumidores.
- Calificación energética en edificaciones.
- Estándares de eficiencia para vehículos.

- Gestión de Energía en el Sector Público.
- Interoperabilidad para vehículos eléctricos.
- Depreciación acelerada para vehículos eléctricos.
- Normativa hidrógeno.

2.8 Ley 20.936.

La ley N°20.936, establece un marco regulatorio para el sector eléctrico el cual abarca la eficiencia energética y la calidad del suministro. Busca principalmente optimizar el uso de la energía al reducir el consumo y las emisiones, y favorece al desarrollo sostenible. La gran cualidad de esta ley es que incentiva la implementación de tecnologías que mejoren la calidad del suministro eléctrico y establece parámetros para limitar la distorsión armónica en las redes, protegiendo así los equipos eléctricos y garantizando un suministro confiable.

2.8 Reglamento de Calidad de Servicio Eléctrico (DS N°250/2004).

El Reglamento de Calidad de Servicio Eléctrico (DS N°250/2004) establece los estándares que deben seguir las empresas distribuidoras de electricidad para garantizar un suministro confiable y de calidad. Promueve la eficiencia energética mediante la implementación de medidas que optimicen el uso de la energía, Además, establece límites para la distorsión armónica en las redes eléctricas, asegurando que los niveles de armónicos se mantengan dentro de parámetros aceptables con el objetivo de fomentar el uso responsable de la energía y mejorar la calidad del servicio eléctrico.

2.8 Norma técnica de calidad de servicio para sistema de distribución.

La norma técnica es una normativa que busca regular el correcto funcionamiento del sector eléctrico. Esto comprende aspectos técnicos, de seguridad, coordinación, calidad, información y económicos. La norma técnica principalmente se enfoca en establecer exigencias y estándares de calidad de servicio para los Sistemas de distribución de energía eléctrica, aplicables a las empresas distribuidora, también incluye requisitos que deben

cumplir las distribuidoras de electricidad y establece estándares para la calidad de producto de equipos e instalaciones de usuarios, independientemente de su condición como propietarios, arrendatarios o usufructuarios, que estén conectados a las instalaciones de una distribuidora.

2.8 Norma IEEE 519 1992.

La norma "IEEE 519-1992" establece recomendaciones prácticas y requisitos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia. Se centra en la importancia de monitorear y controlar los armónicos para evitar distorsiones que pueden afectar la eficiencia y seguridad de los sistemas eléctricos. Además, destaca la necesidad de implementar soluciones como filtros y crear un marco regulatorio que garantice el cumplimiento de los niveles de distorsión armónica en la distribución de energía.

Sus puntos claves son:

- La norma IEEE 519-1992 proporciona directrices para el manejo de armónicos en sistemas eléctricos.
- Los armónicos pueden causar distorsiones significativas que afectan el rendimiento de los equipos eléctricos.
- Es crucial medir y monitorear los armónicos en los sistemas eléctricos para cumplir con los estándares.
- Se recomienda la instalación de filtros como herramienta para mitigar la distorsión armónica.
- La evaluación de la impedancia de corto circuito es esencial para entender el impacto de los armónicos en un sistema.
- Se deben establecer niveles máximos de distorsión armónica que sean aceptables para los consumidores.
- La simulación y el modelado son herramientas útiles para prever los efectos de los armónicos en los sistemas eléctricos.

Además, esta norma define la distorsión total e individual de voltaje y corriente. El cual

la idea fue restringir la inyección de corrientes armónicas de consumidores individuales para no causar niveles de distorsión de voltaje inaceptables como indica la figura 2.13 y 2.14.

Figura 2.13 Distorsión total e individual de voltaje.

Low-Voltage System Classification and Distortion Limits			
	Special Applications¹	General System	Dedicated System²
Notch Depth	10%	20%	50%
THD (voltage)	3%	5%	10%
Notch Area (A_N) ³	16 400	22 800	36 500

NOTE: The Value A_N for other than 480 V systems should be multiplied by $V/480$.

1 Special applications include hospitals and airports.

2 A dedicated system is exclusively dedicated to the converter load.

3 In volt-microseconds at rated voltage and current.

Figura 2.14 Distorsión total e individual de corriente.

Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69.000V)						
Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_2	<11	11 < h < 17	17 < h < 23	23 < h < 35	35 < h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Where:

I_{sc} = Maximum short-circuit current at PCC.

I_L = Maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

Asimismo, esta norma puede ser útil para asegurar que la distribuidora eléctrica tendrá una operación libre de problemas de armónicos. Debido a la definición de punto común de acoplamiento (PCC), la regulación no toma la preocupación suficiente con los consumidores, ya que define el PCC como el punto donde la distribuidora puede alimentar a varios clientes, lo que es muy fácil de cumplir por ser el punto con la menor impedancia y mayor porcentaje de dilución de armónicas debido a cargas lineales.

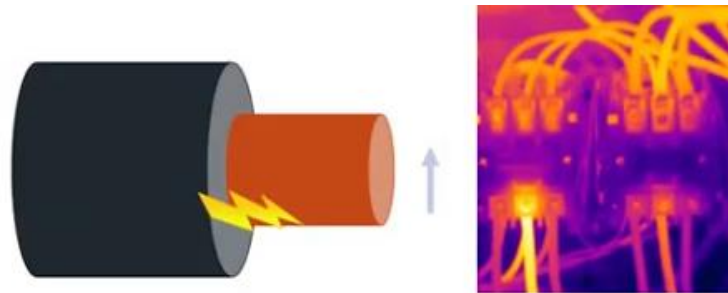
Por lo anterior, no garantiza que el consumidor esté libre de problemas de armónicos para sus equipos en otros puntos aguas abajo. En ese sentido, cumplir también con la regulación en los diferentes POA aguas abajo del PCC garantizaría una operación libre de problemas. Y más aún, todos los equipos no lineales en su entrada debieran cumplir los rangos límites más estrictos de la IEEE 519 1992.

2.9 Detección y medición de armónicos.

Antes de iniciar cualquier tipo de análisis es necesario plantearse la siguiente pregunta ¿Tengo cargas no lineales en mi instalación? Como recordatorio, un ejemplo de las cargas no lineales más frecuentes últimamente en las industrias son los Variadores de frecuencia, la iluminación led e incluso hasta cualquier tipo de carga monofásica electrónica como los computadores, entonces si la existencia de este tipo de equipos en la instalación es real solo falta determinar su cantidad, ya que la probabilidad de presencia de distorsión armónica será directamente proporcional a la cantidad de cargas no lineales presentes en la instalación.

También es posible la detección de armónicos mediante el historial de falla de los diferentes equipos instalados como por ejemplo problemas en motores de inducción o la cantidad de disparos imprevistos de las protecciones diferenciales que puedan asociarse a una mala calidad de energía. incluso el sobrecalentamiento de conductores. Cabe destacar que esto es fácilmente detectable mediante inspección visual, mediciones de corriente y voltaje, y si se tiene presente un eficiente y eficaz mantenimiento preventivo.

Figura 2.15 Anomalia producida por armónicos por alta temperatura en conductores, detectable mediante el uso de pinzas amperimétricas y cámara termográfica.



Circula una mayor corriente eficaz

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$

2.9 Analizador de redes eléctricas local.

Un analizador de red es una herramienta y equipo de medición utilizado para realizar un análisis de las propiedades de una instalación eléctrica, dentro de sus capacidades permite verificar la capacidad de carga, conocer el consumo de la instalación, controlar el voltaje y la sobretensión de una instalación y permite la detección de armónicos, por tanto, su utilización es un gran aporte en el ahorro energético y ayuda a evitar riesgos que puedan deteriorar o dañar equipos asociados a cualquier instalación eléctrica.

Figura 2.16 Analizador de red



2.9 Analizador de calidad de energía portátil.

Un Analizador de calidad de energía portátil es una herramienta avanzada especialmente diseñada para medir la energía en redes eléctricas, este tipo de equipos permite analizar varios aspectos de un suministro de energía eléctrica durante largos períodos de tiempo es capaz de registrar y realizar informes de datos sobre voltaje, corriente, frecuencia, armónicos, y otros parámetros relacionados con la calidad de la energía. Mediante este equipo es posible diagnosticar que ayudan y garantizan el cumplimiento de estándares y optimiza el rendimiento de los sistemas eléctricos.

Figura 2.17 Analizador de Calidad de energía Fluke 435



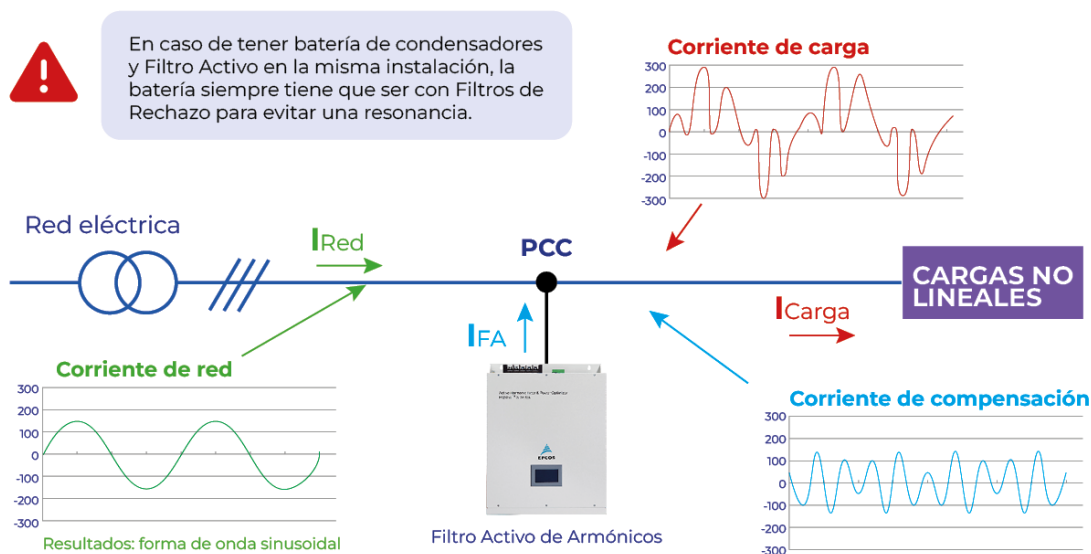
2.10 Acciones y elementos utilizados para mitigar armónicos.

En primer lugar, es necesario mencionar que es imposible eliminar total y completamente la presencia de armónicos de una red o sistema eléctrico, es por ello que normalmente el término utilizado y hablado en este punto es el de “reducir” y “controlar” la generación de dichos armónicos eléctricos. Existen distintos métodos y elementos utilizados para mermar la presencia de armónicos clasificados de la siguiente forma: filtros activos, filtros pasivos y transformadores de aislamiento y de reducción de armónicos.

2.10 Filtros activos de armónicos.

Los filtros activos son equipos electrónicos que compensan la distorsión generada por los armónicos mediante corrientes inversas. Estos filtros se instalan en serie o en paralelo a la carga no lineal con tal de evitar distorsiones en el sistema, además, tienen la capacidad de adaptarse a sistemas con cargas variables, maximizando la eficiencia energética y protegiendo los equipos a largo plazo, se caracterizan por ser equipos compactos, de fácil instalación y de rápida respuesta es importante destacar que estos dispositivos son relativamente costosos y solo se deben utilizar cuando también se han evaluado otros métodos para limitar los armónicos.

