



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**INTEGRACIÓN DEL MÓDULO POWERLOGIC ION7400 AL
PROCESO DE GESTIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: CARLOS ENRIQUE PINOS SOLANO
EDISSON TADEO VILLA VILLA

TUTOR: ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE, MGTR.

Cuenca - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Carlos Enrique Pinos Solano con documento de identificación N° 0105673156 y Edison Tadeo Villa Villa con documento de identificación N° 0105226229; manifestamos que:

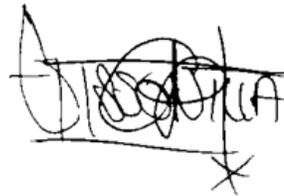
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 16 de Junio del 2023

Atentamente,



Carlos Enrique Pinos Solano
0105673156



Edisson Tadeo Villa Villa
0105226229

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Carlos Enrique Pinos Solano con documento de identificación N° 0105673156 y Edison Tadeo Villa Villa con documento de identificación N° 0105226229, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Integración del módulo PowerLogic ION7400 al proceso de gestión de calidad de energía”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de Junio del 2023

Atentamente,



Carlos Enrique Pinos Solano
0105673156



Edisson Tadeo Villa Villa
0105226229

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque con documento de identificación N° 0102257482, docente de la Universidad Politecnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “INTEGRACIÓN DEL MÓDULO POWERLOGIC ION7400 AL PROCESO DE GESTIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA”, realizado por Carlos Enrique Pinos Solano con documento de identificación N° 0105673156 y Edison Tadeo Villa Villa con documento de identificación N° 0105226229, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 16 de Junio del 2023

Atentamente,



Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque, MGTR.
0102257482

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres Marina y Oswaldo por su esfuerzo y motivación diaria, a mis tíos y primos en especial a mi primo Víctor Matute que con su conocimiento y paciencia supo guiarme en este camino de sabiduría.

Carlos Enrique Pinos Solano

La culminación de este trabajo se la dedico a mi más grande amor, mi madre Blanca Marianita de Jesús, que me ayudó a llegar hasta esta instancia, siendo mi más grande inspiración diaria. También quiero agradecer a mi padre por su entrega y apoyo incondicional y en especial a mis hermanos que han sido un modelo y un ejemplo a seguir.

Edisson Tadeo Villa Villa

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminarme, darme salud y entendimiento, mis padres, hermano, mis tíos y primos, quienes estuvieron pendientes y apoyándome incondicionalmente.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana y a todos los docentes que han sido parte fundamental de mi formación profesional. En particular, quiero agradecer a mi tutor de este proyecto, el Ing. Flavio Quizhpi, por su inquebrantable apoyo y dedicación en cada paso del camino. También quiero mencionar al Ing. Arturo Peralta y al departamento de laboratorios por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto con éxito.

A mis compañeros de la carrera que con su amistad y apoyo logramos salir adelante, en especial a mi compañero Edison Tadeo Villa Villa por su compromiso y dedicación en la realización de este proyecto. Su colaboración y apoyo han sido fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. Durante todo el proceso, hemos trabajado codo a codo y hemos compartido momentos de aprendizaje, desafíos y logros.

Carlos Enrique Pinos Solano

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar mi más sincero agradecimiento a Dios por haberme otorgado los mejores padres que me han sabido ayudar en todo momento durante mi educación académica. También quiero agradecerme por haber tenido la valentía y sabiduría para superar los retos que se presentaron durante mi estancia universitaria.

A las personas que a lo largo del tiempo se convirtieron en compañeros, amigos y hermanos: mi más profundo agradecimiento. Sin ustedes la experiencia dentro y fuera de la institución no hubiera sido la misma. Gracias por los buenos y únicos momentos. A los profesores que se convirtieron en mis grandes maestros: un gran abrazo para José Aller, Arturo Perala, Xavier Serrano y Jorge Rojas. Y en especial a mi maestro, amigo y tutor Flavio Quizpe por compartirnos su sabiduría y enseñarnos con sus experiencias. Por último, a mi compañero de tesis Carlos Pinos por su paciencia, comprensión y apoyo durante en el desarrollo de nuestra tesis.

Quiero presentar mi agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme una formación excepcional en sus aulas y laboratorios. Gracias a ellos, pude adquirir habilidades y conocimientos que me permitieron convertirme en un profesional en la carrera que siempre quise.

Edisson Tadeo Villa Villa

RESUMEN

Se llevó a cabo un proceso para identificar las características y parámetros de la calidad de energía eléctrica en el laboratorio de redes industriales de la Universidad Politécnica Salesiana. Los resultados se analizaron utilizando el módulo ION 7400, en cumplimiento de la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Resolución N° ARCERNNR - 002/20 y la norma IEEE Std 519-2022.

Inicialmente, se abordaron temas relacionados con el funcionamiento básico del equipo de medición ION 7400, incluyendo sus características, implementación, configuración de usuario e interpretación de datos utilizando los software del dispositivo.

Posteriormente, se llevó a cabo un estudio sobre los factores que alteran el correcto rendimiento de la calidad de energía, y se propusieron soluciones para mitigar dichos factores con el fin de potenciar la calidad de energía. En el país, la norma ARCERNNR - 002/20 propone límites de medición a través de modelos matemáticos que determinan si la calidad de energía es admisible.

Además, se implementó el software Power Monitoring Expert para vincular el dispositivo con la red. Utilizando la herramienta Vista, se desarrollaron diferentes diseños de pantallas que muestran los datos de las variables medidas, las cuales se observan en tiempo real y se guardan en una base de datos local.

Seguidamente, se analizaron cada uno de los parámetros en función de los resultados obtenidos, basándose en lo que establece la norma, para determinar la condición de la calidad de energía y se implementó un método para mejorarla.

Finalmente, se propone mejoras en la calidad de energía se debe tomar en cuenta las diferentes herramientas y técnicas disponibles. La aplicación de bancos de condensadores, la constante monitorización de la calidad de energía con dispositivos como el módulo ION 7400 y la prevención de sobrecargas en la red eléctrica son medidas efectivas para mejorar la calidad de la energía eléctrica.

SUMMARY

A process was carried out to identify the characteristics and parameters of the quality of electrical energy in the industrial networks laboratory of the Salesian Polytechnic University. The results were analyzed using the ION 7400 module, in compliance with the Technical Standard for Electrical Service Quality Resolution N° ARCERNNR - 002/20 and IEEE Std 519-2022.

Initially, topics related to the basic operation of the ION 7400 measuring equipment were addressed, including its characteristics, implementation, user configuration, and data interpretation using the device's software.

Subsequently, a study was carried out on the factors that can affect power quality, and solutions were proposed to mitigate these factors in order to improve power quality performance. In the country, the ARCERNNR - 002/20 standard establishes measurement limits through mathematical models that determine whether power quality is acceptable.

In addition, the Power Monitoring Expert software was implemented to connect the device to the network. Using the Vista tool, different screen designs were developed to display the data of the measured variables, which are observed in real-time and saved in a local database.

Next, each parameter was analyzed based on the results obtained, according to the standard, to determine the condition of the power quality, and a method was implemented to improve it.

Finally, in order to propose improvements in the quality of energy, it is important to take into account the different tools and techniques available. The implementation of capacitor banks, constant monitoring of power quality with devices like the ION 7400 module, and preventing overloads in the electrical grid are effective measures to improve the quality of electrical energy.

PALABRAS CLAVES TEMÁTICAS

Calidad de Energía

Medidor Inteligente

Condensadores

Armónicos

Nivel de Voltaje

Integración

IEC 61850

PowerLogic™ ION7400

Índice de general

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	18
1.1. Introducción	18
1.2. Justificación de unidades de Monitoreo	19
1.3. Grupo Objetivo	19
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo General	19
1.4.2. Objetivo Específicos	19
1.5. Metodología Aplicada	20
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes Investigativos	22
2.1.1. Medidor Inteligente ION 7400	22
2.1.2. Parte frontal del medidor	23
2.1.3. Parte posterior del medidor	25
2.1.4. Funcionalidades del medidor ION7400	26
2.2. Protocolo de comunicación	27
2.2.1. Switch industrial HIRSCHMANN tipo GREYHOUND	27
2.2.2. Protocolo IEC 61850	28
2.2.3. Conexión de las Comunicaciones Ethernet	29
2.2.4. Implementación	29
2.3. Diagrama de conexión.	31
3. CAPÍTULO 3: Análisis de Calidad de Energía	32
3.1. Introducción	32
3.2. Datos importantes sobre la Calidad de energía	32
3.3. Perturbaciones en los sistemas de energía	33
3.3.1. Desequilibrio de voltaje	34
3.3.2. Distorsión de la Forma de onda: Armónicos	35
3.3.3. Fluctuación de voltaje (Flickers)	37
3.4. Soluciones a problemas de perturbaciones	38
3.4.1. Soluciones a Desequilibrio de voltaje	38
3.4.2. Soluciones a perturbación rápida (Flicker Pst) y per- turbación largas(Flicker Plt)	40
3.4.3. Solución a distorsión armónica total de voltaje THD_v	42
3.4.4. Soluciones a la fluctuación de voltaje (Flickers)	43
3.5. Calidad de producto: Regulación Nro. ARCERNNR -002/20	44

3.5.1.	Nivel de Voltaje	44
3.5.2.	Perturbación rápida de voltaje	45
3.5.3.	Distorsión armónica de voltaje	45
3.5.4.	Desequilibrio de voltaje	46
3.5.5.	Factor K	47
3.5.6.	Estándar IEEE Std 519-2019	48
3.5.7.	Estándar IEEE Std 1459-2010	49
4.	CAPÍTULO 4: Software EcoStruxure Power Monitoring Expert	51
4.1.	Introducción	51
4.2.	Paquete de software PME	51
4.2.1.	Implementación	52
4.3.	Management Console	52
4.3.1.	Herramienta Vista	57
4.3.2.	Web Aplicaciones	62
5.	CAPÍTULO 5: Análisis y Resultados	74
5.1.	Introducción.	74
5.2.	Resultado Nivel de Voltaje	74
5.3.	Resultados de Nivel de Voltaje aplicando el método Banco de Condensadores.	78
5.4.	Resultados Perturbación rápida de voltaje (Flicker Pst)	81
5.5.	Resultados Perturbación rápida de voltaje (Flicker Pst) aplicando el método Banco de Condensadores.	84
5.6.	Resultados Perturbación de larga duración de voltaje (Flicker Plt)	87
5.7.	Resultado Perturbación de larga duración de voltaje (Flicker Plt) aplicando el método Banco de Condensadores.	90
5.8.	Resultados Distorsión armónica total de voltaje THD_v	92
5.9.	Resultados Distorsión armónica total de voltaje THD_v aplicando el método Banco de Condensadores.	95
5.10.	Resultado Desequilibrio de voltaje.	98
5.11.	Resultado Desequilibrio de voltaje aplicando Banco de Condensadores.	99
6.	Conclusiones y Recomendaciones	100
6.1.	Conclusiones	100

6.2. Recomendaciones	101
6.2.1. Trabajos futuros	102

Índice de figuras

1.	Dispositivo ION7400 [1].	22
2.	Parte frontal del medidor ION 7400.[1].	24
3.	Parte trasera del medidor ION 7400 [1].	25
4.	Switch industrial HIRSCHMANN tipo GREYHOUND [2].	27
5.	Propiedades de IP (TCP/IPv4).	30
6.	Diagrama de Fuerza implementado.	31
7.	Voltajes desequilibrados [3]	34
8.	Espectro armónico [4].	35
9.	Distorsión de la Forma de ondas [5]	36
10.	Fluctuación de voltaje (Flickers) [5]	37
11.	Banco de condensadores.	38
12.	Filtro activo de potencia [6].	40
13.	Fluctuación de voltaje (Flickers)	51
14.	Configuración de puerta de enlace.	53
15.	Características de puerta de enlace.	54
16.	Características del dispositivo.	55
17.	Conexión puerta de enlace.	56
18.	Conexión de dispositivo.	56
19.	Diseño de pantalla de inicio. Fuente:Autores	57
20.	Diseño de pantalla de menú.	58
21.	Pestaña de energía y demanda.	58
22.	Pestaña de voltajes corrientes.	59
23.	Pestaña de calidad de energía.	60
24.	Pestaña de configuración y diagnóstico.	60
25.	Pestaña de consignas.	61
26.	Pestaña de entradas y salidas.	61
27.	Creación de cuadros mando.	62
28.	Creación de cuadros mando.	63
29.	Creación gadget.	63
30.	Título gadget.	64
31.	Selección de datos de gadget.	64
32.	Rango de fecha de gadget.	65
33.	Creación de gadget.	65

34.	Creación de gadget.	66
35.	Análisis de datos numéricos.	66
36.	Diagrama gráfico.	67
37.	Diagrama de tendencias.	67
38.	Sección de alarmas.	68
39.	Sección de informes.	69
40.	Configuración de informes.	69
41.	Sección de ajustes.	70
42.	Vista de alarmas.	70
43.	Sección de personalización.	71
44.	Sección de diagnósticos y uso.	71
45.	Sección de seguridad.	72
46.	Sección de sistema.	72
47.	Sección de Usuarios.	73
48.	Nivel de voltaje - fase A	75
49.	Nivel de voltaje - fase B	76
50.	Nivel de voltaje - fase C	76
51.	Nivel de voltaje - 3 fases.	77
52.	Flicker PST - fase A	82
53.	Flicker PST - fase B	82
54.	Flicker PST - fase C	83
55.	Flicker PST - fase A,B,C	83
56.	Flicker PLT - fase A	88
57.	Flicker PLT - fase B	88
58.	Flicker PLT - fase C	89
59.	Flicker PLT - 3 fases.	89
60.	Armónicos - Fase A.	93
61.	Armónicos - Fase B	93
62.	Armónicos - Fase C	94
63.	Armónicos - 3 fases.	94
64.	Desequilibrio de voltaje	98
65.	Diagrama de conexión del módulo.	109
66.	Módulo ION 7400.	110
67.	Conexión del módulo de prueba.	111
68.	Banco de condensadores.	112
69.	Supervisión de conexiones.	113

Índice de tablas

1.	Componentes frontales ION 7400 [1].	24
2.	Componentes posteriores ION 7400 [1].	25
3.	Funciones de la central de medida [1].	26
4.	Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal).	46
5.	Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 kV[7].	49
6.	Direcciones IP asignadas.	52
7.	Nivel de voltaje de la fase A.	74
8.	Nivel de voltaje de la fase B.	75
9.	Nivel de voltaje de las fase C.	75
10.	Nivel de voltaje - fases A sin banco de condensadores.	78
11.	Nivel de voltaje - fases A con banco de condensadores.	78
12.	Nivel de voltaje - fases B sin banco de condensadores.	78
13.	Nivel de voltaje - fases B con banco de condensadores.	79
14.	Nivel de voltaje - fases C sin banco de condensadores.	79
15.	Nivel de voltaje - fases C con banco de condensadores.	79
16.	Flicker <i>Pst</i> - fase A.	81
17.	Flicker <i>Pst</i> - fase B.	81
18.	Flicker <i>Pst</i> - fase C.	81
19.	Flicker <i>Pst</i> - fase A sin banco de condensadores.	84
20.	Flicker <i>Pst</i> - fase A con banco de condensadores.	84
21.	Flicker <i>Pst</i> - fase B sin banco de condensadores.	85
22.	Flicker <i>Pst</i> - fase B con banco de condensadores.	85
23.	Flicker <i>Pst</i> - fase C sin banco de condensadores.	85
24.	Flicker <i>Pst</i> - fase C con banco de condensadores.	85
25.	Flicker <i>Plt</i> - fase A.	87
26.	Flicker <i>Plt</i> - fase B.	87
27.	Flicker <i>Plt</i> - fase C.	87
28.	Flicker <i>Plt</i> - fase A sin banco de condensadores.	90
29.	Flicker <i>Plt</i> - fase A con banco de condensadores.	90
30.	Flicker <i>Plt</i> - fase B sin banco de condensadores.	90
31.	Flicker <i>Plt</i> - fase B con banco de condensadores.	91
32.	Flicker <i>Plt</i> - fase C sin banco de condensadores.	91
33.	Flicker <i>Plt</i> - fase C con banco de condensadores.	91

34.	Armónicos - fase A.	92
35.	Armónicos - fase B.	92
36.	Armónicos - fase C.	92
37.	Armónicos - fase A sin banco de condensadores.	95
38.	Armónicos - fase A con banco de condensadores.	95
39.	Armónicos - fase B sin banco de condensadores.	95
40.	Armónicos - fase B con banco de condensadores.	96
41.	Armónicos - fase C sin banco de condensadores.	96
42.	Armónicos - fase C con banco de condensadores.	96
43.	Desequilibrio de voltaje.	98
44.	Desequilibrio de voltaje.	99

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Introducción

La calidad de la energía se puede interpretar como la falta relativa de variaciones de voltaje relacionadas con la red eléctrica, en particular, la ausencia de cortes, caídas de voltaje, sobretensiones y armónicos medidos en el punto de servicio. Históricamente, los fenómenos de calidad de energía se remontan a los principios del siglo XIX. Hay tres etapas en la historia de la calidad de energía que resumen el desarrollo y el nivel de interés en el área.