Figura 2.18 Filtro activo de armónicos, instalación y compensación.



2.10 Filtros pasivos de armónicos.

Los filtros de armónicos pasivos son filtros de instalación en serie, es decir que la energía eléctrica pasa a través del filtro y que se utilizan para reducir o mitigar los armónicos. Se suelen emplear filtros pasivos con el fin de formar un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas de forma que circulen por el filtro y no por la fuente de alimentación. Este tipo de filtros suelen ser diseñados para un armónico determinado o para una banda ancha de armónicos, dependiendo de las exigencias que se requieran.

Figura 2.19 Filtro pasivo de armónicos.



2.10 Transformadores de aislamiento y de reducción de armónicos (tipo K).

Se trata de transformadores de aislamiento diseñados con una relación de transformación de 1:1, que quiere decir que mantiene el voltaje de entrada y salida a un mismo nivel, estos poseen una pantalla electrostática que filtra y conduce a tierra las señales indeseadas, así el transformador, independiza completamente el suministro eléctrico externo del interno causando que la mayoría de perturbaciones eléctricas externas no ingresen al circuito eléctrico interno, protegiendo de esta manera los equipos conectados de las diferentes perturbaciones que se pueden producir en la red. Los transformadores de aislamiento poseen una clasificación tipo K según el tipo de armónico a soportar, algunos ejemplos a continuación:

- K1: Hornos de resistencia motores, transformadores de control y distribución.
- K4: Soldadoras, hornos de inducción, iluminación fluorescente, control estático.
- K13: Equipos para telecomunicaciones.
- K20: Centros de datos, accionamientos de velocidad variable, equipos para elaboración de datos.

Figura 2.20 Transformador de aislamiento tipo K.



CAPÍTULO III

UTILIZACIÓN DE ANALIZADOR DE CALIDAD ELÉCTRICA Y ENERGÍA FLUKE 434

3.1 Analizador de calidad eléctrica trifásica Fluke 434.

El Fluke 434 es un analizador de calidad eléctrica diseñado para medir y registrar diversos parámetros eléctricos en sistemas de energía. Este dispositivo es fundamental para la identificación y solución de problemas relacionados con la calidad de la energía, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en entornos industriales, comerciales y residenciales.

Figura 3.1 Analizador Fluke 434.



Entre las principales características del analizador Fluke 434 en la medición de calidad de energía se destaca su capacidad para medir voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia. Además, permite un análisis exhaustivo de la distorsión armónica total (THD), fundamental para identificar problemas que afectan la calidad de la energía, así como para evaluar armónicos transitorios y fluctuaciones de voltaje.

El dispositivo cuenta con una funcionalidad de registro que detecta eventos como caídas de tensión y picos, así como otros fenómenos que pueden comprometer la estabilidad de la red eléctrica. Ofrece la posibilidad de almacenar estos registros a lo largo del tiempo, lo que facilita un análisis detallado de la calidad eléctrica en diversas condiciones de operación. Esto permite una evaluación del consumo energético y ayuda a identificar áreas donde se pueden implementar mejoras en eficiencia.

3.2 Consideraciones de seguridad previas a la instalación del analizador de energía Fluke 434.

Antes de usar el Fluke 434 en condiciones de energía viva, es esencial llevar ropa de protección adecuada, como ropa anti-arco o un traje CATU, para garantizar la seguridad del operador. Además, es importante seguir estrictas normas de seguridad y utilizar equipos de protección personal, como guantes aislantes y gafas de seguridad. Asegurarse de que el área de trabajo esté segura y de que el equipo esté en buen estado. La seguridad es la prioridad al trabajar con energía viva.

Figura 3.2 Forma segura de utilizar el analizador de red.



3.3 Paso a paso de la instalación del analizador de calidad eléctrica Fluke 434.

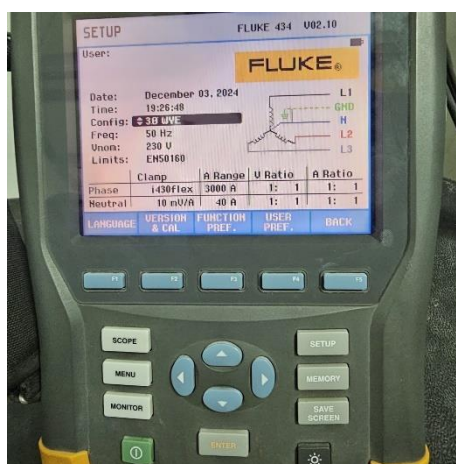
A continuación, se indica el método de instalación y configuración paso a paso para el analizador de calidad eléctrica fluke 434:

- **Encendido y configuración inicial.**
- **Conexiones.**
- **Modos de medida.**
- **Supervisión de la calidad eléctrica.**
- **Registro de datos.**

3.3 Encendido y configuración inicial.

Al encender el equipo, la pantalla de inicio indica los ajustes actuales presentes en el analizador. Es importante observar que la fecha y la hora del reloj del analizador sean correctas. Si es necesario, ajuste los valores de la fecha, la hora y cableado seleccionando estas opciones con las flechas de navegación y presionando enter para escoger la configuración presente en la instalación. Cabe destacar que también es de suma importancia seleccionar el tipo de pinzas amperimétricas utilizadas, la frecuencia nominal del sistema. No es necesario ajustar la tensión nominal ya que el equipo se ajusta automáticamente al medir. En la figura 3.3 se indica la configuración utilizada en este proyecto

Figura 3.3 Ajustes generales de configuración.



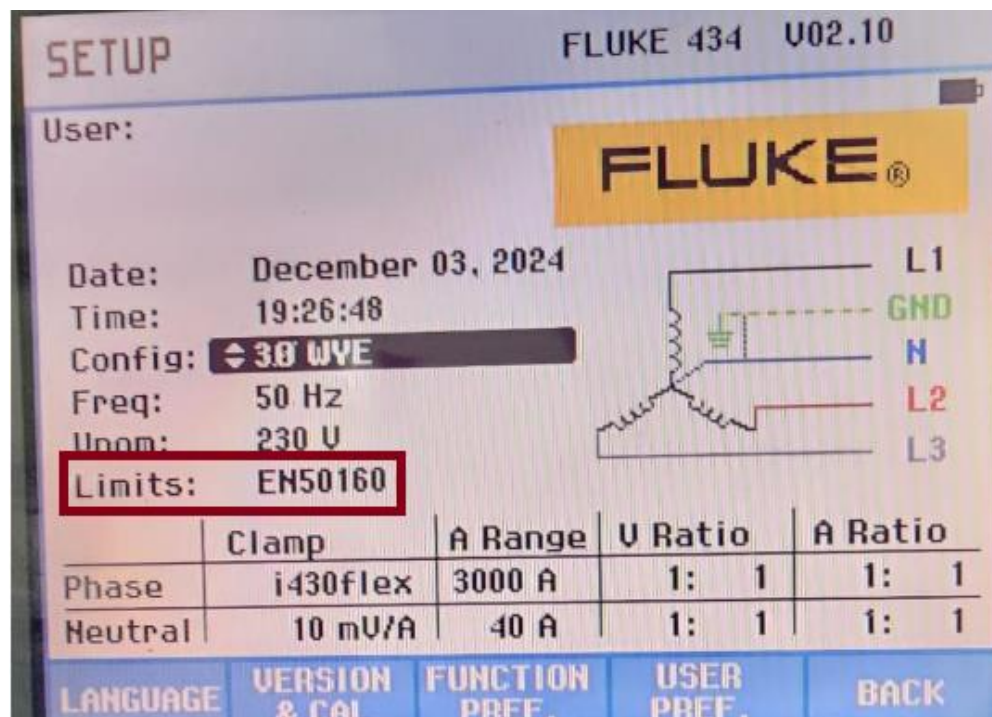
3.3 Configuración de normativas.

Fluke 434 dentro de sus configuraciones permite revisar y modificar las normativas internacionales que especifican el periodo de lectura de datos y la frecuencia de medición. Las normativas establecidas dentro del a norma técnica de calidad de energía en Chile son:

- IEC 61000-4-30:2010.
- EN50160.

En las figuras 3.4 se comprueban la configuración de las normativas:

Figura 3.4 Configuración de Normativa EN50160.

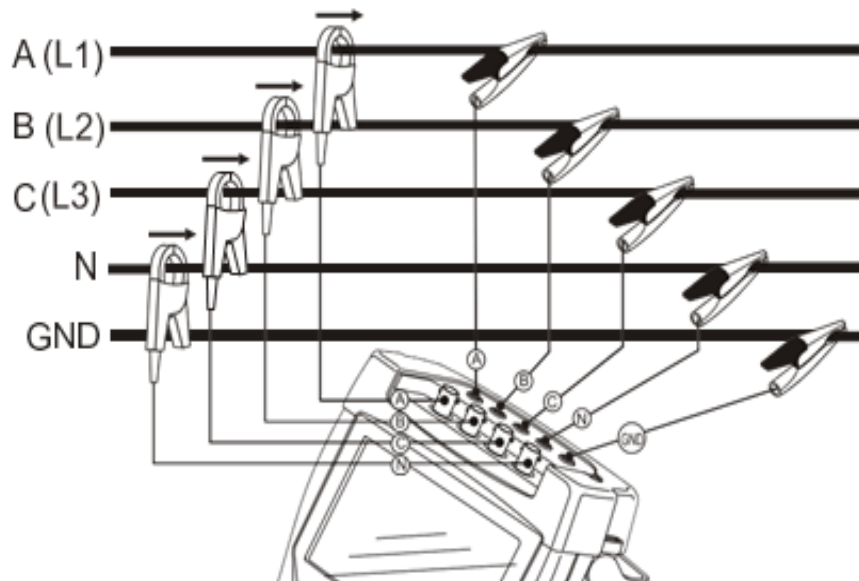


3.3 Conexiones.

El analizador cuenta con cuatro entradas BNC para pinzas amperimétricas y cinco pinzas de entrada para las tensiones.

Instale primero las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N(neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta, una vez instaladas realice las conexiones de tensión empezando con la toma de tierra y luego siga con N, A (L1), B (L2) y C (L3), por último, compruebe las conexiones, en caso de encontrarse mal conectadas las pinzas amperimétricas se observaran valores negativos al momento de medir.

Figura 3.5 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.

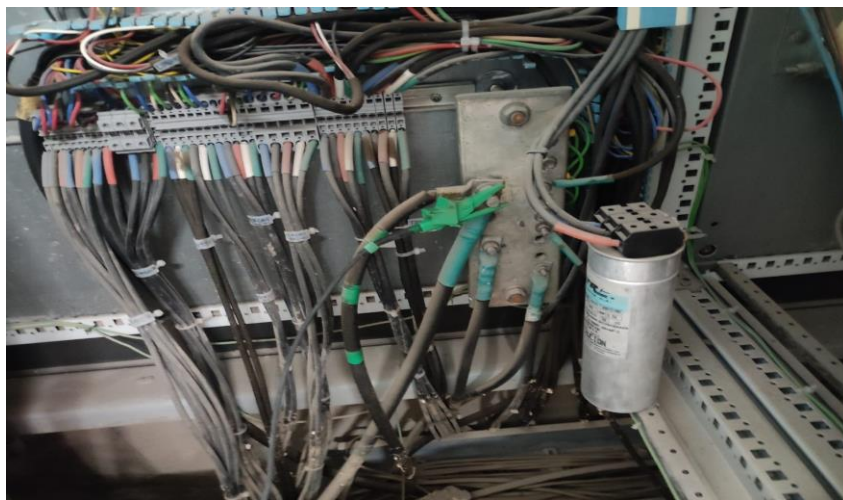


En la figura 3.6 se muestra la conexión realizada en el breaker principal de la sala eléctrica N°1 considerando las medidas anteriormente descritas.

Figura 3.6 Conexión de pinzas amperimétricas y pinzas de tensión en el breaker principal de la sala eléctrica N°1.



Figura 3.7 Conexión a tierra.

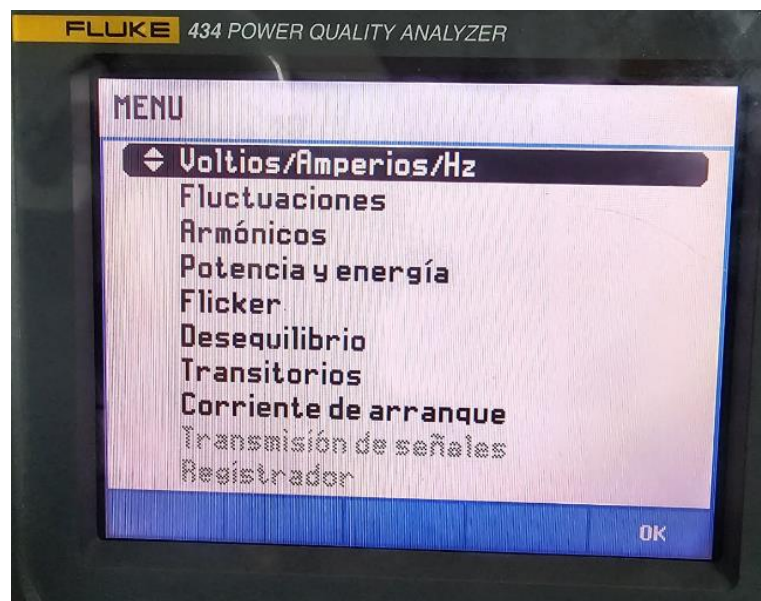


3.3 Modos de Medida.

El analizador mediante el botón “**menú**” permite seleccionar una amplia gama de funciones de medición, cabe destacar que el equipo medirá únicamente este parámetro y además comenzara a medir inmediatamente sin configuración de tiempo por lo cual es necesario detenerlo manualmente al momento de cumplir con el tiempo estimado que se quiera medir. Estas funciones son:

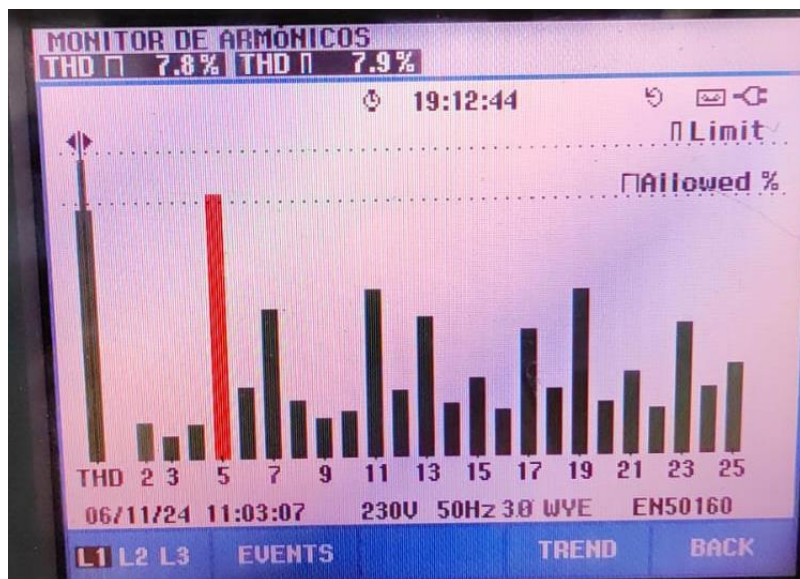
- Tensiones de fase.
- Factor de cresta.
- Armónicos (solo de voltaje)
- Flicker (Parpadeo).
- Fluctuaciones.
- Frecuencia.
- Desequilibrio.

Figura 3.8 Pantalla de modo de medida



En la figura 3.9 se muestra la pantalla función armónicos específicamente midiendo THDV realizada en sala eléctrica N°1.

Figura 3.9 Configuración para medición de armónicos de voltaje.



3.3 Supervisión de calidad eléctrica.

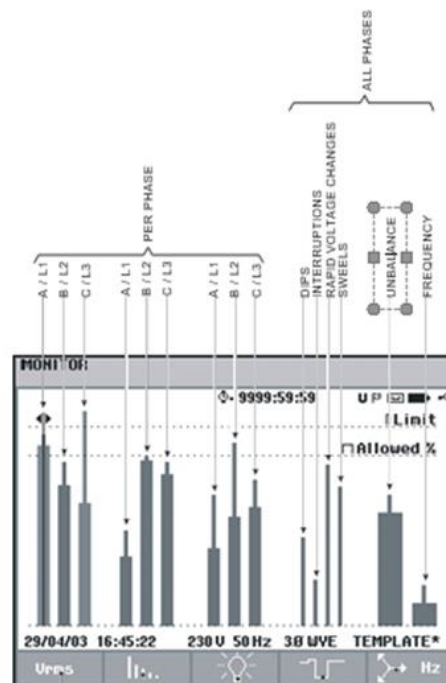
El analizador permite medir múltiples funciones mediante la configuración de monitoreo, este se activa mediante el botón “**monitor**” el cual permite definir el tiempo de duración de la medición y además registrara una serie de datos establecidos por defecto en el equipo, estos datos son:

- Tensiones RMS.
- Armónicos (Solo armónicos de voltaje o THDv).
- Parpadeo (flicker).
- Bajadas/interrupciones/cambios rápidos de tensión/subidas.
- Desequilibrio de frecuencia.

Figura 3.10 Pantalla de configuración modo monitor.



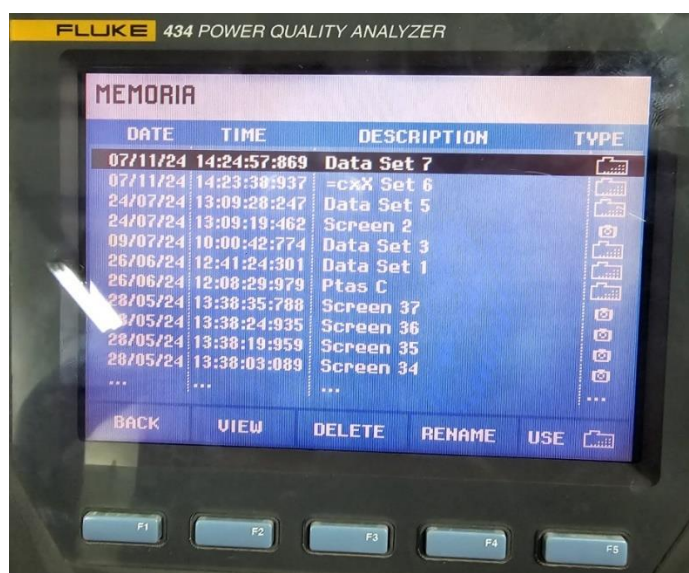
Figura 3.11 Pantalla principal de monitoreo de calidad eléctrica.



3.3 Registro de Datos.

El analizador Fluke 434 mediante la función de guardado o botón “save” permite guardar y seleccionar los datos guardados con anterioridad registrados en el equipo, es necesario recalcar que los datos no se guardan automáticamente por lo cual al salir de cualquier función de medida el equipo indicara que los datos serán eliminados si no se guardan con anterioridad, el equipo permite guardar hasta un máximo de 10 conjuntos de datos y es posible establecer un nombre para identificar la medición realizada.

Figura 3.12 Pantalla principal de registros guardados.



3.4 Lectura y visualización de datos.

Para la visualización de los datos es necesaria la utilización de una computadora y el software “Power Log”, El cual a través de su barra de inicio nos permitirá descargar los datos elegidos mediante el uso de un cable óptico que permitirá la transferencia de los archivos a través de USB, por último, antes de realizar la descarga es necesario seleccionar el archivo a descargar en el analizador Fluke 434.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Regulación de tensión.

Para evaluar la regulación de tensión en un punto de la Red de Distribución se utilizará el siguiente indicador:

$$\Delta V_k = \frac{|V_k - V_n|}{V_n} * 100$$

Donde:

- ΔV_k : Regulación de Tensión en el punto k, en [%].
- V_k : Tensión de suministro en el punto k, determinada como el promedio de las medidas en un intervalo de 15 minutos, en [kV].
- V_n : Tensión Nominal en el punto k, en [kV].

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión en el punto de conexión de los Usuarios, promediados en 15 minutos, deberán ser tales que la regulación de tensión se mantenga dentro de los siguientes límites:

Tabla 3: Límites para Regulación de Tensión

Densidad de la red Tensión de la red	Alta y Media	Baja y Muy Baja
Baja Tensión	± 7,5%	± 10,0%
Media Tensión	± 6,0%	± 8,0%

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

4.1 Datos de tensión por línea.

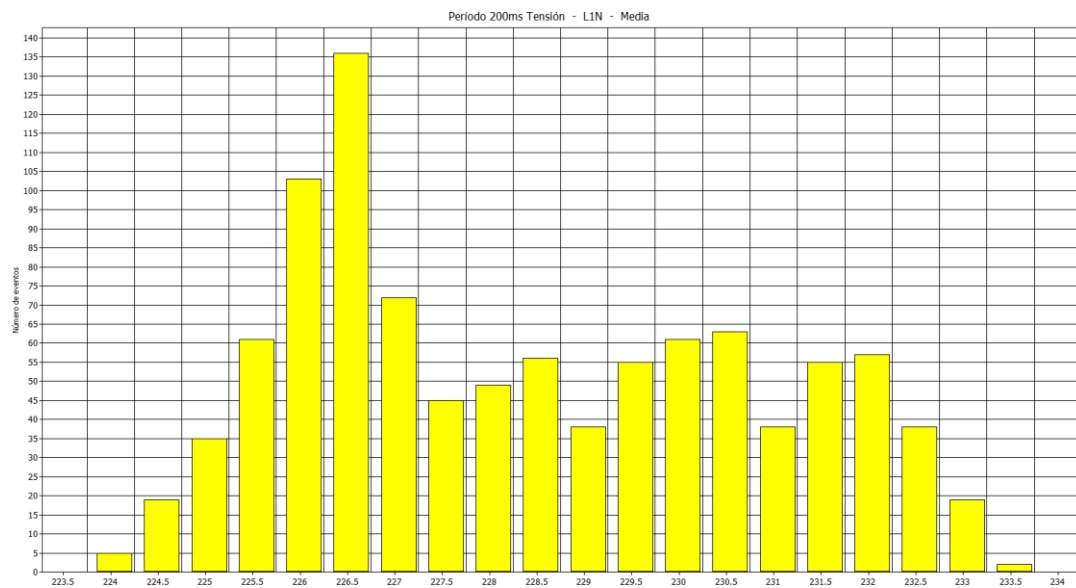
a. Línea 1:

Figura 4.1 Resumen de voltaje Línea 1.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	233.09
En	18/11/2024 02:14:44 a. m.
Valor mínimo	223.54
En	14/11/2024 01:24:44 p. m.
μ	228.171
s	2.37428
5% percentil	225
95% percentil	232.1
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.2 Gráfico de datos de tensión Línea 1.