La primera etapa, a principios de 1900, se plantea una solución para las corrientes de tercer armónico, resultantes del hierro saturado en máquinas y transformadores. La segunda etapa surgió entre las décadas de 1930 y 1940, durante este periodo, los circuitos de electricidad y de telefonía compartían a menudo las mismas vías, por lo que las interferencias de audio eran un problema común, debido a las corrientes armónicas que se acoplaban inductivamente a los circuitos telefónicos cercanos.

La tercera etapa comenzó a finales de la década de 1950, con la llegada de los dispositivos semiconductores, que suelen estar sujetos a complejos procesadores o microcontroladores, tecnológicas que producen armónicos [8].

Los avances tecnológicos han contribuido a precipitar los problemas de calidad de la energía a través de la entrada generalizada de equipos eléctricos sofisticados que son sensibles a los problemas comunes de calidad de la energía [9], entre los que destacan, la caída de tensión, la subida de tensión, los armónicos de tensión y los transitorios oscilatorios.

El desarrollo de la línea de productos ION comenzó en la década de 1990 en Canadá por la compañía Power Measurement Inc. En esa época, la demanda por una mayor precisión y funcionalidades avanzadas en la medición y análisis de calidad de energía eléctrica estaba en aumento debido a la creciente complejidad de las redes eléctricas. En 2005, Schneider Electric adquirió Power Measurement Inc. y se convirtió en el dueño de la familia de productos ION, incluyendo el ION 7400. Desde entonces, el ION 7400 ha sido utilizado en diversos proyectos de medición y análisis de calidad de energía en todo el mundo.

1.2. Justificación de unidades de Monitoreo

Con el fin de estimular y complementar la formación académica de sus alumnos, la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca dispone de un nuevo equipamiento en su laboratorio de redes industriales, el módulo Power Logic ION7400. Esta implementación tiene como objetivo estimular la investigación en el tema de la gestión de la calidad de la energía, así como facilitar el desarrollo e investigación de soluciones a este problema, así como la capacidad de realizar mediciones con base en las especificaciones de las normas y reglamentos vigentes.

1.3. Grupo Objetivo

En la actualidad, la universidad carece de una guía para llevar a cabo de manera organizada las prácticas que se relacionan con la gestión de la calidad de energía a través del uso del PME. Contar con un manual de referencia permitiría a los alumnos adquirir una comprensión más sólida acerca de las posibles causas y soluciones para abordar los desafíos relacionados con la calidad de la electricidad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Realizar el análisis de calidad de energía eléctrica mediante el módulo PowerLogic ION7400 y determinar las diferentes perturbaciones presentes en la red eléctrica.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Identificar los factores que alteran la calidad de energía en la red eléctrica mediante el módulo PowerLogic ION7400.
- Evaluar los resultados obtenidos e incorporar métodos que ayuden a mejorar la calidad de energía.
- Establecer metodologías que ayude a la mejora de calidad de energía eléctrica, estableciendo bases para el manejo de nuevas tecnologías.

1.5. Metodología Aplicada

Para la ejecución del proyecto se aplicó el método científico cuantitativo, sistemático y estadístico que es utilizado en los desarrollos de modelos y mediciones en ingeniería eléctrica.

De acuerdo con el autor Fideas G. Arias (2012) [10], la investigación experimental implica someter un objeto a condiciones específicas, estímulos o tratamientos (variable independiente), con el fin de observar los efectos o respuestas que se producen (variable dependiente). Esta investigación tiene como objetivo explicar, ya que busca demostrar de manera precisa que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente, estableciendo así una relación causa-efecto.

Los métodos específicos de recolección de datos se denominan “técnicas experimentales”. Estas técnicas se refieren a los distintos procedimientos y tareas experimentales que permiten la recopilación de datos que serán analizados e interpretados. En este contexto, el objetivo es evaluar la calidad de la energía eléctrica utilizando el Power Logic ION7400 para identificar las principales interrupciones en la red eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Los datos recolectados con esta herramienta fueron procesados estadísticamente, y una vez identificados los principales problemas, se propusieron soluciones.

Se ejecutaron las siguientes etapas:

- ETAPA 1: Documentación sobre normativas y problemas de calidad de servicio eléctrico
- ETAPA 2: Investigación general de la programación e implementación del modelo PowerLogic ION7400 en cuanto a su funcionamiento y aplicaciones.
- ETAPA 3: Determinar parámetros, variables y límites necesarios para poder gestionar la calidad de energía.
- ETAPA 4: Obtener resultados mediante el módulo PowerLogic ION7400.
- ETAPA 5: Analizar y determinar el mejor método para la corrección de la calidad de energía.

- ETAPA 6: Analizar, comparar y discutir los beneficios que otorga la implementación del módulo PowerLogic ION7400.
- ETAPA 7:Conclusiones y Recomendaciones

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Según la tesis de Alexandra Silvana Corzo Hormaza “Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica” [11], la calidad eléctrica se presenta cuando el voltaje y la corriente están equilibrados y la onda senoidal o fundamental tiene una frecuencia y amplitud constantes.

Luis Enrique Tinoco Jaramillo [12] define la calidad de energía como “todas las características de la electricidad que existen en un punto determinado del suministro de energía eléctrica que serán evaluadas en relación con los parámetros técnicos”. La calidad de energía implica la ausencia de anomalías en la red eléctrica que puedan afectar los equipos y usuarios, asegurando así la continuidad y seguridad del servicio eléctrico.

2.1. Antecedentes Investigativos

2.1.1. Medidor Inteligente ION 7400

El dispositivo ION 7400 perteneciente a la marca Schneider Electric©, figura 1 es un dispositivo que permite medir y monitorear el consumo y la calidad de la energía eléctrica en diferentes aplicaciones. Este medidor tiene una alta precisión clase 0.2, lo que significa que puede detectar variaciones muy pequeñas en los parámetros eléctricos.



Figura 1: Dispositivo ION7400 [1].

Estos medidores pueden establecer interfaces con el software ION Enterprise u otros sistemas de automatización con el fin de compartir y analizar rápidamente los datos. Este equipo es una opción ideal para reemplazar medidores analógicos porque proporciona una variedad de mediciones de potencia y energía, puertos de comunicación y protocolos estándar de la industria.

ION Enterprise es un software de gestión de energía eléctrica desarrollado por Schneider Electric, que se utiliza para monitorear, controlar y analizar la calidad de energía eléctrica.

Algunas de las funciones clave de ION Enterprise son:

- Monitoreo en tiempo real: ION Enterprise puede monitorear y medir la calidad de energía eléctrica en tiempo real en múltiples ubicaciones y sistemas eléctricos.
- Análisis de la calidad de energía: ION Enterprise tiene la capacidad de analizar los datos de medición de calidad de energía para identificar problemas y anomalías en la red eléctrica.
- Registro de datos: ION Enterprise almacena y registra los datos de medición de calidad de energía, lo que permite un análisis a largo plazo de la calidad de energía eléctrica en un sistema.
- Control y automatización: ION Enterprise se puede utilizar para controlar y automatizar dispositivos eléctricos, como interruptores, relés y transformadores, para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos.
- Gestión de alarmas: ION Enterprise puede establecer alertas y alarmas para notificar al usuario cuando se detectan problemas de calidad de energía.

2.1.2. Parte frontal del medidor

Como se observa en la figura 2, la parte frontal de este medidor es el área que es visible para el personal de operaciones o de mantenimiento, desde este lugar se pueden realizar la primera configuración del equipo o algún cambio de esta. El panel frontal del equipo ION7400 integrada o remota permiten

visualizar datos de la central de medida y establecer la configuración básica de esta [1].

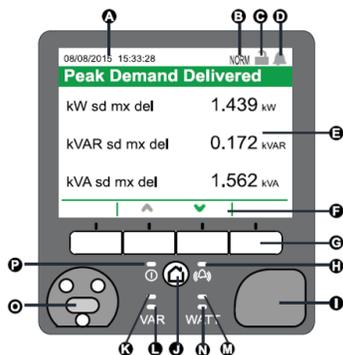


Figura 2: Parte frontal del medidor ION 7400.[1].

La pantalla incorporada del dispositivo cuenta con puertos USB, un puerto óptico y luces LED que indican los impulsos de energía. Tanto la pantalla incorporada como la pantalla remota muestran los mismos datos y opciones de configuración.

Descripción de los componentes frontales del módulo
A - Fecha/hora
B - Indicador de modo
C - Icono de bloqueo de consumo eléctrico
D - Icono de alarma
E - Pantalla
F - Iconos de navegación
G - Botones de navegación
H - Indicador LED de alarma
I - Cubierta de los puertos USB
J - Botón Inicio
K - Indicador LED de impulsos de energía de VAR de infrarrojos
L - Indicador LED de impulsos de energía de VAR
M - Indicador LED de impulsos de energía de vatios de infrarrojos
N - Indicador LED de impulsos de energía de vatios
O - Puerto óptico
P - Indicador LED de estado

Tabla 1: Componentes frontales ION 7400 [1].

2.1.3. Parte posterior del medidor

En la figura 3, se pueden observar los puntos de conexión para los cables de corriente y voltaje, así como las salidas que se enviarán al puerto SWITCH y otros dispositivos relacionados.

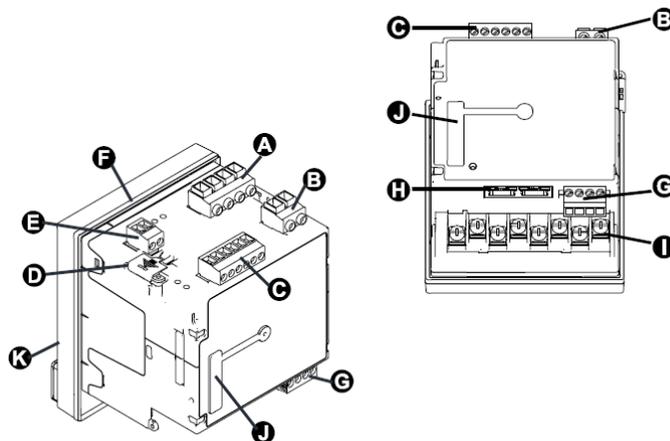


Figura 3: Parte trasera del medidor ION 7400 [1].

La parte posterior del medidor ION7400 ofrece una amplia gama de opciones de conectividad y funcionalidades que facilitan su uso en diversos entornos industriales.

Descripción de los componentes posteriores del módulo
A - Entradas de voltaje
B - Alimentación
C - Entradas digitales (3)
D - Cubierta del interruptor de bloqueo de consumo eléctrico
E - Salida digital
F - Junta
G - RS-485
H - Ethernet (2)a
I - Entradas de intensidad
J - Conector de módulos opcionales
K - Pantalla con puerto óptico y USB

Tabla 2: Componentes posteriores ION 7400 [1].

2.1.4. Funcionalidades del medidor ION7400

Las centrales de medición de energía y calidad de energía ION7400 de PowerLogic™ es una solución adecuada para monitorear y gestionar el consumo energético en diversas aplicaciones. Estos dispositivos cumplen con los estándares internacionales de precisión de medición, lo que garantiza la calidad y la confiabilidad de la información que proporcionan[1].

En la Tabla 3 se muestra las funciones que se puede aplicar con el módulo PowerLogic ION 7400:

Funciones de la central de medida
Lecturas de calidad de energía (THD)
Captura de bajadas/subidas de voltaje y corriente
Medición de RMS real hasta el armónico de orden 63
Potencia activa (kW), reactiva (kVAR) y aparente (kVA)
Conexión directa de 600 V en las entradas de tensión
Lecturas mínima/máxima de los datos medidos
Compensación de pérdidas en el transformador/línea (TLC/LLC)
Compatibilidad con funciones de periodos horarios (TDU)
Elaboración de tendencias y pronósticos
Sincronización horaria con una precisión de 1 ms
Puerto óptico ANSI tipo 2
Puertos USB (en centrales de medida con pantalla integrada)
Doble puerto Ethernet (dos puertos físicos, una dirección IP Ethernet)
Compatible con múltiples idiomas
Configuración a través de pantalla remota o integrada
Compatibilidad con los protocolos Modbus Master y pasarela Ethernet
Firmware y plantillas descargables

Tabla 3: Funciones de la central de medida [1].

La central de medida es un componente clave del sistema de gestión energética, ya que proporciona mediciones precisas y cálculos para diversos valores del sistema de alimentación eléctrica. Además, realiza análisis de los datos recopilados y alerta al usuario sobre posibles problemas.

2.2. Protocolo de comunicación

El sistema de comunicación IEC 61850 se ha implementado para el monitoreo y control del módulo de pruebas en el laboratorio de redes industriales de la Universidad Politécnica Salesiana en Cuenca[2], la intercomunicación entre los dispositivos utilizados en este sistema es crucial, por lo que se deben seguir protocolos de comunicación específicos. La implementación de sistemas de comunicación como IEC 61850 puede mejorar significativamente la eficiencia de la comunicación entre dispositivos en aplicaciones industriales críticas, lo que a su vez puede mejorar la seguridad y la fiabilidad del sistema.

Los datos generados por la central de medida pueden ser compartidos con otros dispositivos utilizando varios protocolos de comunicación. Además, la central de medida admite el protocolo IEC 61850 y formatos COMTRADE que describen las formas de onda [1]. La disponibilidad de estos protocolos y formatos de datos hace que la central de medida sea altamente compatible y flexible en diversas aplicaciones de monitoreo y control de energía.

2.2.1. Switch industrial HIRSCHMANN tipo GREYHOUND

Estos conmutadores garantizan que grandes cantidades de datos recopilados en el campo puedan entregarse al nivel empresarial de forma rápida, segura y confiable. Los interruptores GREYHOUND figura 4, poseen puertos SFP de tres velocidades que protegen su inversión a través de futuras actualizaciones de ancho de banda rentables y sin esfuerzo.



Figura 4: Switch industrial HIRSCHMANN tipo GREYHOUND [2].

Los interruptores GREYHOUND son dispositivos especialmente diseñados para hacer frente a aplicaciones de alta exigencia en la generación y distribución de energía eléctrica. Estos dispositivos son adecuados tanto para nuevas instalaciones como para modernizaciones de subestaciones existentes. Es importante mencionar que estos interruptores han sido diseñados para manejar niveles de voltaje elevados, garantizando así la seguridad y la fiabilidad del sistema en el que se instalen.

2.2.2. Protocolo IEC 61850

La norma IEC 61850 es una norma internacional que busca establecer el intercambio de información a través de redes de comunicaciones en las subestaciones eléctricas. Su objetivo principal es lograr la interoperabilidad entre dispositivos electrónicos inteligentes (IED) en dichas subestaciones. Es importante destacar que la norma IEC 61850 también proporciona una serie de beneficios en términos de seguridad y confiabilidad del sistema, lo que hace que su implementación sea crucial en las aplicaciones de la industria eléctrica.

- Permite la integración y la interoperabilidad de dispositivos electrónicos inteligentes (IED) de diferentes fabricantes, lo que simplifica la integración de nuevos sistemas en subestaciones eléctricas existentes.
- Proporciona una amplia gama de servicios de comunicación, como el control remoto, la supervisión y la adquisición de datos, que permiten una gestión más eficiente y efectiva de las subestaciones eléctricas.
- Utiliza el protocolo de comunicación MMS (Manufacturing Message Specification), que es un protocolo de comunicación estándar y eficiente diseñado para la automatización industrial.
- Soporta el uso de Ethernet y otras redes de comunicación, lo que permite una mayor flexibilidad en la implementación y configuración de sistemas de comunicación en subestaciones eléctricas.

La norma IEC 61850 es una norma internacional de comunicación diseñada específicamente para subestaciones eléctricas, que ofrece una serie de características que permiten una gestión más eficiente y efectiva de estos sistemas críticos.

2.2.3. Conexión de las Comunicaciones Ethernet

Antes de usar las comunicaciones Ethernet, es necesario configurar la dirección IP del dispositivo en caso de ser necesario. La elección de una topología de red adecuada dependerá de factores como el costo, la flexibilidad y la confiabilidad. Es importante seleccionar la topología de red que mejor se adapte al entorno de trabajo. De esta manera, se logrará una comunicación más eficiente y confiable en la red Ethernet.

La central de medida posee dos conexiones Ethernet físicas, pero solamente puede admitir una dirección IP, lo que imposibilita su conexión a dos redes Ethernet distintas. No obstante, el segundo puerto Ethernet de la central de medida opera como un conmutador Ethernet, lo que simplifica la conexión de dispositivos en la red y reduce tanto el tiempo como los costos de instalación, ya que permite utilizar tramos de cable Ethernet más cortos sin necesidad de incorporar routers o repetidores Ethernet adicionales. Esta configuración facilita la implementación de la red y optimiza la eficiencia de la comunicación. En resumen, el uso del segundo puerto Ethernet como conmutador Ethernet mejora el funcionamiento y rendimiento de la red.

Aunque la norma IEC 61850 no especifica una topología en particular, la conexión directa de todos los dispositivos al switch (conmutador) es común en esta norma.

2.2.4. Implementación

Una red de área local (LAN) usa IP de clase C en el rango de **192.0.0.0** a **223.255.255.255** y una subred de **255.255. 255.0**. El conmutador industrial gestionado permite segmentar la red LAN creando subredes que aumentan la organización y seguridad del segmento físico de la red. El objetivo de establecer la dirección IP del dispositivo es garantizar que todos los dispositivos se encuentren en el mismo grupo de redes, facilitando así el control, monitoreo y la comunicación entre ellos.

En la figura 5 se muestra las diversas unidades asignadas a la red LAN. Para realizar esta asignación se utiliza el software propio de cada dispositivo y se tiene en cuenta la configuración de la red. Cada dispositivo está equipado con una dirección IP única “C” en el área de dirección IP, comenzando desde **192.0.0.0** a **223.255.255**, y una máscara de subred de **255.255.255.0**. Dar direcciones IP y dispositivos configurados en el mismo segmento de red puede obtener una comunicación eficiente y segura entre ellas, lo que permite el control de la red y el monitoreo.

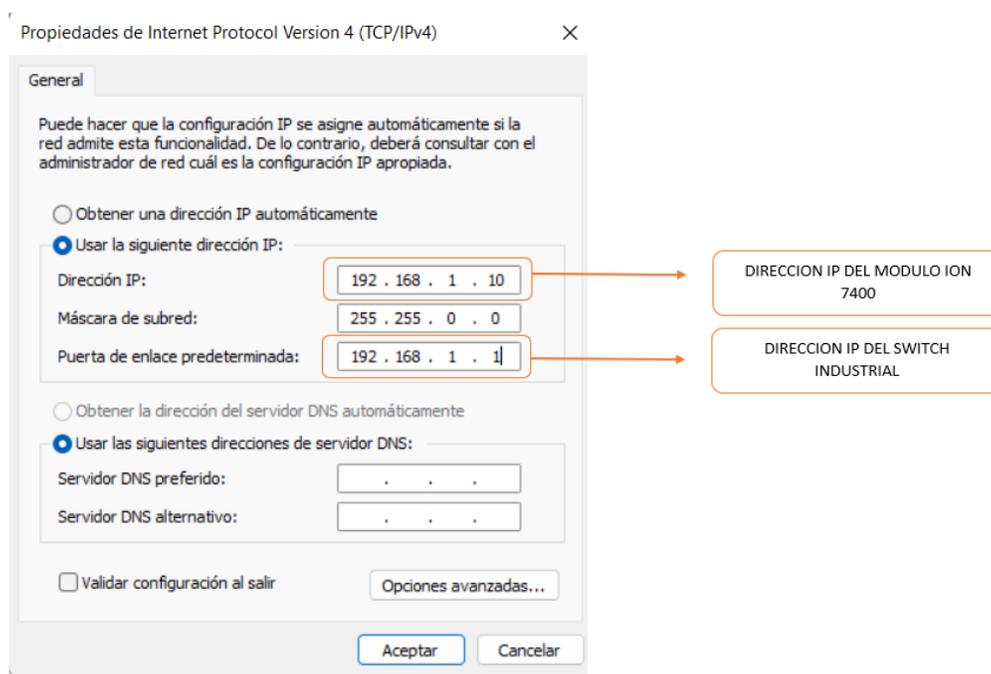


Figura 5: Propiedades de IP (TCP/IPv4).

Es recomendable instalar el origen de la conexión Ethernet en una ubicación que permita reducir la longitud total del cableado y simplificar la estructura de la red. De esta manera, se puede minimizar el costo y el tiempo de instalación, así como mejorar la eficiencia y el rendimiento de la red.

2.3. Diagrama de conexión.

La conexión de una central de medida se divide en dos partes principales: medición y comunicación. En la figura 6 se muestra el diagrama de fuerza de un sistema eléctrico de distribución trifásico, donde se utilizan medidas de voltaje y corriente para alimentar la central de medida.

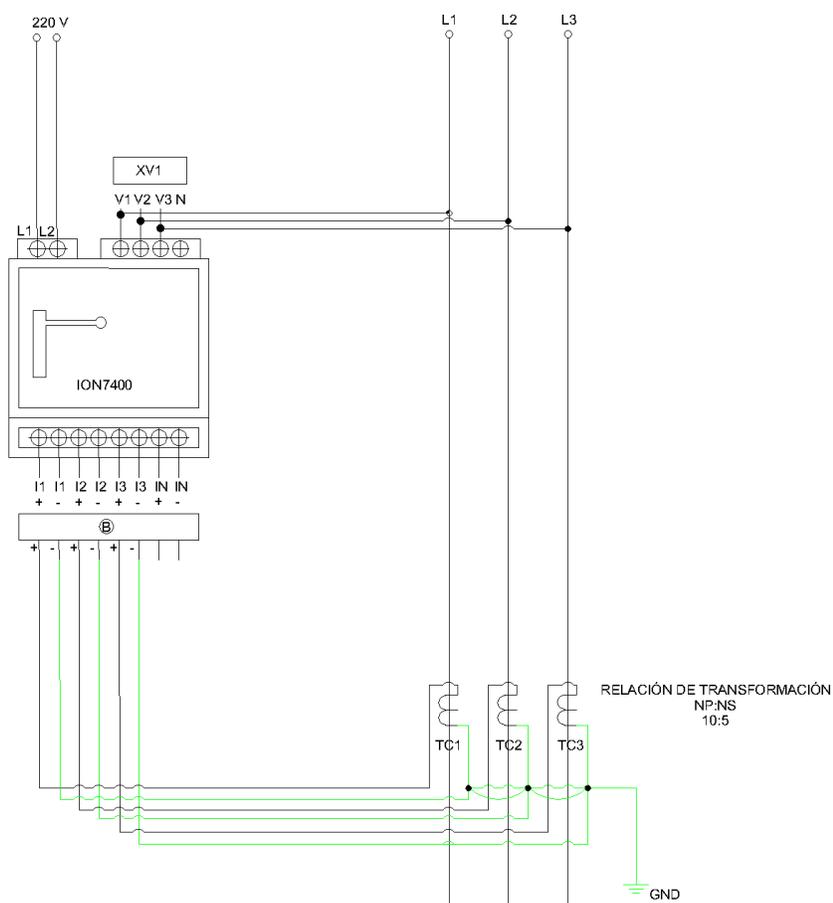


Figura 6: Diagrama de Fuerza implementado.

La relación NP:NS 10:5 en un transformador indica que la cantidad de vueltas en el devanado primario (NP) es el doble que en el devanado secundario (NS).

3. CAPÍTULO 3: Análisis de Calidad de Energía

3.1. Introducción

Este capítulo trata sobre los factores y conceptos relacionados con la calidad de la energía eléctrica, la cual se ha vuelto un tema crucial en la generación, transmisión, distribución y consumo de electricidad. Tanto los clientes residenciales, comerciales e industriales requieren una operación eficiente y estable de la energía eléctrica. Es por ello que resulta importante analizar los factores y variables que influyen en la calidad de la energía con el fin de mejorarla y cumplir con los estándares establecidos por los organismos reguladores. En este sentido, se abordarán las causas y parámetros relevantes para entender la calidad de energía eléctrica.

3.2. Datos importantes sobre la Calidad de energía

La capacidad de mantener los valores nominales de voltaje, corriente y frecuencia en niveles óptimos de operación frente a cualquier cambio o perturbación en la red eléctrica se conoce como calidad de energía. Esto incluye situaciones en las que hay fluctuaciones o imperfecciones en los niveles de voltaje, corriente o frecuencia, lo que puede provocar fallas en los equipos conectados a la red eléctrica [13].

Idealmente, la fuente de suministro eléctrico debería proporcionar un voltaje y corriente sinusoidal con magnitud y frecuencia constantes. Sin embargo, existen varios factores que pueden afectar estos parámetros ideales, como la impedancia del sistema eléctrico, los retrasos de tránsito causados por diferentes cargas conectadas a la red y las interrupciones de energía. Por lo tanto, en términos prácticos, la calidad de energía en un sistema eléctrico se refiere al grado en que el sistema puede operar de manera segura y de acuerdo con los estándares establecidos de calidad de energía [14].

La falta de cumplimiento de las normas de calidad de energía, es decir, una mala calidad de voltaje y corriente, puede ocasionar que las cargas conectadas en la red fallen y disminuyan su vida útil. Como consecuencia, la eficiencia del sistema eléctrico se verá comprometida, aumentando los costos de opera-

ción y la emisión de gases contaminantes. Por el contrario, una buena calidad de energía garantiza el correcto funcionamiento y eficiencia de las cargas y del sistema eléctrico en su conjunto.

Algunos de los factores que influyen en la calidad de la energía de baja voltaje son los siguientes:

- La potencia reactiva es un factor que puede afectar la calidad, ya que puede sobrecargar los elementos de almacenamiento de energía de manera innecesaria.
- La distorsión armónica es otro factor que puede influir en la calidad de la energía, ya que puede generar un estrés adicional en la red al distorsionar la forma de la onda, lo que a su vez puede provocar una operación menos eficiente de la red eléctrica.
- El desequilibrio de cargas es un factor que puede afectar negativamente la calidad de la energía, ya que puede provocar un desequilibrio en el voltaje, lo que a su vez puede aumentar la corriente neutra y la acumulación de voltaje neutro a tierra.
- Las fluctuaciones en el voltaje, como las caídas de voltaje y las variaciones rápidas que provocan parpadeos, son responsables de una baja calidad de energía.

3.3. Perturbaciones en los sistemas de energía

La calidad de la onda de voltaje y corriente en un sistema eléctrico puede ser afectada por perturbaciones que ocurren en la red y que impactan a los consumidores. Identificar las causas y orígenes de estas perturbaciones es fundamental para proponer soluciones que mejoren la calidad de energía. Sin embargo, esta tarea es compleja y requiere de un adecuado monitoreo y análisis de la red. Las perturbaciones pueden manifestarse de diferentes formas y algunas pueden ser más perceptibles que otras, deteriorando el desempeño de la red y causando una calidad de energía deficiente [15].

Según la norma IEEE Std 519-2019, las perturbaciones electromagnéticas pueden clasificarse en tres tipos diferentes, dependiendo de las variaciones en

el valor RMS del voltaje o la corriente, la deformación de la onda, y los transitorios generados por la dinámica de la red. Específicamente, estas perturbaciones pueden ser clasificadas como: fluctuaciones de voltaje, variaciones de la frecuencia, desbalances de voltaje o corriente, distorsión de la onda, transitorios, y variaciones de corta y larga duración. Conocer los diferentes tipos de perturbaciones electromagnéticas es importante para entender cómo pueden afectar la calidad de la energía y poder proponer soluciones adecuadas para mejorarla. [15].

3.3.1. Desequilibrio de voltaje

En un sistema eléctrico trifásico, se considera que existe un desequilibrio de voltaje cuando las magnitudes de las tres fases son distintas y presentan una diferencia en el desfase entre ellas que no cumple con la separación de 120° eléctricos. La figura 7 muestra un ejemplo de esta situación.

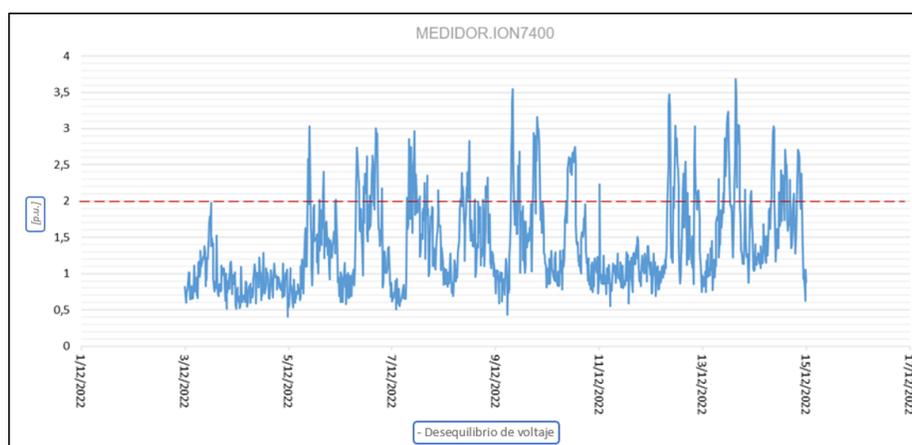


Figura 7: Voltajes desequilibrados [3] .

El desequilibrio de voltaje se refiere a la interacción entre la componente de secuencia negativa y positiva del voltaje. Cuando se produce un desbalance en las cargas, se genera una corriente de secuencia negativa que da lugar al voltaje de secuencia negativa[15]. Este desequilibrio puede originarse por diversas razones, como la carga desigual en las fases, la impedancia desigual en las líneas de alimentación o problemas en los transformadores de distribución. Es crucial analizar el desequilibrio de voltaje para garantizar la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico en el sistema.

3.3.2. Distorsión de la Forma de onda: Armónicos

En su tesis de grado, Erazo Gavilanes[16] define la distorsión armónica como la alteración de la onda sinusoidal ideal. Las ondas armónicamente distorsionadas consisten en una onda principal junto con una o más ondas adicionales que tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia principal, tal como se ilustra en la figura mencionada (Figura 9).

Es posible llevar a cabo este tipo de análisis utilizando la técnica del análisis de Fourier, que permite descomponer una señal eléctrica en sus diferentes componentes de frecuencia y representar el espectro armónico gráficamente. Cada armónico se identifica mediante su número de orden, que indica su relación con la frecuencia fundamental de la señal eléctrica. En la figura 8, se puede observar cómo el segundo armónico corresponde a una frecuencia dos veces mayor que la frecuencia fundamental, mientras que el tercer armónico corresponde a una frecuencia tres veces mayor, y así sucesivamente. Es importante destacar que el análisis armónico es una herramienta útil para evaluar la calidad de voltaje en una red eléctrica.

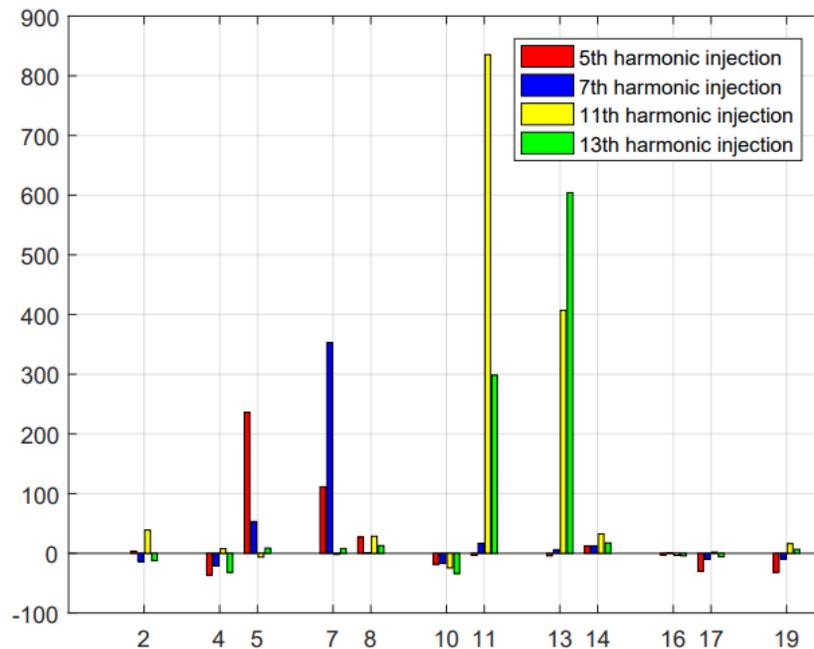


Figura 8: Espectro armónico [4].

Como se muestra en la figura 9, la onda fundamental es la forma de onda sinusoidal de frecuencia más baja en una señal periódica. En el caso de la señal eléctrica de corriente alterna, es la que tiene la frecuencia de la red eléctrica entre 50 Hz y 60 Hz, la onda fundamental es la parte esencial de la señal eléctrica y contiene la mayor parte de la energía.

Por otro lado, las ondas armónicas son señales eléctricas que tienen una frecuencia múltiple de la frecuencia de la onda fundamental. Estas señales son generadas por cargas eléctricas no lineales como la electrónica y pueden causar problemas de calidad de energía. Estas perturbaciones pueden ser causadas por varios factores y pueden dañar el equipo y causar pérdidas en el sistema eléctrico [17].