Fuente: Programa Power Log

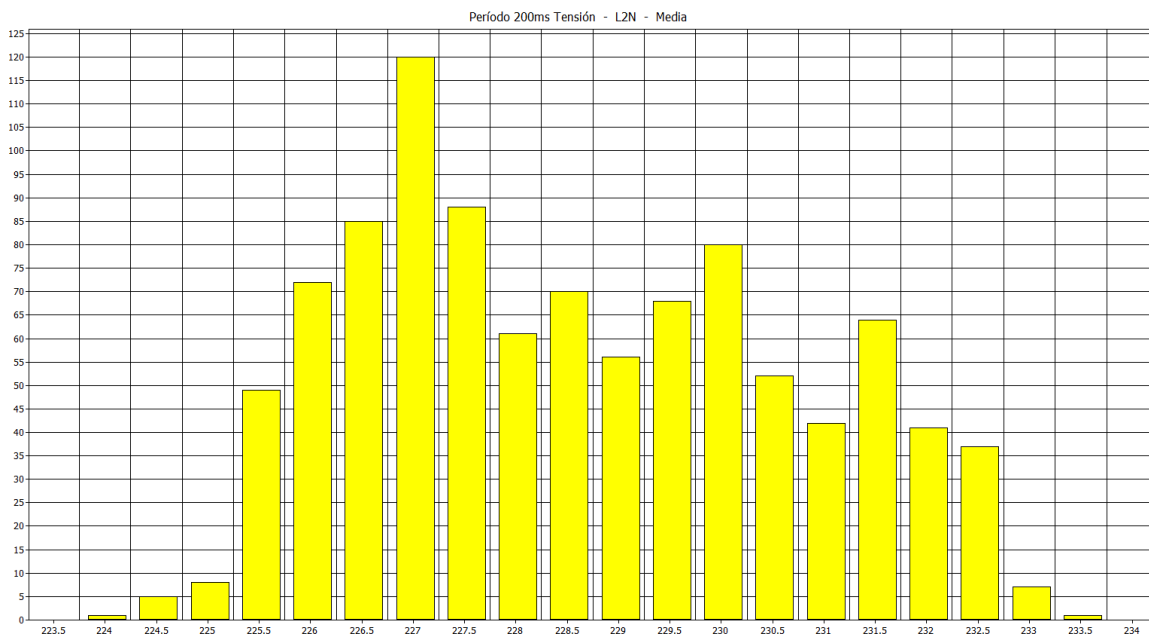
b. Línea 2:

Figura 4.3 Resumen de voltaje Línea 2.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	233.16
En	16/11/2024 07:54:44 a. m.
Valor mínimo	224.02
En	11/11/2024 07:24:44 p. m.
μ	228.366
s	2.07538
5% percentil	225.4
95% percentil	231.9
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.4 Gráfico de datos de tensión Línea 2.



Fuente: Programa Power Log

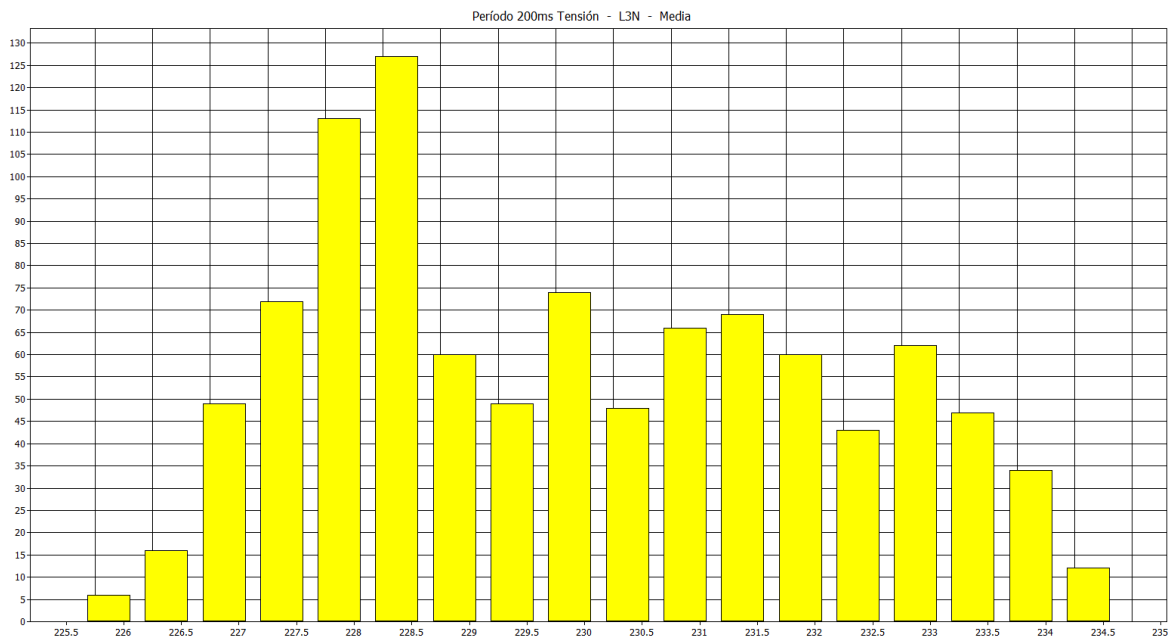
c. Línea 3:

Figura 4.5 Resumen de voltaje Línea 3.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	234.2
En	16/11/2024 07:54:44 a. m.
Valor mínimo	225.37
En	14/11/2024 01:24:44 p. m.
μ	229.669
s	2.14225
5% percentil	226.7
95% percentil	233.3
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.6 Gráfico de datos de tensión Línea 3.



Fuente: Programa Power Log

4.1 Comparativa de datos según regulación de tensión:

Densidad de la red \ Tensión de la red	Alta y Media	Baja y Muy Baja
Baja Tensión	± 7,5%	± 10,0%
Media Tensión	± 6,0%	± 8,0%

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

Tabla 4.1 Promedio de tensiones.

Promedio de tensión	Mínimo	Máximo	Promedio
Línea 1	223.54	233.09	228.3
Línea 2	224.02	233.16	228.6
Línea 3	225.37	234.2	229.8

Tabla 4.2 Normativa de regulación de tensión.

Regulación de tensión	Calculado (%)	Normativa	Cumple
Línea 1	3.78	7.50%	Si
Línea 2	3.90	7.50%	Si
Línea 3	4.45	7.50%	Si

4.2 Desequilibrio de Tensión:

Para evaluar el desequilibrio de tensión en un punto de la Red de Distribución se utilizará el indicador establecido en la norma EN50160-2015:

$$\text{Desequilibrio de Tensión} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right|$$

Donde:

- V^- : Componente de secuencia negativa de la tensión en [V].
- V^+ : Componente de secuencia positiva de la tensión en [V].

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión determinadas como el promedio de las medidas en un intervalo de 15 minutos, deberán ser tales que la componente de secuencia negativa (fundamental) de la tensión no exceda los siguientes límites (respecto de la componente fundamental de secuencia positiva):

Tabla 4: Límites para Desequilibrio de Tensión

Densidad de la red	Alta y Media	Baja y Muy Baja
Límite Desequilibrio de Tensión	2%	3%

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

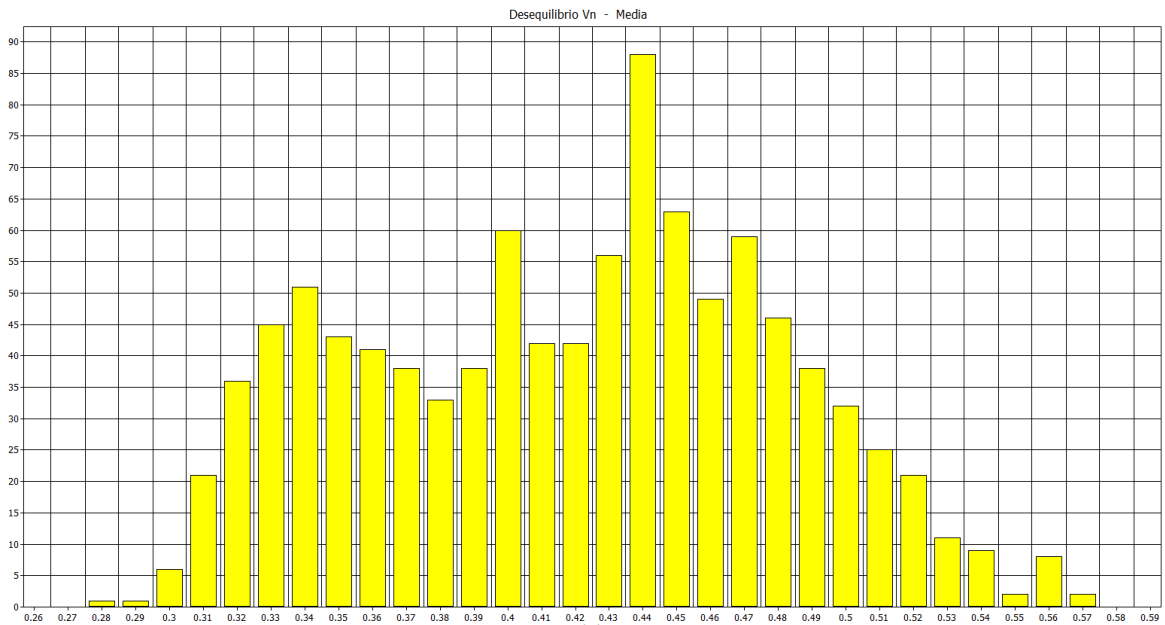
4.2 Resumen de datos de desequilibrio de tensión nominal:

Figura 4.7 Resumen de desequilibrio de tensión.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	0.56 %
En	15/11/2024 11:04:44 a. m.
Valor mínimo	0.27 %
En	17/11/2024 06:04:44 a. m.
μ	0.408947 %
s	0.0613474 %
5% percentil	0.31 %
95% percentil	0.51 %
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.8 Gráfico de datos de desequilibrio de tensión



Fuente: Programa Power Log

4.2 Comparativa de datos según desequilibrio de tensión:

Densidad de la red	Alta y Media	Baja y Muy Baja
Límite Desequilibrio de Tensión	2%	3%

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

Tabla 4.3 Normativa de desequilibrio de tensión.

	Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio	Normativa	Cumple
Desequilibrio de tensión	0.27	0.56	0.42	2%	SI

4.3 Distorsión armónica de Tensión (THDv):

Para evaluar la Distorsión Armónica en un punto de la Red de Distribución se utilizarán los siguientes indicadores:

Distorsión Armónica individual de la tensión (D_{V_j}):

$$D_{V_j} = \frac{V_j}{V_1} \cdot 100$$

Donde:

- D_{V_j} : Distorsión Armónica individual de tensión, para la j-ésima armónica, en [%].
- V_j : Tensión de la j-ésima armónica de la tensión de suministro, en [kV].
- V_1 : Tensión de la componente fundamental de la tensión de suministro, en [kV].

Distorsión Armónica total de la tensión (THD_V):

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^{50} V_j^2}}{V_1} \cdot 100$$

Donde:

- THD_V : Distorsión armónica total de tensión, en [%].
- V_j : Tensión de la j-ésima armónica de la tensión de suministro, en [kV].
- V_1 : Tensión de la componente fundamental de la tensión de suministro, en [kV].

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de cada tensión armónica individual, promediados en 15 minutos, deberán ser menores o iguales a los límites indicados en la siguiente tabla:

Tabla 8: Límites para Índices de Distorsión Armónica Individual expresados en porcentajes de la tensión fundamental

Armónicas impares no múltiplos de 3		Armónicas impares múltiplos de 3		Armónicas Pares	
Orden	Armónica tensión (%)	Orden	Armónica tensión (%)	Orden	Armónica tensión (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
>25	1.5				

Adicionalmente, en Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la tensión promediados en 15 minutos, deberán ser tales que la distorsión armónica total de tensión no supere el 8%, tanto en BT como en MT.

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

4.3 Datos de distorsión armónica de tensión (THDv) por línea:

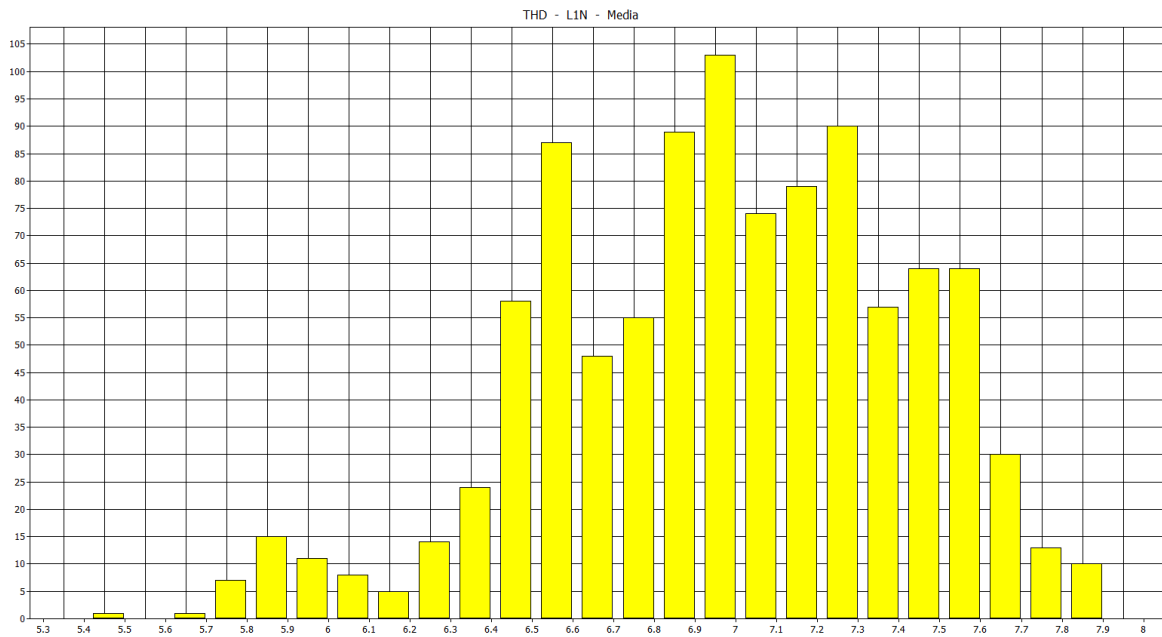
a. Línea 1:

Figura 4.8 Resumen de THDv Línea 1.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	7.86
En	15/11/2024 11:54:44 a. m.
Valor mínimo	5.46
En	16/11/2024 09:14:44 p. m.
μ	6.927
s	0.440429
5% percentil	6.22
95% percentil	7.57
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.9 Gráfico de datos de THDv Línea 1.



Fuente: Programa Power Log

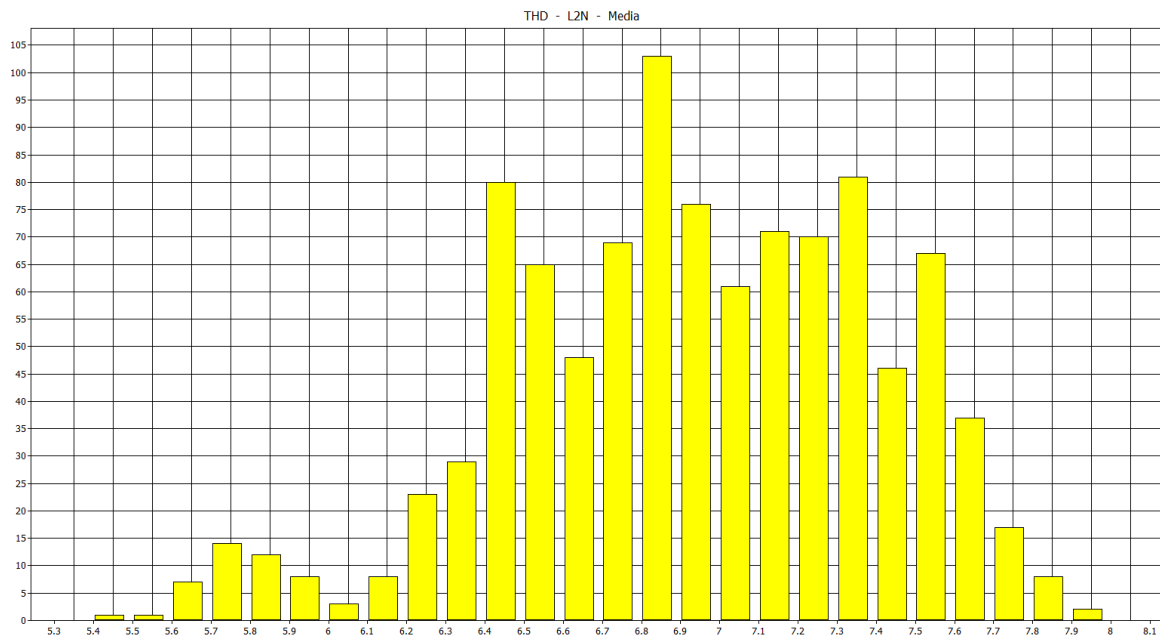
b. Línea 2:

Figura 4.10 Resumen de THDv Línea 2.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	7.86
En	15/11/2024 11:54:44 a. m.
Valor mínimo	5.34
En	16/11/2024 09:14:44 p. m.
μ	6.87166
s	0.46821
5% percentil	6.12
95% percentil	7.57
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.11 Gráfico de datos THDv Línea 2.



Fuente: Programa Power Log

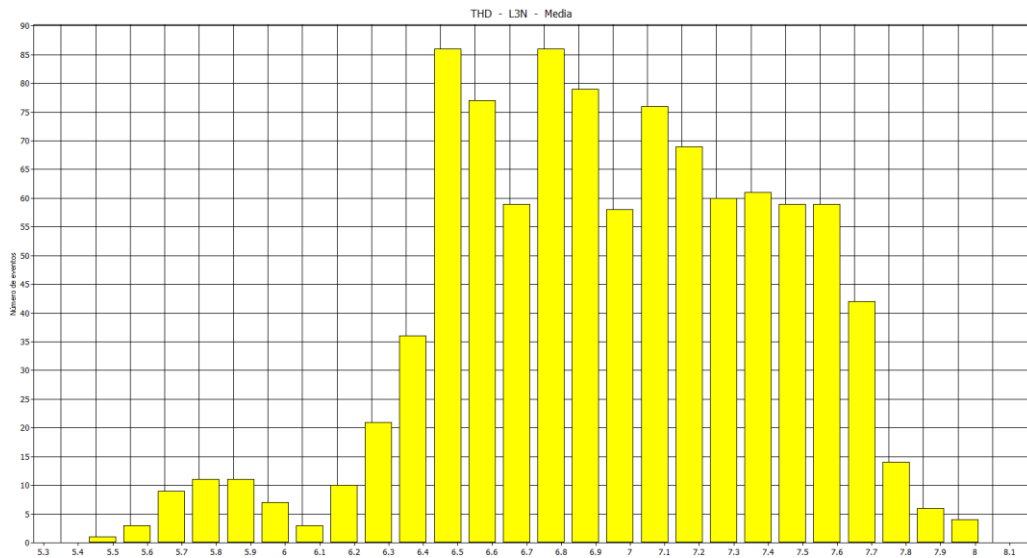
c. Línea 3:

Figura 4.12 Resumen de THDv Línea 3.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	7.9
En	15/11/2024 10:14:44 a. m.
Valor mínimo	5.37
En	16/11/2024 09:14:44 p. m.
μ	6.87919
s	0.475312
5% percentil	6.13
95% percentil	7.6
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.13 Gráfico de datos THDv Línea 3.



Fuente: Programa Power Log

4.3 Comparativa de datos Distorsión armónica de Tensión (THDv) según normativa:

Tabla 4.4 Normativa de THDv.

	THDv (max)	Normativa	Cumple
Línea 1 (%)	7.86	8%	SI
Línea 2 (%)	7.86	8%	SI
Línea 3 (%)	7.9	8%	SI

4.4 Distorsión armónica de corriente (THDi).

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los valores eficaces de la corriente consumida o inyectada por un Usuario conectado en BT, medidos en el Punto de Conexión y promediados en 15 minutos, deberán ser tales que la Distorsión Armónica cumpla con los siguientes límites:

Tabla 11: Límites Distorsión Armónica de corriente en el Punto de Conexión de los Usuarios en Baja Tensión

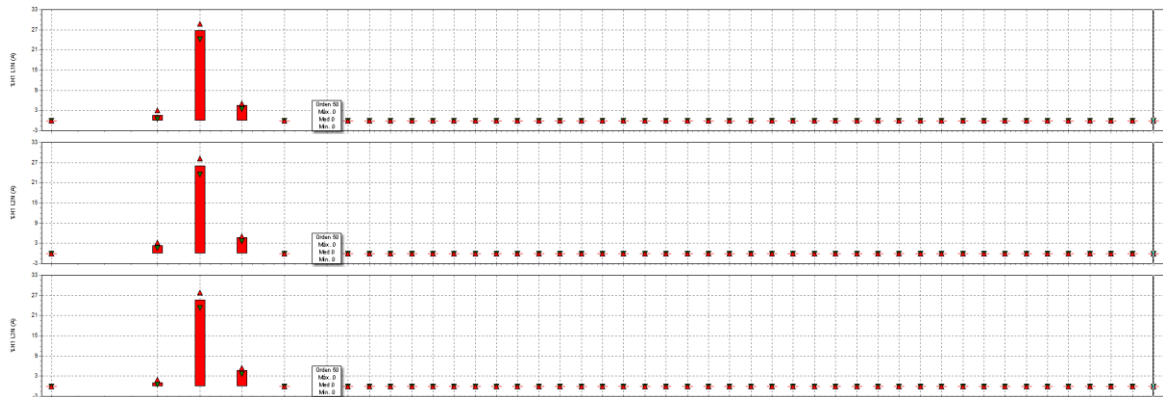
Orden de la armónica (n)	Usuarios de tarifa BT1	Usuarios de tarifas BT, excepto BT1
	Corriente armónica máxima, en (A)	Corriente armónica máxima, en (%) de la corriente fundamental
Armónicos Impares No Múltiplos de 3		
5	2,28	12,0
7	1,54	8,5
11	0,66	4,3
13	0,42	3,0
17	0,26	2,7
19	0,24	1,9
23	0,20	1,6
25	0,18	1,6
>25	4,5/n	0,2+0,8*25/n
Armónicos Impares Múltiplos de 3		
3	4,60	16,6
9	0,80	2,2
15	0,30	0,6
21	0,21	0,4
>21	4,5/n	0,3
Armónicos Pares		
2	2,16	10,0
4	0,86	2,5
6	0,60	1,0
8	0,46	0,8
10	0,37	0,8
12	0,31	0,4
>12	3,68/n	0,3
THD _I	No Aplica	20

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

4.4 Datos de distorsión armónica de corriente (THDi) por línea:

Para el análisis de armónicos de corrientes se despreciarán los armónicos de alta frecuencias mayores al orden 7 ya que los valores son iguales a 0, como se aprecia en la figura 4.14.