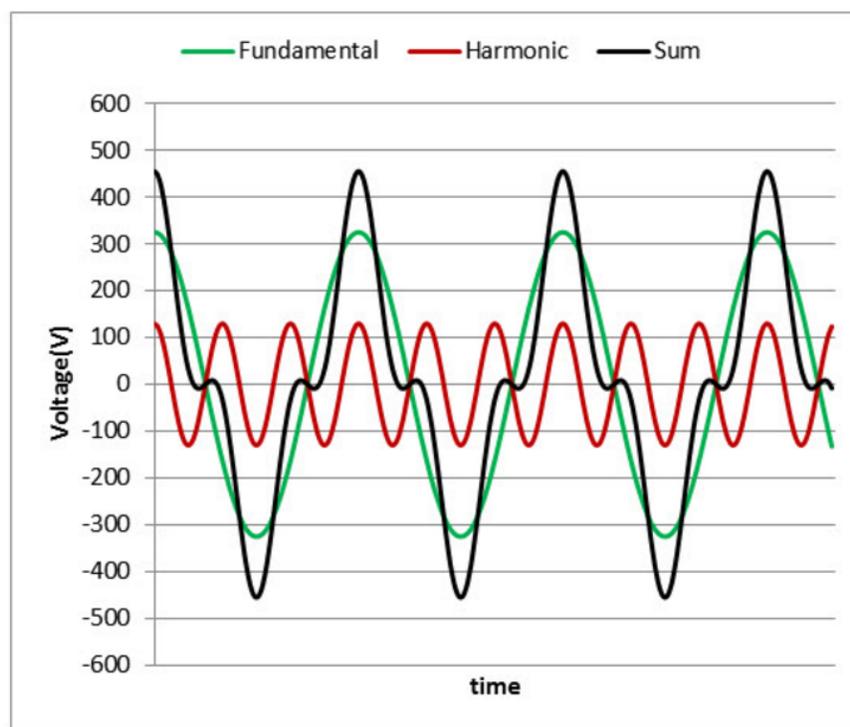


Figura 9: Distorsión de la Forma de ondas [5] .

3.3.3. Fluctuación de voltaje (Flickers)

Las fluctuaciones de voltaje se refieren a cambios en la magnitud del voltaje que pueden ocurrir de manera sistemática. Estas fluctuaciones se caracterizan por ser una serie de variaciones que superan los límites establecidos, que suelen estar entre el 0.95 y el 1.05 en unidades de porcentaje (p.u.). Estas variaciones pueden tener un impacto significativo en los dispositivos eléctricos y electrónicos conectados a la red, lo que hace que el monitoreo y control de las fluctuaciones de voltaje sea un factor importante.

En la figura 10, se puede observar que el flicker se refiere a la fluctuación de la luminancia, es decir, el parpadeo de la luz. Este fenómeno visual es causado por las variaciones en la alimentación de las luminarias debido a una carga perturbadora compartida en el mismo suministro eléctrico. En general, las variaciones de voltaje para el flicker son menores al 1 % de amplitud y tienen una frecuencia de ocurrencia entre 0 y 30 Hz [18].

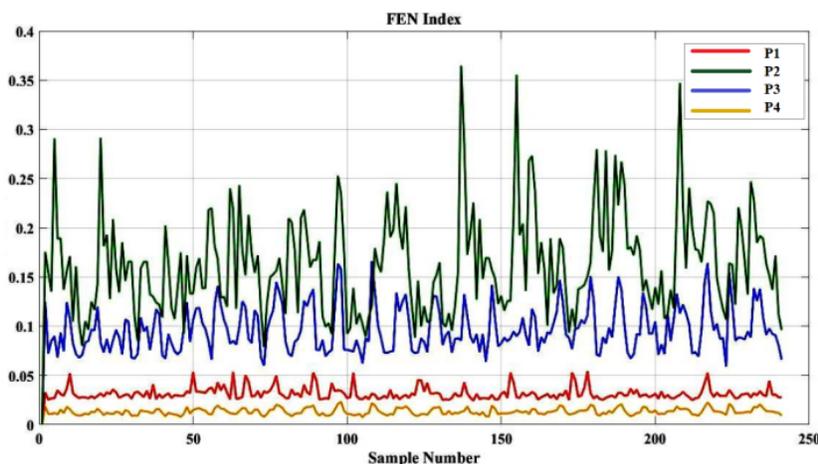


Figura 10: Fluctuación de voltaje (Flickers) [5] .

Asimismo, es importante mencionar que los flickers pueden ser originados por la conexión o desconexión de cargas significativas, como por ejemplo, la puesta en marcha de motores, la conmutación de bancos de capacitores, entre otros.

3.4. Soluciones a problemas de perturbaciones

3.4.1. Soluciones a Desequilibrio de voltaje

Los problemas relacionados con el desequilibrio de voltaje en la calidad de energía pueden generar un impacto negativo considerable en los equipos eléctricos, lo que puede provocar fallas permanentes, reducción de la vida útil y gastos adicionales en mantenimiento. Para abordar estos problemas, existen diversas soluciones disponibles, siendo los bancos de capacitores una de las soluciones más efectivas y utilizadas en la práctica.

- Banco de condensadores:

De acuerdo con el estudio realizado por Recuay Huamán, Kevin Dante en su trabajo titulado “Cálculo Analítico del Intercambiador de Potencia Activa y Reactiva” [19], la corriente inductiva producida por diversos equipos eléctricos, como motores y transformadores, puede causar una disminución en la magnitud de voltaje y una reducción en el factor de potencia en los sistemas eléctricos.



Figura 11: Banco de condensadores.

Cuando se conecta un banco de condensadores figura 11 en un sistema eléctrico, estos componentes pueden almacenar energía eléctrica, cuando la demanda de energía aumenta, el banco de condensadores puede liberar la energía

almacenada para ayudar a compensar la carga adicional. En una situación de carga desequilibrada, donde una de las fases del sistema tiene una corriente mayor que las demás, la instalación de un banco de condensadores en la fase con menor corriente puede equilibrar las corrientes y mejorar el desequilibrio de voltaje.

Los bancos de condensadores pueden usarse para mejorar el desequilibrio de voltaje en el sistema eléctrico. Cuando hay una carga desequilibrada, una de las fases puede tener una corriente mayor que las otras, lo que puede provocar una caída de voltaje en esa fase. Los bancos de condensadores pueden ayudar a corregir esta situación al compensar la corriente en las fases y equilibrar el voltaje en el sistema [19].

Según un estudio llevado a cabo por investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, la incorporación de un banco de capacitores en un sistema eléctrico industrial tuvo un impacto positivo en la reducción del desequilibrio de voltaje en la red y en la disminución de las caídas de voltaje en la línea. Esto se tradujo en una mejora de la eficiencia energética y en una disminución de los costos de energía [20].

De acuerdo con el trabajo de Campoverde Flores titulado “Reducción del desequilibrio de voltaje usando interruptores de transferencia estáticos en microrredes”, se utilizan dispositivos llamados equilibradores para compensar voltajes en microrredes de CC. Se basa en el uso de diferentes tipos de convertidores CC-CC:

- Equilibrador Buck-Boost:

El equilibrador Buck Boost es una técnica comúnmente utilizada en el análisis de microrredes para resolver problemas de desequilibrio de voltaje, ya que puede mejorar la capacidad de potencia y proporcionar una solución segura y efectiva para la compensación del voltaje. Un estudio previo ha destacado su ventaja en cuanto a la capacidad de potencia y seguridad en la compensación del voltaje [21]. En cuanto a los desequilibrios de voltaje, los equilibradores Buck-Boost pueden ayudar a corregirlos ajustando el voltaje de entrada al nivel correcto. Por ejemplo, si un circuito eléctrico está experimentando una fluctuación en el voltaje de entrada, un equilibrador Buck-Boost puede aumentar o disminuir el voltaje para compensar el desequilibrio y mantener el voltaje de salida constante.

- Compensador tipo Boost —SEPIC:

El compensador CC-CC es un tipo de convertidor de potencia utilizado para atenuar el desequilibrio de voltaje en una microred. A diferencia de otros dispositivos, este compensador no consume potencia activa y no depende de una fuente activa para operar. Según un estudio realizado por Prabhakaran et al. [22], este dispositivo también puede reducir la potencia total y la corriente que circula por el conductor de neutro, el cual no puede ser eliminado en una microred.

3.4.2. Soluciones a perturbación rápida (Flicker Pst) y perturbación largas (Flicker Plt)

El flicker o perturbación rápida de voltaje es una variación rápida y repetitiva del voltaje que puede causar molestias visuales, fatiga y otros efectos en equipos eléctricos sensibles, al igual que las perturbaciones de larga duración de voltaje son fluctuaciones de voltaje de larga duración que pueden causar intermitencia en la iluminación y otros equipos eléctricos sensibles. se presentan algunas soluciones para abordar estos problemas de flicker:

- Utilizar dispositivos de compensación de flicker:

Según M. Lamich [6] existen dispositivos como los filtros activos de potencia que pueden reducir el impacto del flicker al compensar las variaciones de voltaje de forma activa.

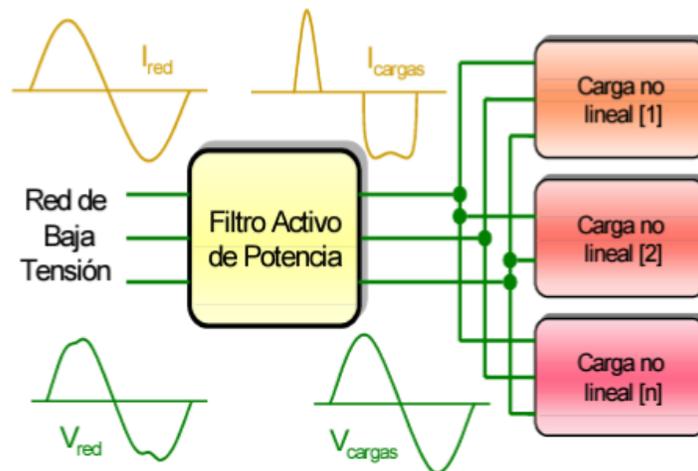


Figura 12: Filtro activo de potencia [6].

Estos dispositivos pueden instalarse en el sistema eléctrico para mejorar la calidad de energía. Los filtros activos de potencia tienen la capacidad de reaccionar rápidamente a las fluctuaciones de voltaje, lo que los hace efectivos para reducir el flicker. Además, pueden proporcionar una solución de compensación adaptable a la variabilidad de la carga, lo que significa que pueden proporcionar una solución más efectiva y económica que los filtros pasivos[6].

- Banco de condensadores:

En su investigación sobre los efectos armónicos en bancos de transformadores trifásicos, Tapia Et [23] argumentan que la instalación de bancos de condensadores puede mejorar significativamente el factor de potencia de un sistema eléctrico, lo que puede resultar en una reducción en el parpadeo. El factor de potencia es una medida de la eficiencia energética en una instalación eléctrica, y un factor de potencia bajo puede contribuir a la aparición del parpadeo.

Los bancos de condensadores funcionan liberando una carga eléctrica almacenada en los condensadores para corregir la energía reactiva en la red eléctrica. Esto puede mejorar el factor de potencia y reducir el parpadeo en la instalación eléctrica.

- Ajuste de la distribución de carga:

En su tesis de grado, Aldo Gary Arriagada [18] explica que la desigualdad en la carga entre las fases puede provocar un aumento en el flicker. Para disminuir el impacto del flicker, es posible ajustar la distribución de carga en el sistema eléctrico. Una manera de lograr esto es distribuir la carga eléctrica de manera uniforme mediante la instalación de cargas adicionales o redistribuyendo las cargas existentes. Por ejemplo, si hay una carga alta en una zona particular del sistema, se puede redistribuir la carga en otras zonas para disminuir la variabilidad en la carga y, por ende, en el flicker.

- Aumento de la capacidad de la fuente de alimentación:

Si la capacidad de la fuente de alimentación es menor que la carga conectada, esto puede aumentar el flicker. Aumentar la capacidad de la fuente de alimentación puede reducir las variaciones de voltaje y mejorar la calidad de energía.

- Aislamiento de equipos sensibles:

Si los equipos sensibles están expuestos al flicker, se pueden aislar mediante el uso de transformadores o reguladores de voltaje. Es importante tener en cuenta que la solución adecuada para el problema de flicker dependerá de las características específicas del sistema eléctrico y de los equipos involucrados. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis detallado del problema antes de implementar cualquier solución.

3.4.3. Solución a distorsión armónica total de voltaje THD_v

La inclusión de condensadores en los sistemas de potencia puede empeorar los problemas de flujo armónico debido a que pueden introducir polos y ceros en la función $Z(w)$, lo que aumenta los efectos de los armónicos. En caso de que el análisis armónico muestre que este es el caso, se pueden considerar diversas alternativas para solucionar el problema, como la eliminación o reducción de los condensadores o la instalación de filtros armónicos. Esta estrategia es efectiva para disminuir los efectos de los armónicos en el sistema [?].

- Instalación de filtros:

La solución técnica más completa para absorber corrientes armónicas generadas por equipos es el uso de filtros R-L-C, aunque también es la más costosa. En el diseño de filtros, no hay reglas determinísticas precisas y se basa en gran medida en la experiencia y el ensayo y error. Los filtros pueden utilizarse para resolver problemas de distorsión armónica de voltaje o para reducir la inyección de corrientes armónicas en el sistema. Es posible controlar las corrientes armónicas de varias maneras:

- Utilizar alta impedancia en serie para bloquear su paso.:

Los filtros en serie transportan corriente de carga completa y requieren aislamiento en el voltaje de línea, mientras que los filtros paralelos transportan solo una fracción de la corriente de carga. Debido a que los filtros en serie son más costosos, los filtros en paralelo pueden compensar el factor de potencia en la frecuencia fundamental, por lo que los filtros en paralelo son más comunes. En general, hay dos tipos principales de filtros: filtros sintonizados y búferes. Los filtros sintonizables (como los filtros monotónicos) se pueden

usar para filtrar una o más frecuencias específicas, mientras que los búferes (como los filtros de paso alto) son adecuados para filtrar bandas de frecuencia más amplias.

Para la supresión armónica se presenta un estudio realizado y discutido en [24],[25],[26], de las soluciones de mitigación de armónicos, que describen las soluciones clásicas y nuevas. Los estudios presentados se destacan varios enfoques prácticos eficientes que apuntan a la supresión de armónicos en un entorno industrial como diseño de sistemas de potencia que pueden limitar los armónicos si la carga no lineal se reduce al 30 % de la capacidad máxima del transformador; también se pueden utilizar transformadores de aislamiento para reducir la distorsión armónica; se pueden adoptar convertidores de pulso más altos para disminuir los armónicos de orden más alto en la forma de onda actual en el dominio del tiempo; los reactores de línea podrían atenuar la perturbación armónica si su rango de impedancia está entre 1,5 %, 3 %, 5 % y 7,5 %.

3.4.4. Soluciones a la fluctuación de voltaje (Flickers)

González Castaño [27], en su trabajo “Un modelo de horno de arco eléctrico para el estudio de los efectos de parpadeo y su método de compensación”, demuestra que el sistema flexible de transmisión de corriente alterna (FACTS) se puede utilizar para reducir las fluctuaciones y regular el voltaje en sistemas eléctricos. Estos dispositivos están diseñados para operar en sistemas de transmisión con características nominales de potencia y voltaje. El dispositivo FACTS más utilizado es el compensador de voltaje estático (SVC), que tiene un control de voltaje rápido para estabilizar la fuente de alimentación durante e inmediatamente después de las perturbaciones.

- Funcionamiento del SVC:

Los SVCs son capaces de proporcionar una compensación reactiva controlable para las fluctuaciones en el voltaje. Esta compensación se realiza en derivación. Para lograrlo, se utilizan componentes reactivos convencionales controlables, como los tiristores de alta velocidad.

3.5. Calidad de producto: Regulación Nro. ARCERNNR-002/20

El propósito de la integración del módulo Powerlogic Ion7400 es proporcionar un análisis de la calidad del suministro de energía eléctrica siguiendo los lineamientos establecidos por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables Subterránea en la Resolución Nro. ARCERNNR-017/2020 y la Regulación Nro. ARCERNNR-002/20.

La REGULACIÓN Nro. ARCERNNR -002/20 [28] para la calidad de energía se lleva a cabo considerando los siguientes indicadores:

- Nivel de Voltaje.
- Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)
- Distorsión armónica de voltaje
- Desequilibrio de voltaje.

3.5.1. Nivel de Voltaje

Según ARCERNNR Nro. 002/20 [28] el nivel de voltaje trata sobre las variaciones del voltaje de suministro con respecto al voltaje nominal en el punto k , el nivel de voltaje en un punto del sistema se determinará mediante el índice de seguimiento como lo establece la norma:

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

donde:

V_{κ} El valor del voltaje en el punto k se obtiene como el promedio de las mediciones registradas (con un intervalo de al menos 3 segundos) durante un período de 10 minutos. A este valor se le llama "voltaje de suministro en el punto k ". Por otro lado,

V_N se refiere al valor nominal del voltaje en el mismo punto.

3.5.2. Perturbación rápida de voltaje

De acuerdo con la norma IEC 61000-4-151 [29], las perturbaciones rápidas de voltaje se evalúan a través del índice de severidad por parpadeo de corta duración (P_{st}), el cual cuantifica la severidad de las variaciones periódicas de amplitud de voltaje a corto plazo. El P_{st} se calcula en intervalos de medición de 10 minutos y se utiliza para evaluar la calidad de la energía eléctrica suministrada:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (2)$$

donde:

$P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} son los niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1 %, 1 %, 3 %, 10 %, 50 % del tiempo total del intervalo de medición.

En el punto de medición correspondiente, el valor máximo permitido para el índice de severidad del flicker de corta duración, denominado P_{st} , es de una unidad.

3.5.3. Distorsión armónica de voltaje

Se evaluará la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, conforme las siguientes expresiones lo estable la regulación ARCERNR Nro. 002/20 [28]:

$$V_{h,\kappa} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (3)$$

$$DV_{h,\kappa} = \frac{V_{h,\kappa}}{V_{h,1}} \times 100 \% \quad (4)$$

$$THD_{\kappa} = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,\kappa})^2} \right] \times 100 \% \quad (5)$$

donde:

$V_{h,\kappa}$ son las armónicas de voltaje h en el intervalo κ de 10 minutos.

$V_{h,i}$ es el valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para $h = 2, 3, \dots, 50$), medido cada 3 segundos ($i = 1, 2, \dots, 200$).

$DV_{h,\kappa}$ es el factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para $h = 2, 3, \dots, 50$) en el intervalo κ de 10 minutos.

THD_{κ} es el factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_{h,1}$ = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición

La Tabla 4 presenta los rangos establecidos por la norma ARCERNR 002-20[28] para cumplir con los requisitos de distorsión armónica del voltaje.

Nivel de Voltaje	Factor de distorsión armónica individual (%)	(%)
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0

Tabla 4: Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal).

3.5.4. Desequilibrio de voltaje

El desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución se determinará con el siguiente índice:

$$\boxed{\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 \%} \quad (6)$$

V^- es el componente de secuencia negativa de voltaje, obtenido mediante el cálculo del valor promedio de las mediciones registradas (con una frecuencia mínima de 3 segundos) durante un intervalo de 10 minutos.

V^+ son los componentes de secuencia positiva de voltaje, que se determinan como el valor medio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) durante un intervalo de 10 minutos.

El límite permitido para el índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición según la regulación ARCERNNR Nro. 002/20 [28] es del 2% para todos los niveles de voltaje.

3.5.5. Factor K

El factor K se utiliza para comparar el efecto de calentamiento de una corriente distorsionada en un transformador con una corriente sinusoidal de la misma magnitud RMS. Este factor es importante porque indica la capacidad de un transformador para suministrar energía a cargas no lineales sin exceder los límites no lineales de aumento de temperatura. Este parámetro se define como la relación entre la corriente de carga distorsionada y la corriente de carga sinusoidal que produce el mismo efecto de calentamiento en el transformador. [1].

El valor del factor K se obtiene al sumar los cuadrados de las magnitudes de cada componente armónico del voltaje o corriente, multiplicados por los cuadrados de sus respectivos órdenes armónicos. La ecuación utilizada por la central de medida para calcular el factor K es la siguiente:

$$K = \frac{\sum_{n=1}^h (Ih^2 * h^2)}{\sum_{n=1}^h Ih^2} \quad (7)$$

donde:

K es el factor K

h es el orden armónico

Ih es la intensidad RMS real del armónico h

3.5.6. Estándar IEEE Std 519-2019

El estándar IEEE para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica [7] se centra en la calidad de la energía eléctrica, específicamente en el control de armónicos en sistemas eléctricos. Su objetivo es establecer recomendaciones y requisitos para limitar la distorsión armónica en sistemas eléctricos de baja y alta voltaje, a fin de reducir los efectos adversos de la distorsión armónica en las cargas y en el sistema eléctrico en general. En general, el estándar tiene como finalidad mejorar la calidad de la energía eléctrica y garantizar una alimentación eléctrica eficiente y confiable para los usuarios.

Los límites establecidos en el estándar se aplican a usuarios conectados a sistemas eléctricos donde el voltaje nominal en el Punto de Conexión Común (PCC) varía entre 120 V y 69 kV. Es importante tener en cuenta que estos límites no deben usarse para evaluar cargas no lineales individuales, sino para evaluar instalaciones que contengan tales cargas.

En el PCC, los usuarios tienen la responsabilidad de asegurarse de que los armónicos de corriente no excedan los límites establecidos. Es decir, deben tomar medidas para mantener los armónicos de corriente dentro de los límites establecidos para prevenir problemas en el sistema eléctrico [7]. Es importante tener en cuenta que estos límites se aplican a nivel de la instalación en su totalidad y no a nivel individual de carga no lineal. En el PCC, los usuarios deben limitar sus armónicos de corriente de acuerdo a los límites establecidos de la siguiente manera:

- Duración muy corta (3 s) Las corrientes armónicas diarias del percentil 99 deben ser inferiores a 2,0 veces los valores dado en la Tabla 5.
- Las corrientes armónicas semanales del percentil 99 de corta duración (10 min) deben ser inferiores a 1,5 veces los valores dado en la Tabla 5.
- Las corrientes armónicas semanales del percentil 95 de corta duración (10 min) deben ser menores que los valores dados en Tabla 5.
- Voltios al cuadrado por hora y amperios al cuadrado por hora.

En un sistema eléctrico, se establecen límites para la distorsión armónica que se produce en la corriente eléctrica, y estos límites se expresan en porcentaje de la demanda de corriente de carga máxima (IL). Estos límites se establecen

en el PCC, que es el punto donde se conecta el sistema eléctrico a la red de distribución.

Distorsión de corriente armónica máxima en porcentaje de IL						
Orden armónico individuo						
ISC/IL	$2 \leq h < 11a$	$11 \leq h < 17$	$17 < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabla 5: Límites de distorsión de corriente para sistemas clasificados de 120 V a 69 kV[7].

La tabla 5 especifica los límites para las corrientes armónicas que son múltiplos enteros de la frecuencia de la red eléctrica. En otras palabras, se refiere a las distorsiones armónicas que se producen en la corriente eléctrica a una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la red eléctrica. Los valores de estos límites también se expresan en porcentaje de la demanda de corriente de carga máxima (IL).

3.5.7. Estándar IEEE Std 1459-2010

El estándar IEEE Std 1459-2010, también conocido como IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions [30], es una norma que establece definiciones y métodos de medición de las magnitudes eléctricas en sistemas de energía eléctrica.

Este estándar define las magnitudes eléctricas básicas, como el voltaje, corriente, potencia y energía eléctrica, y también establece definiciones para magnitudes más complejas, como la distorsión armónica, el factor de potencia, la reactancia y la impedancia.

Además, el estándar proporciona una guía detallada para la medición de estas magnitudes en sistemas de energía eléctrica que pueden tener condiciones

sinusoidales o no sinusoidales, balanceadas o desbalanceadas. Esto es particularmente útil en sistemas eléctricos con carga no lineal, como los sistemas electrónicos y de computación[30].

El IEEE Std 1459-2010 es una herramienta importante para los ingenieros eléctricos, los proveedores de energía eléctrica y los reguladores, ya que establece una base común para la medición de magnitudes eléctricas en sistemas eléctricos. El uso de esta norma puede ayudar a mejorar la eficiencia energética, la calidad de la energía eléctrica y la seguridad en la operación de sistemas eléctricos.

El estándar IEEE Std 1459-2010 [30] es un estándar que proporciona una guía para la medición, análisis y presentación de información de calidad de la energía eléctrica. En particular, el estándar IEEE 1459 establece un marco para la definición y medición de componentes de potencia en sistemas eléctricos, incluyendo los armónicos. El estándar define la potencia como la tasa de energía transferida por unidad de tiempo, y establece que la potencia eléctrica puede dividirse en tres componentes:

- Potencia activa: la potencia que se disipa en una carga y se convierte en trabajo útil.
- Potencia reactiva: la potencia que fluye hacia adelante y hacia atrás entre una carga y una fuente de energía sin producir trabajo útil.
- Potencia aparente: la potencia total en un circuito que se mide en volt-amperios (VA).

Además, el estándar establece una forma de medir y analizar los armónicos en sistemas eléctricos. Define armónicos como componentes sinusoidales de la corriente o la tensión que tienen frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. El estándar también proporciona una definición de distorsión armónica total (THD), que se utiliza para medir la cantidad de armónicos presentes en un sistema eléctrico [30].

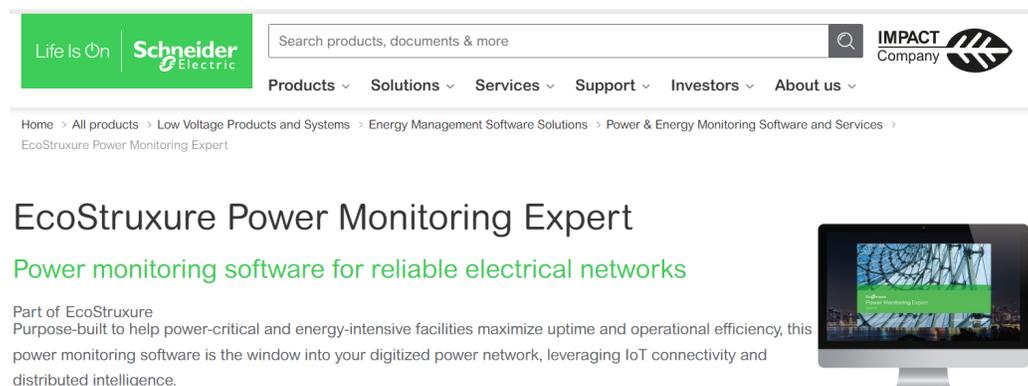
4. CAPÍTULO 4: Software EcoStruxure Power Monitoring Expert

4.1. Introducción

El software mencionado cuenta con varias aplicaciones que se activan una vez instalado en el ordenador. La carpeta Power Monitoring Expert se crea en el escritorio del usuario tras finalizar la instalación. A través de estas aplicaciones, es posible convertir los datos en acciones y desbloquear todo el potencial del sistema, gracias a la utilización de avanzadas herramientas de visualización y análisis de energía.

4.2. Paquete de software PME

Cada una de las herramientas mencionadas se encuentra disponible para su descarga en el sitio web oficial. Es importante destacar que, para poder descargar cualquier software, es necesario que el usuario se registre y cree una cuenta previamente.



The image shows a screenshot of the Schneider Electric website. At the top, there is a navigation bar with the Schneider Electric logo on the left and a search bar in the center. To the right of the search bar is the IMPACT Company logo. Below the navigation bar, there are several menu items: Products, Solutions, Services, Support, Investors, and About us. The main content area features the title "EcoStruxure Power Monitoring Expert" in a large font, followed by the subtitle "Power monitoring software for reliable electrical networks" in green. Below this, there is a short paragraph describing the software as part of EcoStruxure, designed to help power-critical and energy-intensive facilities maximize uptime and operational efficiency. To the right of the text is a small image of a computer monitor displaying a power network visualization.

Figura 13: Fluctuación de voltaje (Flickers)

Para llevar a cabo el proyecto en cuestión, se requiere el software específico correspondiente a todos los dispositivos que se utilizaran. Dicho software es habilitado por los fabricantes de los dispositivos en cuestión.

4.2.1. Implementación

Para la comunicación de la red LAN en cuestión, se han utilizado el IP de clase C. Este tipo de direcciones IP se suele emplear en redes pequeñas. Las direcciones IP de clase C están comprendidas en el rango que va desde 192.0.0.0 hasta 223.255.255.255 y su máscara de subred es 255.255.255.0.

Por otro lado, cabe destacar que el switch industrial administrable utilizado en la red LAN permite llevar a cabo un proceso de subneteo. Esta práctica ayuda a mantener un entorno de red física más organizado y seguro. Es esencial configurar las direcciones IP de los dispositivos y asegurarse de que estén en el mismo segmento de red para facilitar el control, monitoreo y comunicación entre ellos.

La configuración de la red LAN en los dispositivos se realizó utilizando el programa específico de cada uno de ellos, de manera individual. A continuación se describen los detalles de la configuración realizada en cada dispositivo.

Las direcciones IP asignadas a los dispositivos son otorgadas de acuerdo con la información proporcionada en la Tabla 6.

Dispositivo	Dirección IP	Mascara de Subred
SWITCH	192.168.1.1	255.255.255.0
RTU	192.168.1.3	255.255.255.0
PC	192.168.1.10	255.255.255.0
CMC 356	192.168.1.10	255.255.255.0

Tabla 6: Direcciones IP asignadas.

4.3. Management Console

Su función consiste en integrar dispositivos Modbus al sistema de control y monitoreo. Esto implica que es posible utilizar cualquiera de las dos aplicaciones para configurar sitios y dispositivos, dependiendo de las necesidades específicas, y trabajar con una u otra aplicación según sea necesario.

1. En la pestaña sitio, se vincula un nuevo sitio de puerta por medio de enlace Ethernet figura 14.

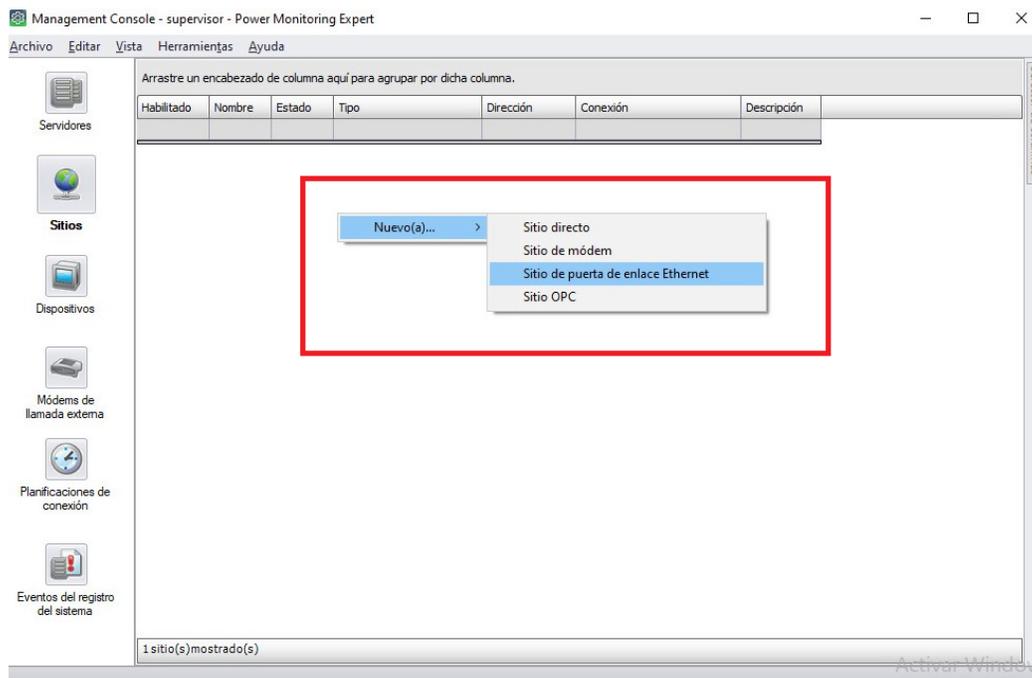


Figura 14: Configuración de puerta de enlace.

Para conectar el puerto Ethernet del PC al puerto Ethernet de la central de medida, es necesario utilizar un cable adecuado. Una vez que el cable esté conectado, se deben configurar las direcciones IP designadas y verificar si se están transfiriendo datos mediante el uso de PING entre cada una de las direcciones IP de los equipos.

Para ingresar al símbolo del sistema, se debe dirigir al buscador de Windows y escribir `cmd`". De esta forma, se podrá verificar la comunicación entre la PC y el módulo ION7400 y el switch.

2. Se asignan las siguientes características al sitio de puerta figura 15.

A continuación se proporciona un desglose de la configuración realizada en el switch para establecer la red:

- Para poner en funcionamiento el switch, es necesario suministrarle energía y luego conectarlo a la PC utilizando un cable Ethernet.
- Introducir dirección IP en este caso la establecida anteriormente.

The screenshot shows a dialog box titled "Configuración de sitio de puerta de enlace Ethernet". A red rectangular box highlights a table containing the following configuration details:

Nombre	Switch
Dirección IP o nombre de host	192.168.1.1
TCP/IP Port	502
Ordenador	DESKTOP-3F7PKOQ
Habilitado	Sí
Sincronización horaria ION habilitada	No
Sincronización horaria 3XXX habilitada	No
Sincronización horaria 3720 habilitada	No
Descripción	

Below the table, there is a text input field labeled "Nombre" with the instruction "Introduzca un nombre con que identificar el sitio." At the bottom right of the dialog box, there are two buttons: "Aceptar" and "Cancelar".

Figura 15: Características de puerta de enlace.

Para iniciar el ION Setup con la Connection Type Ethernet, se debe ingresar la dirección IP del módulo switch (192.168.1.1). De esta manera, el sistema se creará automáticamente.

3. En la pestaña "dispositivos", se agrega el medidor inteligente.

Para agregar el dispositivo ION 7400, se deben seguir los mismos pasos que anteriormente, pero se debe tener en cuenta que la dirección IP para el módulo será distinta. En este caso, para el módulo ION, la dirección IP asignada es 192.168.1.10. Luego se procede a asignar las características del dispositivo:

Grupo	PME
Nombre	MedidorInteligente
Tipo de dispositivo	ION 7400
Dirección IP o nombre de host	192.168.1.10
Habilitado	Sí
Sincronización horaria Ethernet habilitada	No
Ordenador	DESKTOP-3F7PKOQ
Descripción	
Zona horaria	(UTC-05:00) Bogotá, Lima, Quito, Rio Branco

Dirección IP o nombre de host
Introduzca la dirección IP o el nombre del host del dispositivo de la pasarela Ethernet.