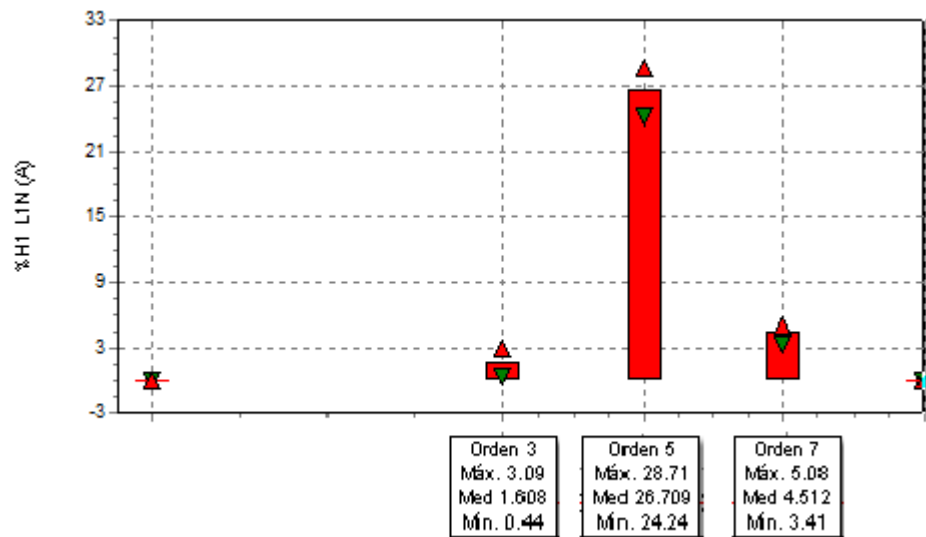
Figura 4.14 Grafico de lectura de armónicos.



Fuente: Programa Power Log

a. Línea 1:

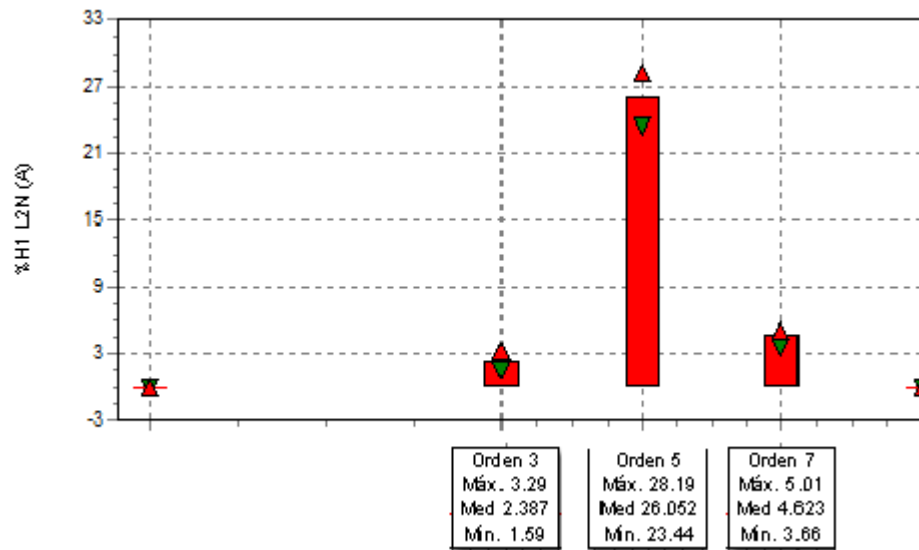
Figura 4.15 Grafico de datos THDi Línea 1.



Fuente: Programa Power Log

b. Línea 2:

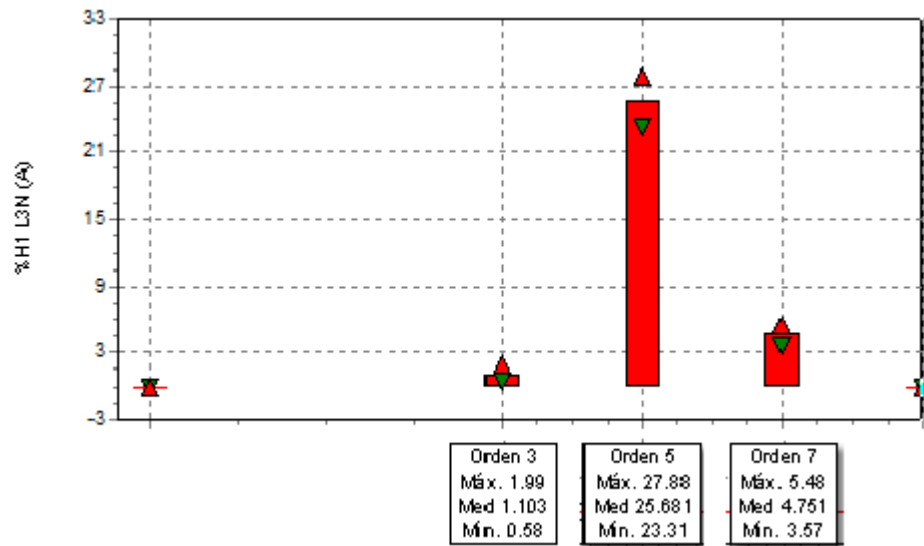
Figura 4.16 Grafico de datos THDi Línea 2.



Fuente: Programa Power Log

c. Línea 3:

Figura 4.17 Grafico de datos THDi Línea 3.



Fuente: Programa Power Log

4.4 Comparativa de datos Distorsión armónica de corriente (THDi) según normativa.

4.5 Tabla normativa THDi.

Armónicos	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Normativa	Cumple
Orden 3 (%)	3.09	3.29	1.99	16.6	Si
Orden 5 (%)	28.71	28.19	27.88	12	No
Orden 7 (%)	5.08	4.623	5.48	8.5	Si

4.5 Severidad de Parpadeo o Flicker (PLT).

Para el análisis de Flicker únicamente se considerará el Plt ya que el analizador no registro valores de Pst. A continuación, se adjunta la normativa incluyendo Pst.

La magnitud de la severidad de parpadeo o *Flicker* de tensión que se presente en los Sistemas de Distribución se medirá en base a índices de severidad de corto plazo (Pst) y de largo plazo (Plt), de acuerdo a lo establecido en la norma IEC 61000-4-15:2010.

De acuerdo a lo establecido en dicha norma, para determinar los indicadores de severidad de Parpadeo se deberán realizar mediciones simultáneas, en las tres fases de un sistema trifásico, de las tensiones fase-fase o fase-neutro, según corresponda, a partir de las cuales se determinará el Pst para cada periodo de 15 minutos, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1s} + 0,0657 \cdot P_{3s} + 0,28 \cdot P_{10s} + 0,08 \cdot P_{50s}}$$

Donde los percentiles $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} corresponden a los niveles de *Flicker* excedidos a lo largo del 0,1; 1; 3; 10 y 50% del tiempo durante el periodo de observación. El sufijo s en la fórmula indica que debería usarse el valor alisado; los cuales se obtienen usando las ecuaciones siguientes:

$$P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}$$
$$P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}$$
$$P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_3 + P_4}{3}$$
$$P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}}{3}$$

Los parámetros establecidos en las expresiones previas deberán ser determinados utilizando un medidor de *Flicker*, de acuerdo a las especificaciones establecidas en la norma IEC 61000-4-15:2010.

Una vez completado un intervalo de dos horas midiendo el índice Pst (doce valores del índice Pst), se debe proceder a evaluar el índice Plt (2 horas) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Plt = \frac{1}{12} \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} Pst_i^3}$$

En Estado Normal y durante el 95% del tiempo de cualquiera semana del año o de siete días corridos de medición y registro, los indicadores Pst y Plt para cada una de las fases de sistemas

trifásicos en BT y MT, deberán ser menores o iguales a los límites indicados en la siguiente tabla:

Tabla 9: Límites para Índices de Severidad de Parpadeo o *Flicker*

Densidad de la Red	Pst (15 minutos)	Plt (2 horas)
Alta y Media	1,0	0,8
Baja y Muy Baja	1,25	1,0

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

4.5 Resumen de datos Flicker por línea (PLT):

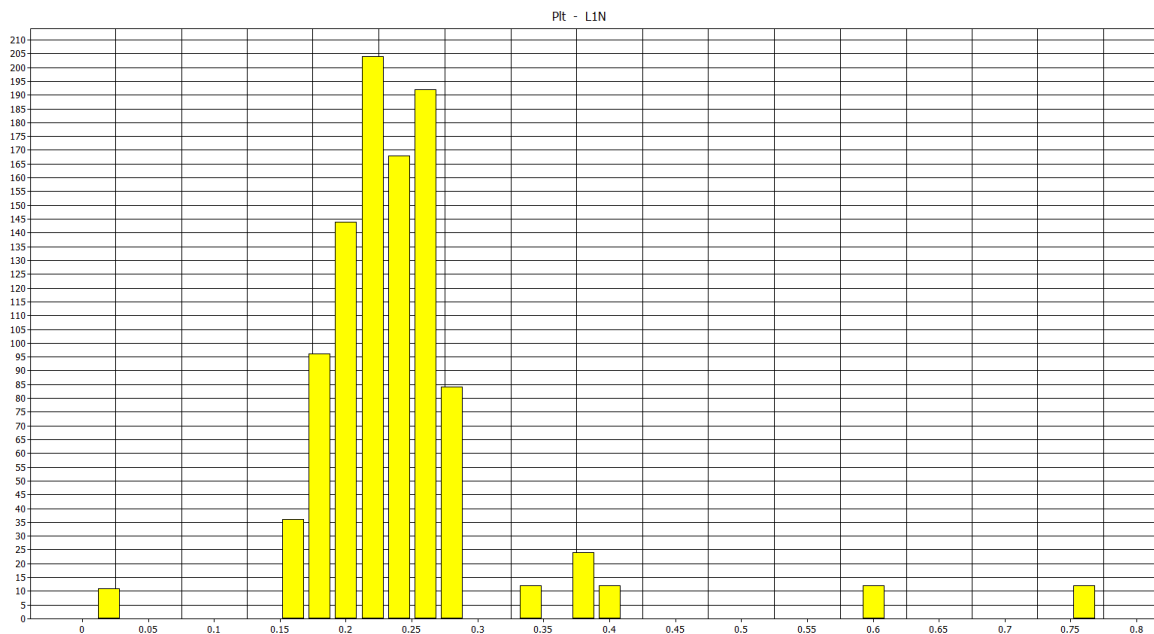
a. Línea 1:

Figura 4.14 Resumen de datos de Flicker Línea 1.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	0.745
En	12/11/2024 07:44:44 a. m.
Valor mínimo	0
En	11/11/2024 03:54:44 p. m.
μ	0.232099
s	0.0850082
5% percentil	0.162
95% percentil	0.362
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.15 Grafico de datos de Flicker Línea 1.