Aceptar Cancelar

Figura 16: Características del dispositivo.

4. Para finalizar, se conecta el sitio y dispositivo figura 17,18.

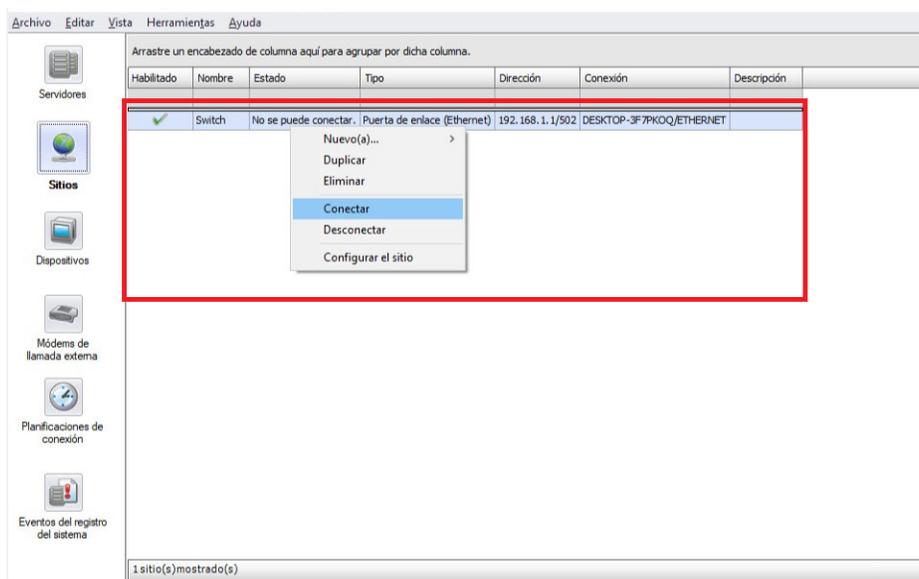


Figura 17: Conexión puerta de enlace.

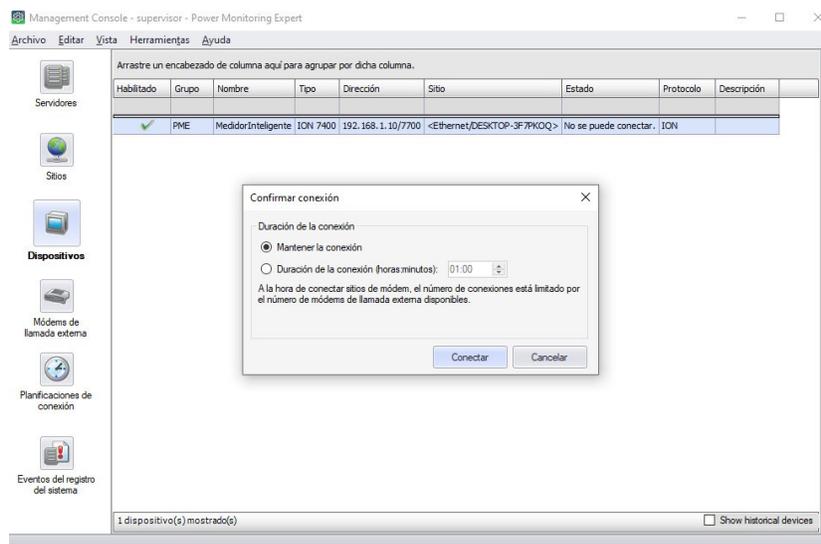


Figura 18: Conexión de dispositivo.

4.3.1. Herramienta Vista

Vista es una herramienta de diseño que permite crear diagramas en tiempo real que muestran información sobre el estado de los dispositivos instalados y otros componentes del sistema. Además, esta herramienta cuenta con diagramas predeterminados que el usuario puede modificar según sus necesidades y preferencias.

La finalidad de esta herramienta es permitir el diseño de una pantalla de inicio que permita al usuario tomar decisiones en relación con el correcto funcionamiento de los equipos de manera fácil e intuitiva. Los resultados de este diseño se pueden visualizar en la aplicación web de PME.

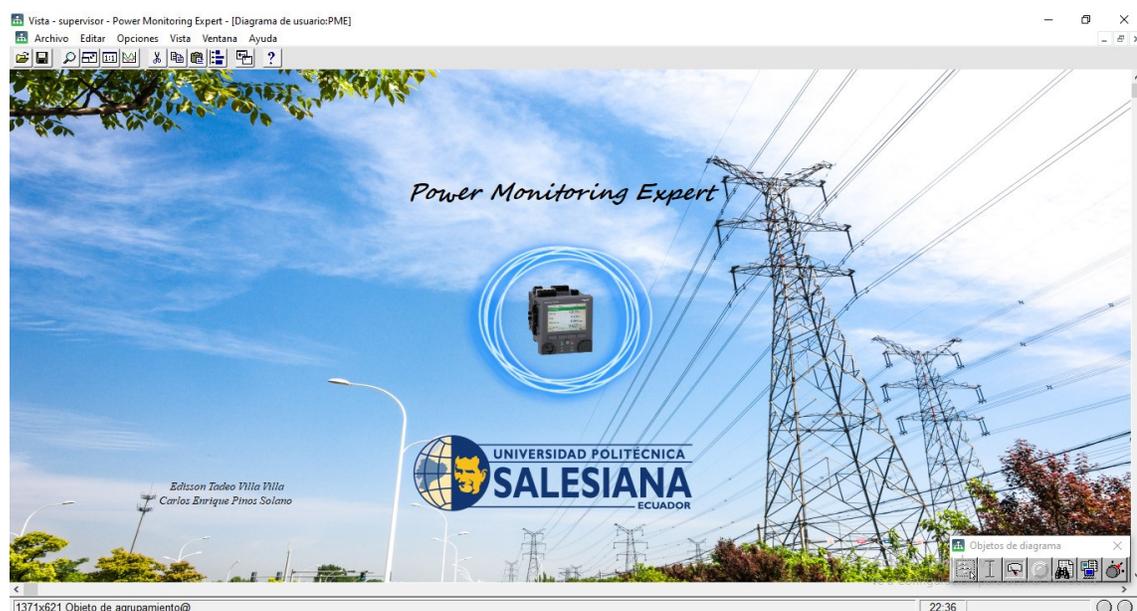


Figura 19: Diseño de pantalla de inicio.
Fuente:Autores

En la figura 19 se muestra el diseño implementado como página de inicio para el monitoreo a través del medidor Ion 7400.

En la pantalla de inicio se encuentra la pantalla de menú, desde la cual se puede acceder a las pestañas de visualización y análisis de energía, como se muestra en la figura 20.



Figura 20: Diseño de pantalla de menú.

Cada pestaña en la pantalla de visualización y análisis de energía tiene su propio diagrama, los cuales están predeterminados por el fabricante. Sin embargo, según las necesidades del usuario, estos diagramas pueden ser editados y personalizados en función de las preferencias del usuario, como se muestra en la figura 21.

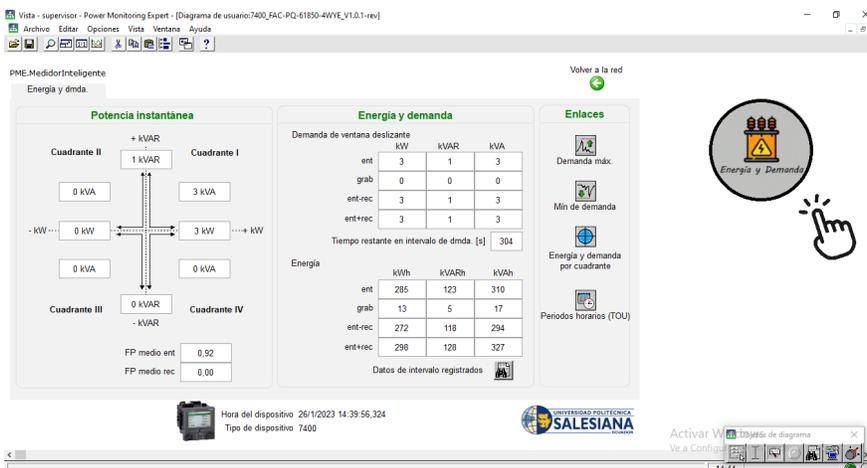


Figura 21: Pestaña de energía y demanda.

En la figura 21 se observa el diagrama de la pestaña “Energía y Demanda”. Esta sección proporciona información acerca de la potencia instalada, energía y demanda, y factor de potencia. Todos estos datos se almacenan en una base de datos y pueden ser descargados y utilizados por el usuario.

Otro diagrama de gran utilidad para el usuario es el de "Voltajes y Corrientes", como se aprecia en la figura 22. Esta sección proporciona información en tiempo real acerca del voltaje y corriente de las tres fases. Además, permite observar el desequilibrio de voltaje, frecuencia y factor de potencia. Todos estos datos son registrados y almacenados en una base de datos.

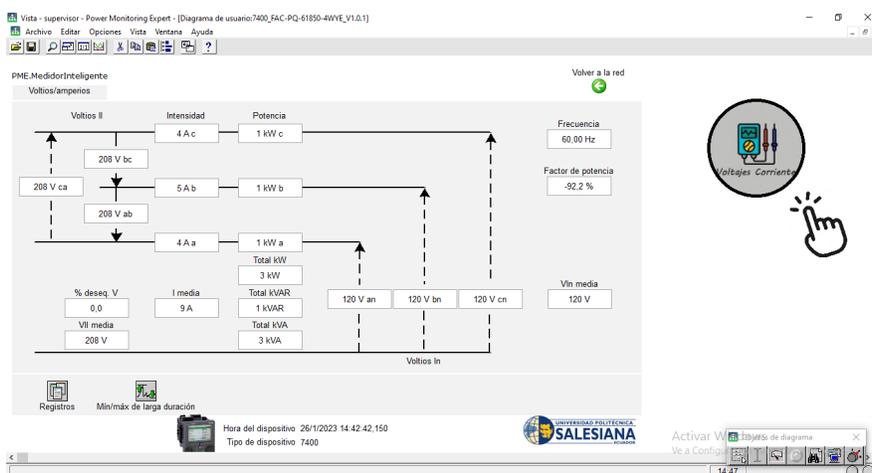


Figura 22: Pestaña de voltajes corrientes.

El diagrama de “Gestión de Calidad”, continuación en la figura 23, nos brinda información acerca de eventos registrados, como huecos y puntas de CBE-MA, así como también la fecha de la última perturbación de tensión. Además, proporciona información sobre medidas de armónicos y un enlace de gestión de calidad que se rige bajo la norma EN-50160. Dicha norma nos proporciona información sobre frecuencia, magnitud de voltaje, huecos de tensión, sobretensión, desequilibrio de voltaje, armónicos y flicker, todos estos datos son registrados y almacenados en la base de datos.

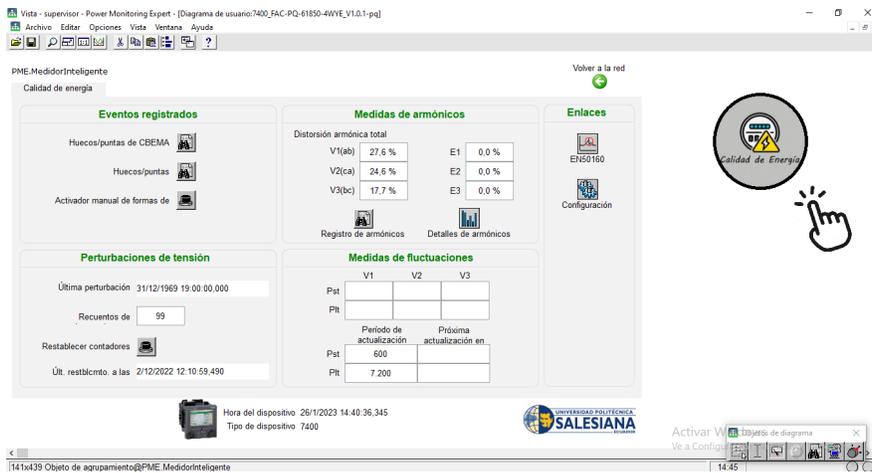


Figura 23: Pestaña de calidad de energía.

La pestaña de "Configuración y Diagnóstico" facilita información del dispositivo y sus configuraciones, como se observa en la figura 23.

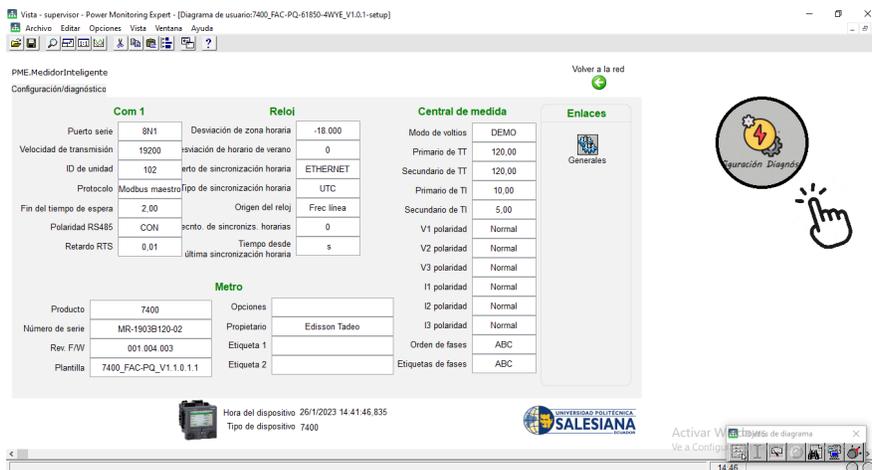


Figura 24: Pestaña de configuración y diagnóstico.

La pestaña de "Consignas", permite al usuario establecer alarmas mediante la definición de un rango específico. Estas alarmas se activan o desactivan dependiendo de si el valor medido cae dentro o fuera del rango establecido. Este tipo de configuración aplica a variables como el desequilibrio de voltaje,

la demanda y el consumo de corriente, en función del rango definido por el usuario, como se muestra en la figura 25.



Figura 25: Pestaña de consignas.

Las entradas digitales se usan para supervisar contactos, como los presentes en interruptores automáticos, y para medir entradas, como en la supervisión de WAGES o en la sincronización horaria. Las salidas digitales se usan para conmutar equipos externos, como bancos de condensadores o generadores, y proporcionar señales de activación o desactivación.

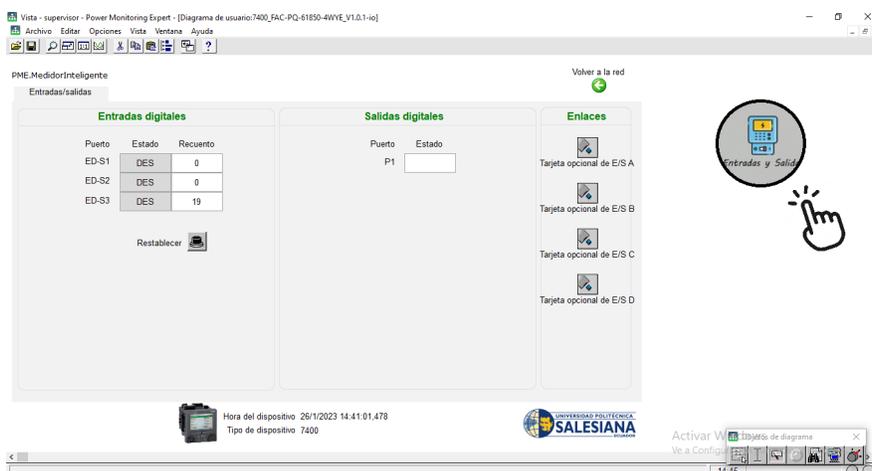


Figura 26: Pestaña de entradas y salidas.

4.3.2. Web Aplicaciones

Las aplicaciones web están compuestas por diferentes elementos que integran el software y que van orientados al usuario final. Estas aplicaciones se enfocan en el trabajo diario con Power Monitoring Expert (PME).

Aplicaciones

En la sección de las aplicaciones web, es utilizada para acceder a la información de supervisión de la energía.

- Cuadros de mandos

La aplicación Cuadros de mandos se utiliza para ver datos históricos generales y datos en tiempo real. Se accede a la información de la aplicación Cuadros de mandos a través de cuadros de mandos con gadgets.

Como se muestra en la figura 27, se presenta la aplicación Cuadros a la integración del dispositivo Ion 7400.