Fuente: Programa Power Log

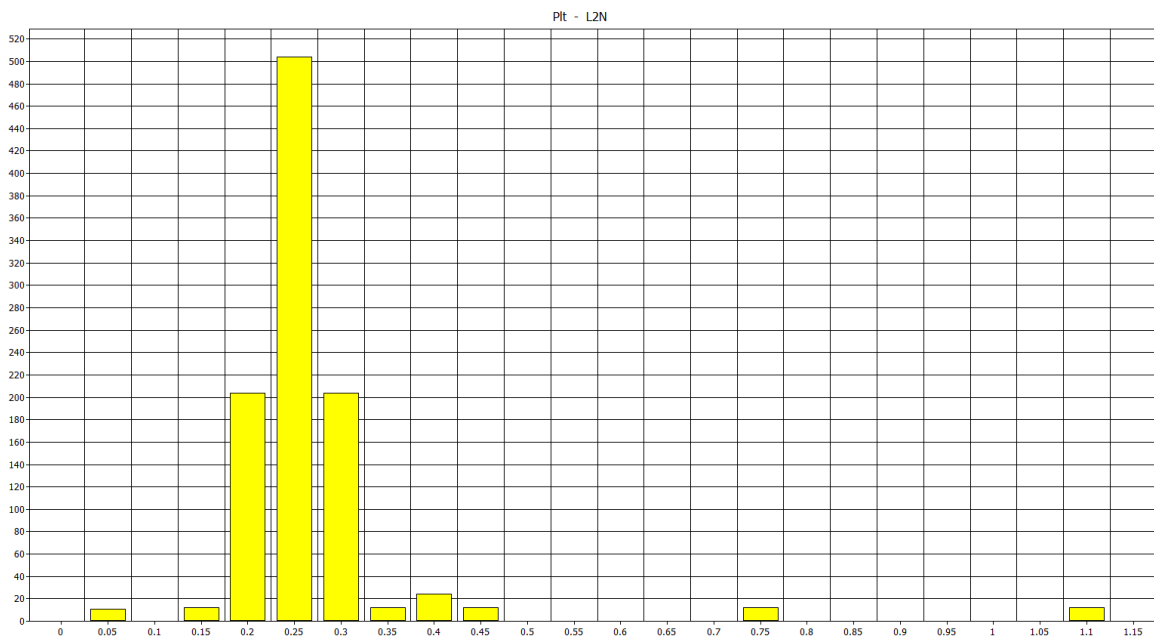
b. Línea 2:

Figura 4.16 Resumen de datos de Flicker Línea 2.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	1.06
En	14/11/2024 03:44:44 p. m.
Valor mínimo	0
En	11/11/2024 03:54:44 p. m.
μ	0.24485
s	0.116891
5% percentil	0.169
95% percentil	0.366
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.17 Gráfico de datos de Flicker Línea 2.



Fuente: Programa Power Log

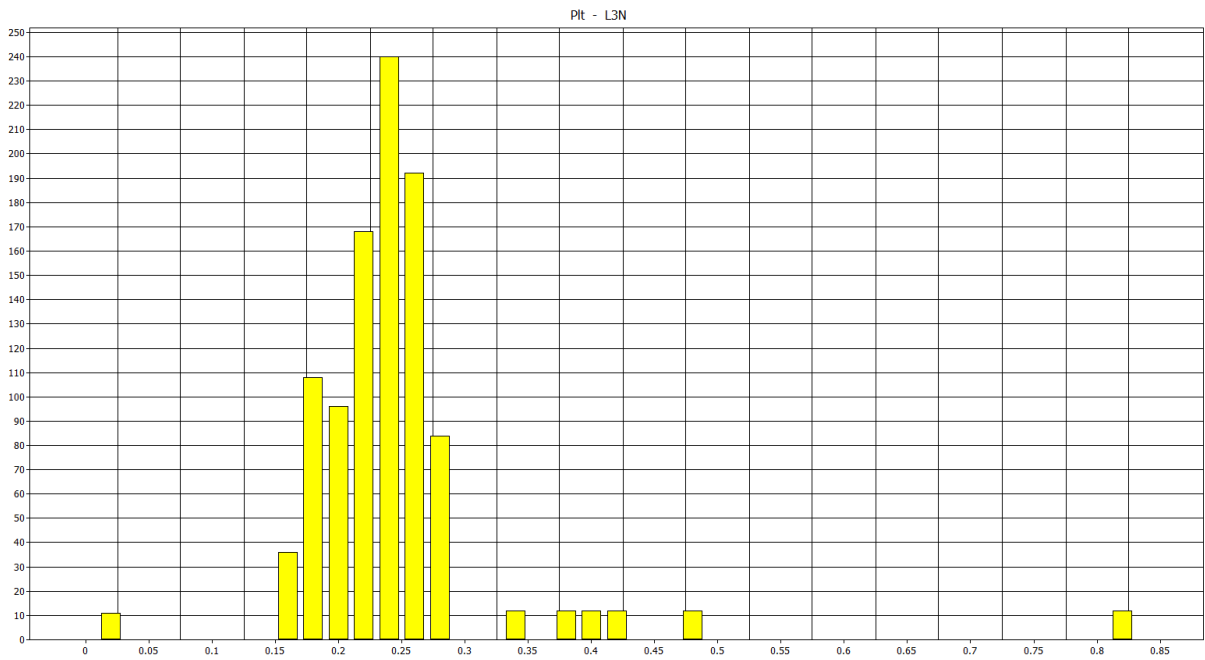
c. Línea 3

Figura 4.18 Resumen de datos de Flicker Línea 3.

Resumen	
Desde	11/11/2024 03:54:44 p. m.
Hasta	18/11/2024 03:34:44 p. m.
Valor máximo	0.808
En	12/11/2024 07:44:44 a. m.
Valor mínimo	0
En	11/11/2024 03:54:44 p. m.
μ	0.233875
s	0.0848115
5% percentil	0.163
95% percentil	0.367
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.19 Gráfico de datos de Flicker Línea 3.



Fuente: Programa Power Log

4.5 Comparativa de datos de Flicker según normativa (PLT):

Tabla 4.5 Normativa de Flicker (PLT).

	PLT	Normativa	Cumple
Línea 1	0.745	0.8	SI
Línea 2	1.06	0.8	NO
Línea 3	0.808	0.8	NO

4.6 Cálculo de factor de potencia:

El Factor de Potencia instantáneo se determinará utilizando la siguiente expresión:

$$FP_{inst} = \cos \left(\arctg \left(\frac{EQ_{inst}}{EP_{inst}} \right) \right)$$

Donde:

- FP_{inst} : Factor de Potencia en intervalo de 15 minutos.
- EQ_{inst} : Energía reactiva en intervalo de 15 minutos, en [kVAh].
- EP_{inst} : Energía activa en intervalo de 15 minutos, en [kWh].

En función de los resultados obtenidos para el Factor de Potencia instantáneo, se determinará el valor de Factor de Potencia medio mensual, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$FP = \frac{\sum_{k=1}^n (FP_{inst} \cdot EP_{inst})_k}{\sum_{k=1}^n (EP_{inst})_k}$$

Donde:

- FP : Factor de Potencia medio mensual.
- n : Número de intervalos de 15 minutos durante el periodo de medición de un mes.

Artículo 3-10 Límites del Factor de Potencia

El Factor de Potencia medido en el punto de conexión del Cliente y representativo de un mes de medición, deberá mantenerse dentro de los límites que se indican a continuación:

$$0,95_{CAP} \leq FP \leq 0,93_{IND}$$

Fuente: Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución.

4.6 Resumen de datos de factor de potencia por línea:

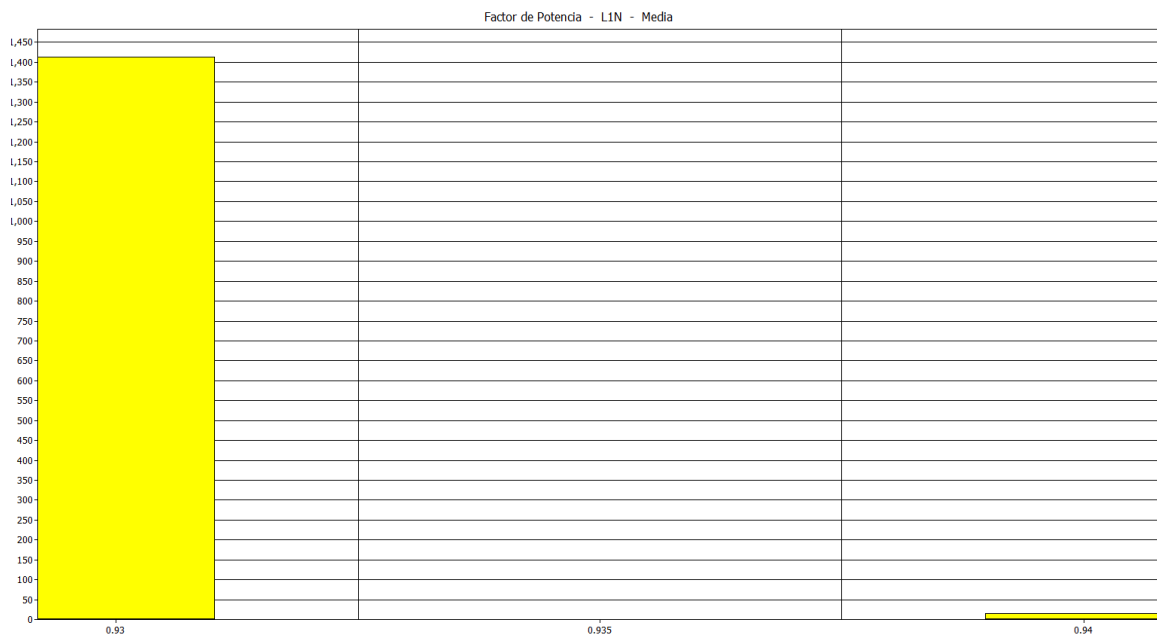
a. Línea 1

Figura 4.20 Resumen de datos de factor de potencia línea 1.

Resumen	
Desde	09/07/2024 04:10:28 p. m.
Hasta	24/07/2024 12:55:28 p. m.
Valor máximo	0.94
En	14/07/2024 08:25:28 p. m.
Valor mínimo	0.93
En	09/07/2024 04:10:28 p. m.
μ	0.930105
s	0.00101986
5% percentil	0.93
95% percentil	0.93
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.21 Gráfico de datos factor de potencia línea 1.



Fuente: Programa Power Log

b. Línea 2

Figura 4.22 Resumen de datos de factor de potencia línea 2.

Resumen	
Desde	09/07/2024 04:10:28 p. m.
Hasta	24/07/2024 12:55:28 p. m.
Valor máximo	0.94
En	09/07/2024 04:10:28 p. m.
Valor mínimo	0.93
En	09/07/2024 05:40:28 p. m.
μ	0.937962
s	0.00402949
5% percentil	0.93
95% percentil	0.94
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0%

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.23 Gráfico de datos factor de potencia línea 2.