1. En la pestaña de cuadros de mando, al dar clic en el icono (+) empieza la creación de nuevo cuadro de mando.

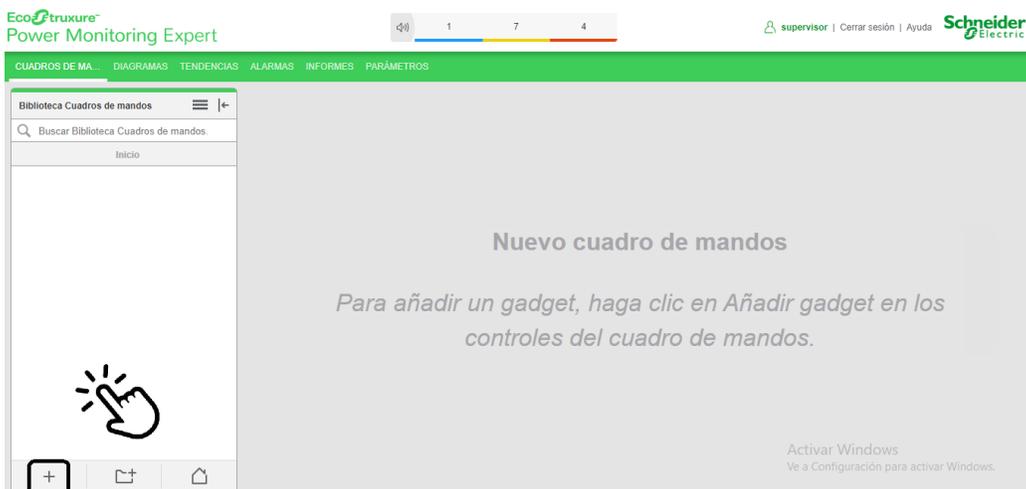


Figura 27: Creación de cuadros mando.

- Asignan los siguientes datos al cuadro de mando, como se muestra en la figura 28.

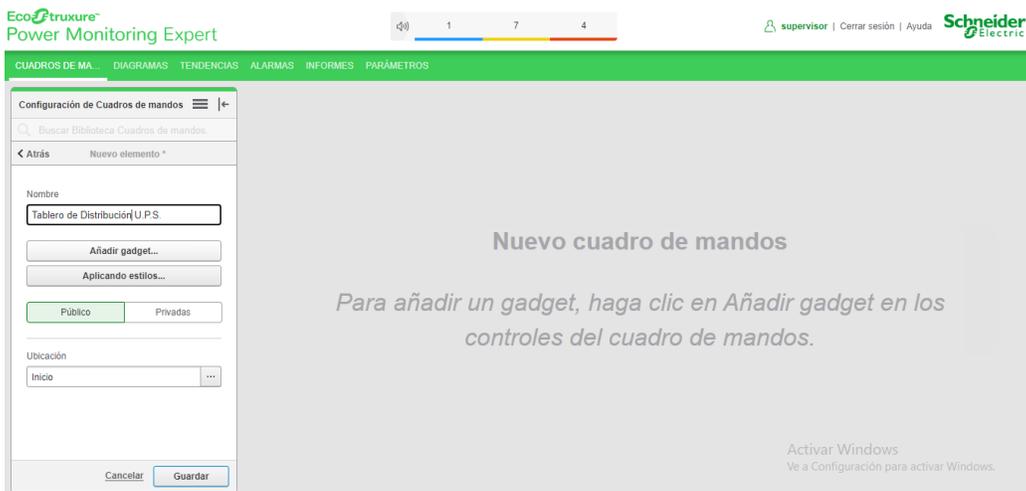


Figura 28: Creación de cuadros mando.

- Se escoge el tipo de gadget según la necesidad del usuario, figura 29.

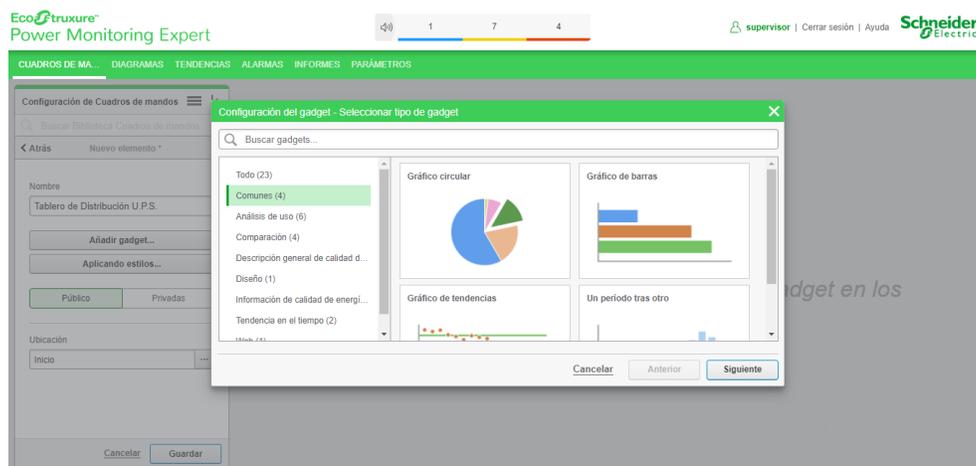


Figura 29: Creación gadget.

- Se fijan parámetros, como el título, la base de datos que el usuario desee monitorear, por último el rango de tiempo, el cual es variable

dependiendo el análisis requerido. Como se muestra en las siguientes Figuras 30,31,32.

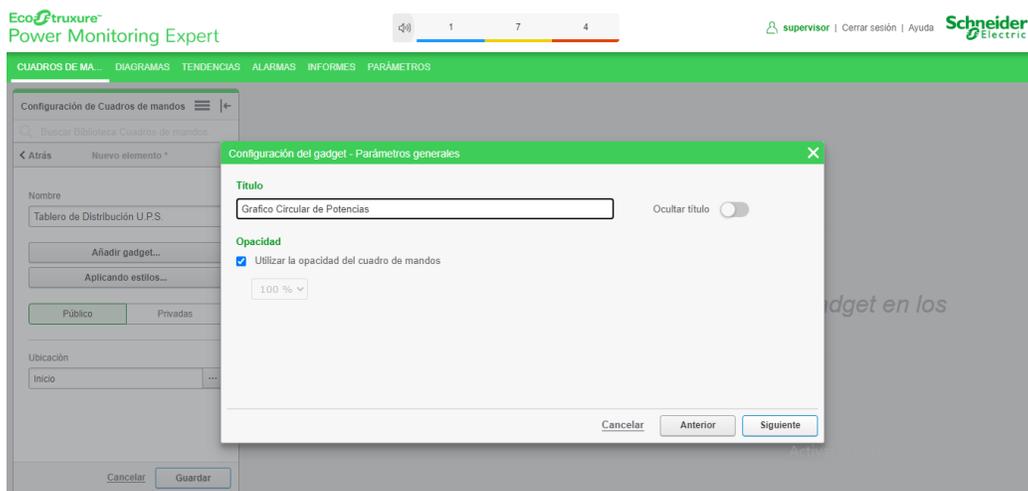


Figura 30: Título gadget.

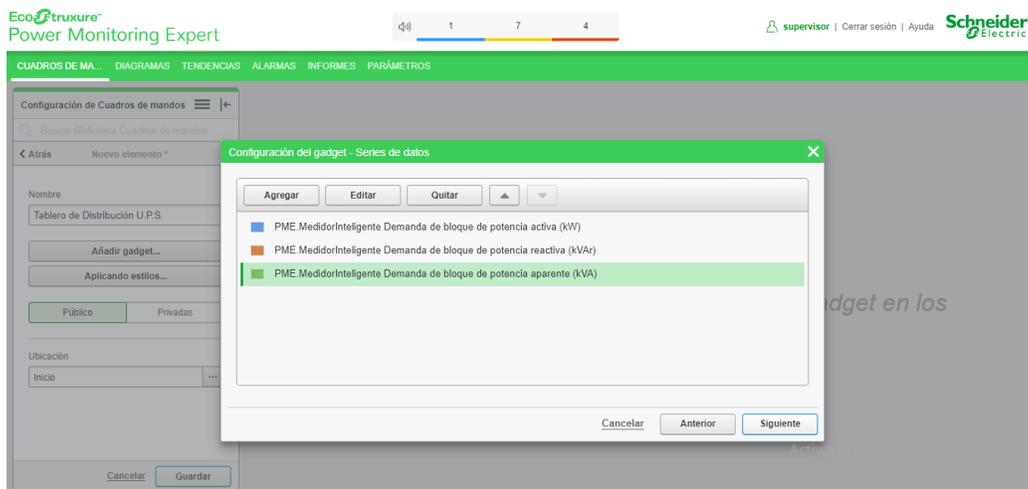


Figura 31: Selección de datos de gadget.

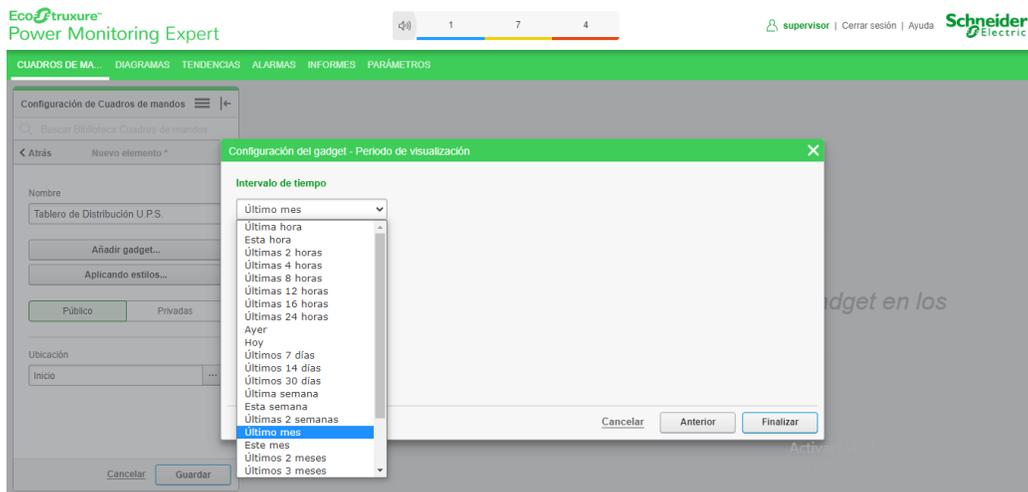


Figura 32: Rango de fecha de gadget.

- Una vez realizado estos pasos, se creará el gadget de preferencia del usuario, como se muestra en la figura 33.

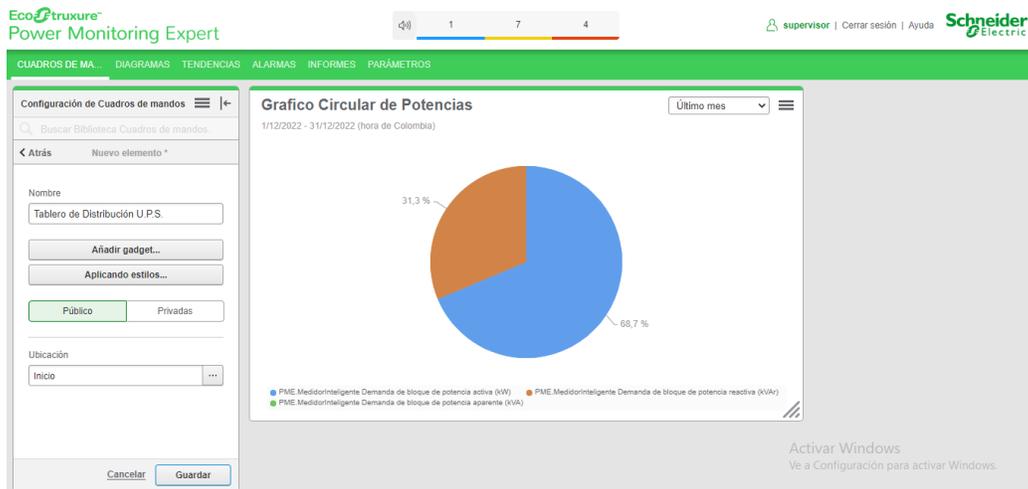


Figura 33: Creación de gadget.

6. Existen una gran variedad de gadget, los cuales se pueden implementar según las variables que se desee monitorear. Para la aplicación de más gadget se repiten los pasos enumerados anteriormente, figura 34.

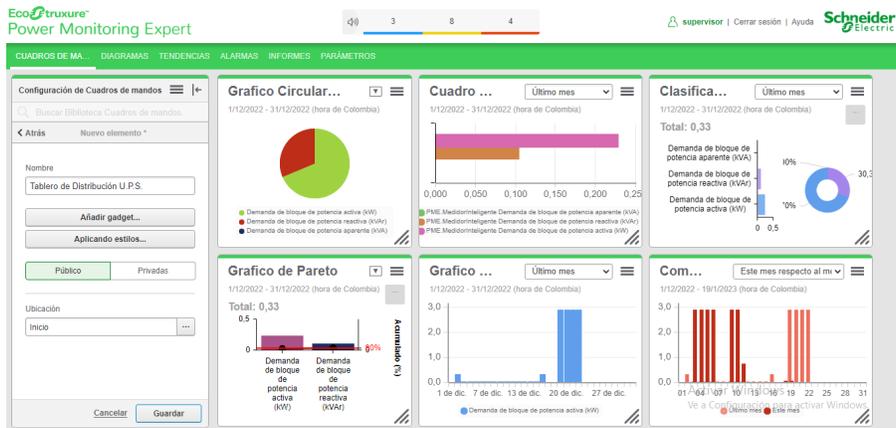


Figura 34: Creación de gadget.

- Diagramas

La aplicación Diagramas se utiliza para ver los diagramas de red predeterminados y también los diagramas personalizados con valores en tiempo real, que son creados en la herramienta Vista y a su vez son proyectados en la interfaz de Aplicaciones web.

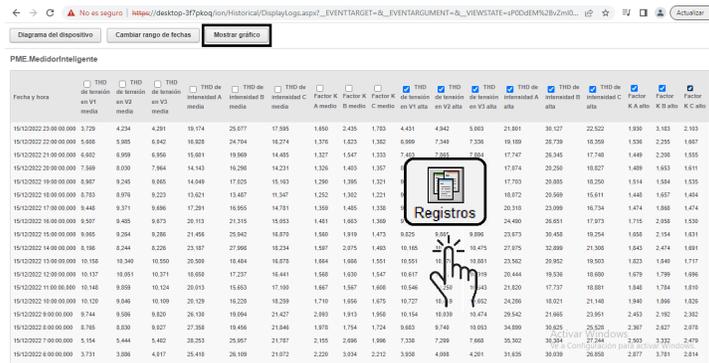


Figura 35: Análisis de datos numéricos.

En la figura 35 se muestra como se puede obtener valores numéricos de datos del dispositivo Ion 7400 en tiempo real, los cuales se pueden utilizar diversos análisis numéricos.

Una forma mucho más sencilla de interpretar un gran número de datos es por medio de la generación de un diagrama gráfico, esta es una función que posee la herramienta diagramas. En la figura 36 se muestra un ejemplo de su aplicación.

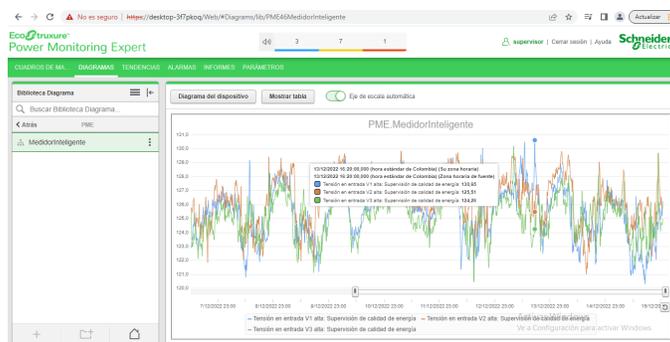


Figura 36: Diagrama gráfico.

- Tendencias

La aplicación Tendencias permite monitorear las condiciones actuales del sistema mostrando datos en tiempo real en formato gráfico. Además como se muestra en la figura 37, puede combinar datos en tiempo real y datos históricos en la misma tendencia.



Figura 37: Diagrama de tendencias.

■ Alarmas

Como se muestra en la figura 38, La interfaz de la aplicación Alarmas se utiliza para observar las alarmas generadas por software y por el usuario, las cuales están funcionando en tiempo real.

El Visor de alarmas se divide en dos áreas principales: la biblioteca de vistas y el panel de visualización de alarmas. Para ver información sobre las alarmas en el panel de visualización, es necesario seleccionar una vista en la biblioteca de vistas. La biblioteca cuenta con vistas del sistema predefinidas y es posible crear vistas personalizadas adicionales.

Las alarmas también se clasifican según la prioridad, ya sea baja, media y alta dependiendo los parámetros que considere el usuario. Estas alarmas están almacenadas en un historial en el cual podemos ver el registro de incidentes.



Figura 38: Sección de alarmas.

■ Informes

La aplicación Informes se utiliza para generar informes de datos históricos. Los puede ver en el portal web de PME cuáles se pueden descargar en distintos formatos para compartirlos o almacenarlos externamente. Para generar un informe, puede ejecutarlo manualmente o configurar una programación automática a través de definir eventos de activación, como por ejemplo una perturbación en el sistema, como se muestra en la figura 39.