Fuente: Programa Power Log

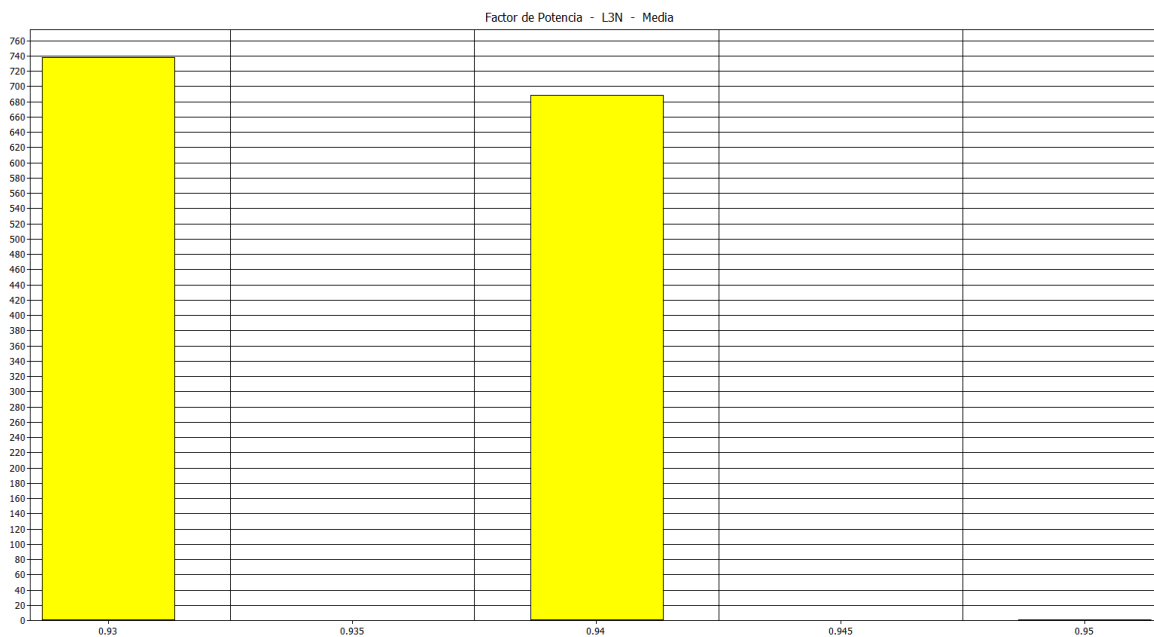
c. Línea 3

Figura 4.24 Resumen de datos de factor de potencia línea 3.

Resumen	
Desde	09/07/2024 04:10:28 p. m.
Hasta	24/07/2024 12:55:28 p. m.
Valor máximo	0.95
En	20/07/2024 07:25:28 a. m.
Valor mínimo	0.93
En	09/07/2024 04:10:28 p. m.
μ	0.934839
s	0.00501315
5% percentil	0.93
95% percentil	0.94
% [85% - 110%]	0%
% [90% - 110%]	0 %

Fuente: Programa Power Log

Figura 4.25 Gráfico de datos factor de potencia línea 3.



Fuente: Programa Power Log

4.6 Comparativa de datos de factor de potencia según normativa:

Tabla 4.6 Normativa de factor de potencia.

	Factor de potencia	Normativa	Cumple
Línea 1	0.94	0,95 cap. $\leq FP \geq$ 0,93 ind.	Si
Línea 2	0.94	0,95 cap. $\leq FP \geq$ 0,93 ind.	Si
Línea 3	0.95	0,95 cap. $\leq FP \geq$ 0,93 ind.	Si

4.7 Observaciones Generales.

En relación a los datos obtenidos y observados se puede determinar que gran parte de las lecturas se encuentran dentro de los límites establecidos por la normativa de calidad de energía, lo que llevo a identificar el tipo de variador de frecuencia presente en la instalación. El variador utilizado en la instalación es de marca Schnider Electric modelos ATV61-30Kw. y ATV61-90 Kw. y se logró comprobar que este tipo de variador de frecuencia presenta filtros tipo 3CEM, la característica principal de este filtro es que limita las tensiones y corrientes parasitas de altas frecuencias que surgen en los equipos durante su funcionamiento normal y en condiciones de fallo, por lo cual lo datos obtenido en los armónicos de corriente se desprecian al superar los armónicos de orden 7.

Con respecto a los datos que no cumplen con la normativa como es el caso del flicker de larga duración (PLT) en la línea 2 y 3, es posible observar que el margen de la línea 3 es mínimo por lo que podría aproximarse al valor máximo permitido y con respecto a la línea 2 se deberían tomar acciones que ayuden a reducir este indicador, normalmente las causas principales de flicker son las fluctuaciones bruscas de la tensión de la red generada por la existencia de cables recalentados en la línea o la presencia de cables sueltos que necesiten reapriete.

En relación con los armónicos de corriente o THDi es posible apreciar con facilidad que los armónicos de orden 5 de las tres líneas no cumplen con la normativa, superándola casi un 16% extra al valor máximo permitido. Los armónicos de orden 5 tiene relación con la secuencia negativa, esto quiere decir que de alguna forma está ingresando un flujo de corriente inversa o desaceleración por parte de los equipos eléctricos involucrados y se puede ver reflejado en la acción intempestiva de las protecciones asociadas estos equipos.

CAPÍTULO V

PROPUESTAS Y SOLUCIONES EN CALIDAD ENERGETICA

5.1 Propuestas y soluciones relacionadas al Flicker medido:

- Aumentar la frecuencia de mantenimiento preventivo: Una de las causas más comunes en la presencia de Flicker es la falta de reapriete de los alimentadores de los equipos eléctricos presentes en el establecimiento, ya que puede provocar fluctuaciones en la tensión.
- Medir o analizar la aislación de los conductores.
- Reforzar la línea de neutro con respecto a tierra en la barra de distribución.
- Evaluar la instalación de un estabilizador de tensión para reducir y estabilizar los flicker o parpadeos de alta duración (PLT).
- La mitigación de armónicos contribuye a disminuir las fluctuaciones en el sistema, lo que reduce las emisiones de flicker y mejora la estabilidad de la calidad de la energía.

5.2 Propuestas y soluciones relacionada al THDi medido.

- Realizar un proyecto que permita instalar un filtro mitigador de frecuencia en el alimentador principal orientándolo principalmente al quinto armónico, este tipo de filtro es de coste reducido ya que ataca directamente armónico que provoca fallos en el sistema.
- Aumentar la frecuencia con la que se realizan las mediciones de calidad de energía con un analizador de calidad de energía ya que no es posible detectar de forma específica las anomalías con medidores de corriente de uso común, esto permitirá atacar de manera efectiva y específica aquello que este causando problemas en el sistema.
- Evaluar la factibilidad e implementación de un filtro rechaza banda ya que este tipo de filtros permiten ajustar un rango de señales de frecuencias sean altas o bajas, cabe considerar que este tipo de equipos son alto costo al cubrir un gran rango en el espectro de armónicos.

5.3 Recomendaciones relacionadas al mantenimiento preventivo y predictivo.

- En relación al mantenimiento preventivo es necesario hacer un programa que permita visitar con frecuencia las instalaciones con el objetivo de realizar limpiezas, mediciones de temperatura y revisión de la aislación presente en los equipos eléctricos y cableado eléctrico, además de verificar la conexión de los terminales y el reapriete de las borneras.
- Una de las mejores medidas a tomar para el mantenimiento predictivo es realizar idealmente de forma anual el análisis de calidad de energía en el breaker general de la instalación, ya que en este punto es posible discernir e identificar si los datos obtenidos van evolucionando conforme pase el tiempo, de esta forma se pueden tomar las acciones que correspondan cuando se observe alguna tendencia que indique un aumento significativo en las variables estudiadas. Por último, en caso de detectar alguna anomalía de carácter crítico se recomienda medir con el analizador de calidad eléctrica cada uno de los variadores de frecuencia de la sala eléctrica con tal de identificar donde se concentra el problema.

CONCLUSIONES

Al finalizar este proyecto es posible señalar la gran importancia que tiene el realizar un análisis de calidad de energía en cualquier establecimiento público o privado, no solo por las garantías y beneficios que otorga el solucionar este tipo de anomalías, sino que también, nos permite cumplir con la normativa vigente establecida en Chile.

Con respecto al uso e instalación del analizador de calidad de energía Fluke 434 podemos indicar que es una herramienta versátil y de sencilla instalación, pero de gran riesgo si no se utiliza adecuadamente los elementos de protección personal ya que normalmente se interfieren líneas vivas, mediante su uso es posible realizar un gran barrido de datos que normalmente no serían medible mediante elementos de uso común como por ejemplo un multímetro. El uso del software power log permite no solo identificar datos específicos, sino que también gráfica, promedia y calcula inmediatamente las variables medidas como el THD.

Los resultados y análisis de datos obtenidos de THDv, Regulación de voltaje, Factor de potencia y desequilibrio de tensión son bastante aceptables, esto señala que gran parte de las variables medidas cumplen con la normativa vigente con respecto a la calidad de producto.

En relación al registro de datos de armónicos de corriente y flicker es importante que se consideren las propuestas entregadas ya que nos permite concluir que los equipos presentes en la instalación están realizando un sobre esfuerzo al momento de operar generando no solo un gasto extra con el coste de energía, sino que también un daño de carácter permanente en los equipos, como por ejemplo vibraciones y sobrecargas en las maquinas eléctricas presentes y más aun considerando que la gran mayoría de los equipos utilizados en la planta de tratamiento son motores eléctricos de grandes dimensiones.

Por último, la realización de este tipo de proyectos demuestra que es necesaria la implementación de un mantenimiento preventivo y predictivo eficientes que logren identificar este tipo de problemas ya que al no ser visibles pueden provocar detenciones que para este tipo de empresas de primera necesidad como Nueva Atacama son traducidas en fiscalizaciones o multas por cortes no programados en el servicio de agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

- Circutor, (2024) Técnicas de compensación y filtrado de perturbaciones armónicas, Barcelona España.
- Comisión nacional de energía, (2020) norma técnica de seguridad y calidad de servicio, Santiago de Chile.
- Distron, (2022) analizadores de redes: tipos, funciones y aplicaciones, Valencia.
- Electro Domus, (2021) armónicos en la red eléctrica, Viña del mar Chile.
- Fluke, (2012) manual de uso Fluke 434, Everett Estado Unidos.
- Ramon Pinyol, (2016) armónicos: causas, efectos y minimización, Barcelona España.
- Ministerio de energía, (2012) ley y plan de eficiencia energética, Santiago Chile.
- Nueva Atacama, (2022) ciclo del agua Nueva Atacama, Copiapó Chile.
- Nueva atacama, (2023) memoria nueva atacama, Copiapó Chile.
- Rafael Flores, (2009) Equipo Fluke para Medidas eléctricas y térmicas en Motores y Variadores, Santiago Chile.
- SAP Concur Team, (2023), la importancia de la eficiencia energética en las empresas, Santiago Chile.
- Solarama, (2024) como eliminar armónicos eléctricos, Mérida México.

- Wesco Anixter, (2020) visión general de los armónicos en sistemas eléctricos, Glenview Estado Unidos.
- Wikipedia, (2024) eficiencia energética, California Estados Unidos.
- Wikipedia, (2024) análisis de armónicos, California Estados Unidos.
- Wikipedia, (2020) efecto pelicular, California Estados Unidos.