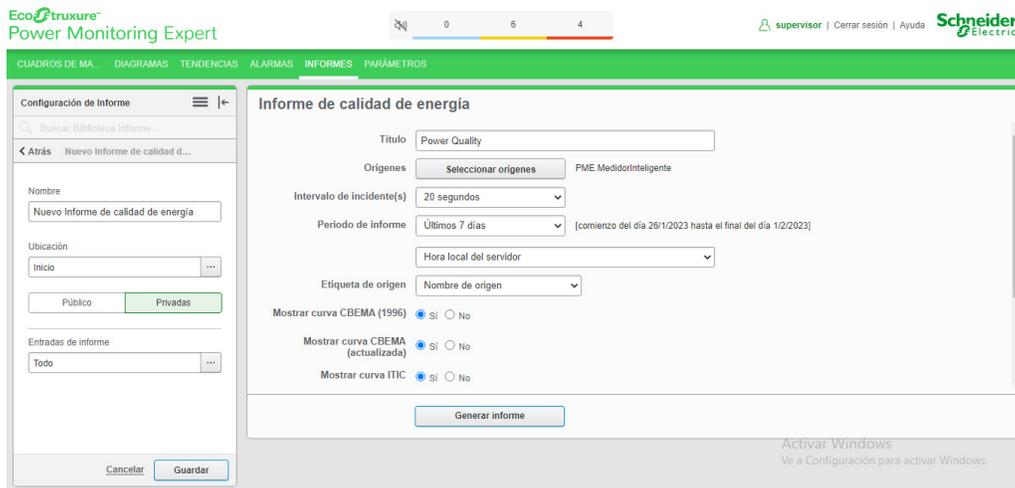


Figura 39: Sección de informes.

El portal web PME proporciona una amplia gama de plantillas predeterminadas como se ve en la figura 40, estos tienen la opción de ser modificados, por ejemplo se puede cambiar los colores, añadir logotipo, asignar nuevos valores a las variables según desee el usuario.

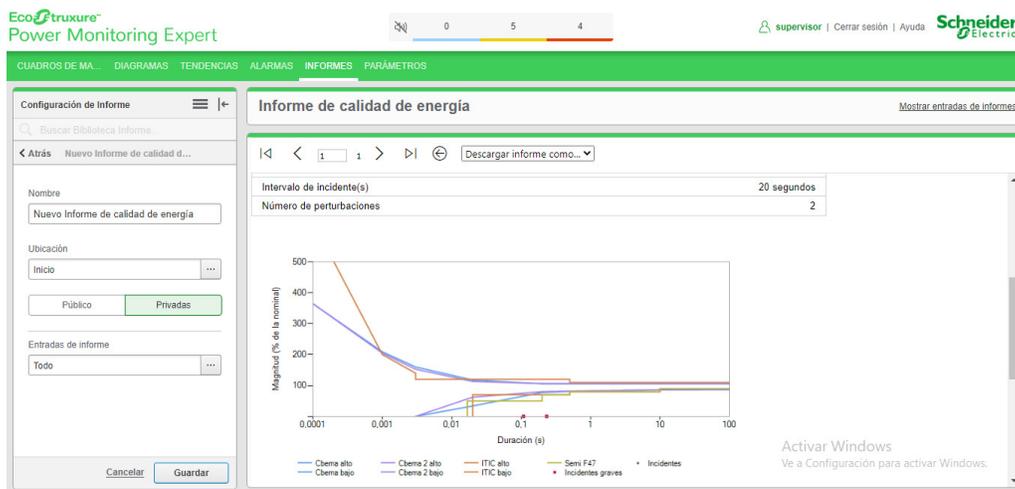


Figura 40: Configuración de informes.

- Ajustes

Como se observa en la figura 41, la sección de ajustes es muy amplia y su objetivo principal es adaptar el comportamiento y la apariencia del software.

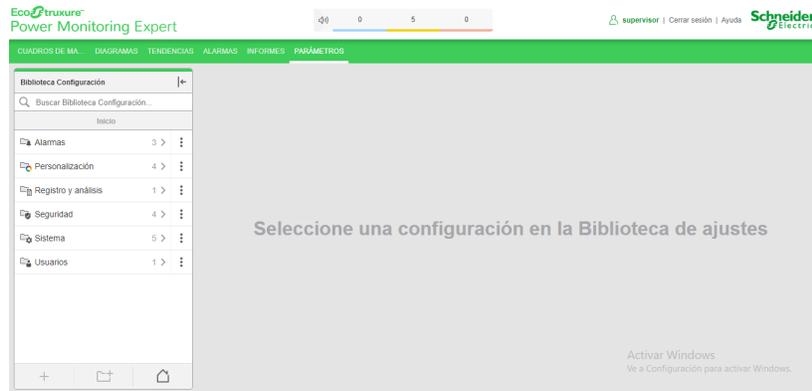


Figura 41: Sección de ajustes.

- Vistas de la alarma

La aplicación de esta herramienta es comúnmente utilizada para la visualización de las alarmas activas, las cuales pueden ser programadas para que sean notificadas al usuario, también otorgan información valiosa sobre el origen por el cual se activaron las alarmas, como se observa en la figura 42.

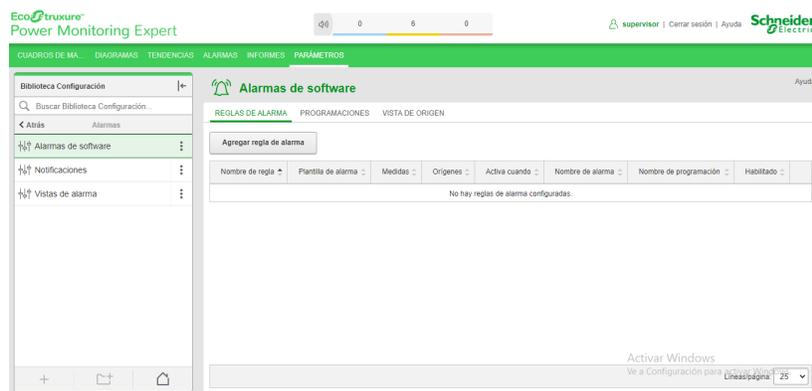


Figura 42: Vista de alarmas.

- Personalización

Esta es una aplicación de mucho interés como se observa en la figura 43, el usuario ya puede personalizar y amoldarlas la estética de la interfaz web según las preferencias del usuario final.

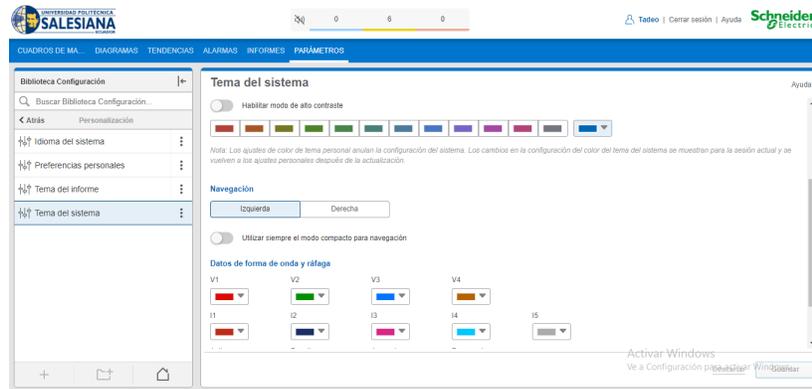


Figura 43: Sección de personalización.

- Diagnósticos y uso

Su principal función es recolectar información en caso de alguna falla con el dispositivo, esa información se la puede enviar al fabricante para que pueda dar asesoramiento y encontrar una solución en caso de algún mal funcionamiento con el dispositivo, figura 44.

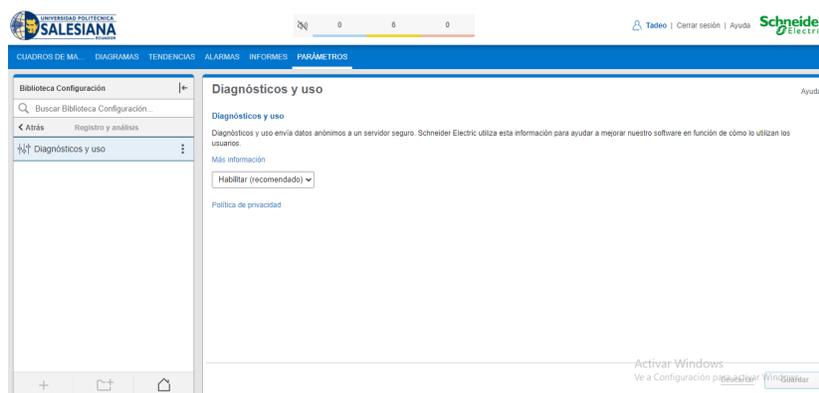


Figura 44: Sección de diagnósticos y uso.

- Seguridad

La figura 45, permite habilitar o deshabilitar el control para que el usuario pueda realizar acciones como el restablecimiento de datos y cambio de la configuración del dispositivo.

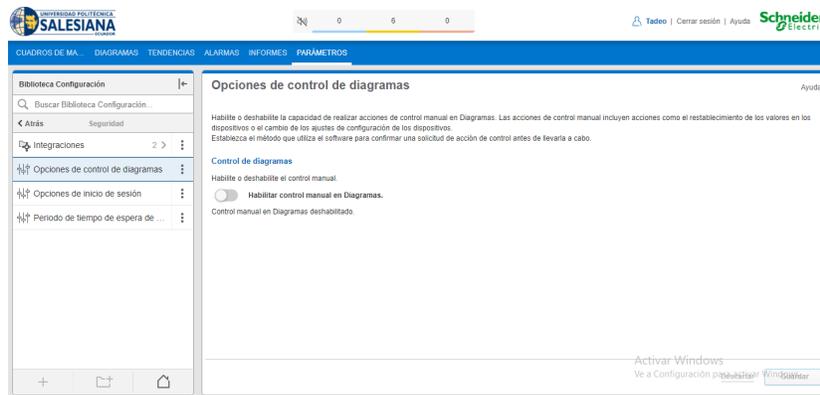


Figura 45: Sección de seguridad.

- Sistema

Este parámetro es el encargado de añadir dispositivos, los cuales se pueden poner en un orden según la jerarquía, como se observa en la figura 46 al tener conectados a los dispositivos no permite tener tarifas de facturación.

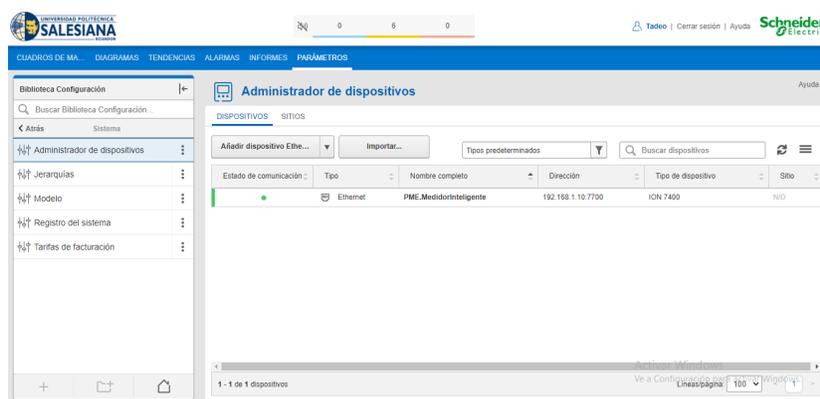


Figura 46: Sección de sistema.

- Usuarios

Su función es administrar el acceso que tienen los usuarios, elegir supervisores, crear grupos de usuarios, administrar licencias y modificar datos de usuario como nombres y correos, como se observa en la figura 47.

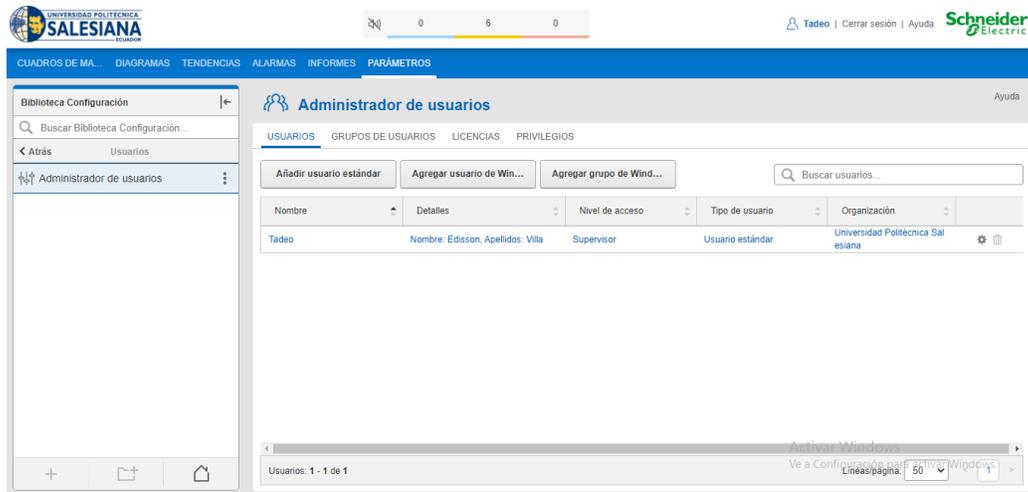


Figura 47: Sección de Usuarios.

5. CAPÍTULO 5: Análisis y Resultados

5.1. Introducción.

Se realizaron pruebas de comunicación para validar la exactitud de las lecturas generadas por el software Power Monitoring Expert en comparación con los valores mostrados en las pantallas de las unidades de medida. Este procedimiento permitió evaluar la confiabilidad del sistema para medir el voltaje y otros parámetros eléctricos.

Las unidades de medida ION 7400 están equipadas con una función de medición inteligente que permite introducir los valores de voltaje y corriente de la red eléctrica. Estos datos se guardan en los registros del dispositivo y se pueden monitorear desde un servidor o cualquier computadora conectada a la red a través del servidor web utilizando el software Power Monitoring Expert. De este modo, es posible supervisar de manera efectiva el voltaje y otros parámetros eléctricos.

5.2. Resultado Nivel de Voltaje

De acuerdo a los estándares, el voltaje no debe variar más allá del $\pm 8\%$ del valor nominal, esto significa que deben estar entre 110.4 y 129.6 voltios para valores fase - neutro. Como se puede ver en las tablas 7,8,9, para cumplir con el índice de calidad del nivel de voltaje establecido en la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR -002/20 [28], el suministro eléctrico es necesario que al menos el 95% de las fluctuaciones de voltaje se encuentren dentro de este rango aceptable.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE A					
Límite = $8\% V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.73 V$		
-8%	110.4 V > Nv < 129.6 V	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)	
Muestras			120.347	130.647	
0%	99.68%	0.32%	Fecha:	Fecha:	
No Cumple	Cumple	No Cumple	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50	

Tabla 7: Nivel de voltaje de la fase A.

Este dato es importante para determinar con precisión el grado de cumplimiento de los límites de voltaje establecidos y tomar las medidas necesarias para mantener la calidad del suministro eléctrico.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE B				
Límite = 8% $V_{nominal}$			$V_{promedio} = 126.455 V$	
-8%	110.4 V >Nv <129.6 V	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			121.027	130.015
0%	99.47%	0.53%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 8: Nivel de voltaje de la fase B.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE C				
Límite = 8% $V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.344$	
-8%	110.4 V >Nv <129.6 V	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			120.486	130.202
0%	99.89%	0.11%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 9: Nivel de voltaje de las fase C.

Se ha verificado que los niveles de voltaje en las fases A, B y C cumplen con los límites establecidos por la Regulación ARCERNNR 002-20 [28]. Sin embargo, se ha observado que un pequeño porcentaje de muestras se sitúan fuera de estos límites. En concreto, se ha registrado un incumplimiento del 0,32% en la fase A, del 0,53% en la fase B y del 0,11% en la fase C. Cabe destacar que se han registrado un total de 1857 muestras en cada una de las fases A, B y C.

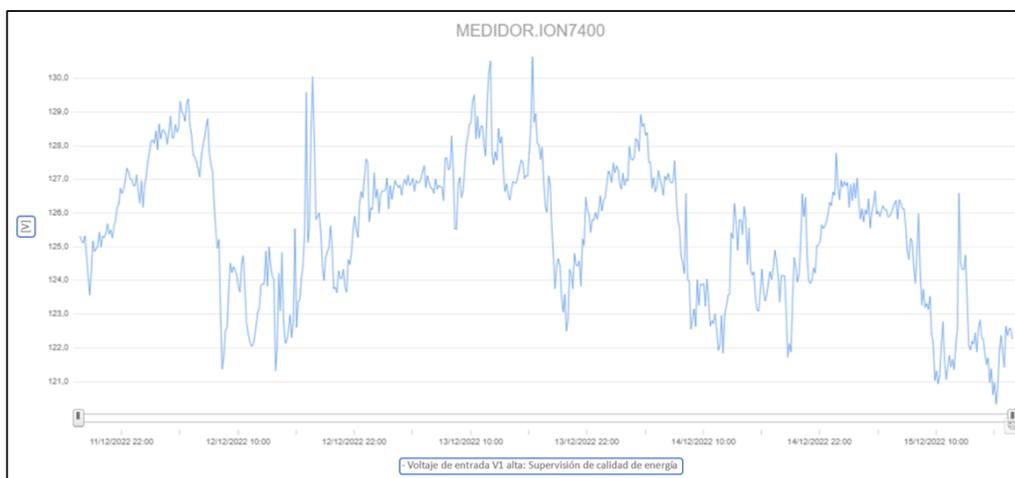


Figura 48: Nivel de voltaje - fase A

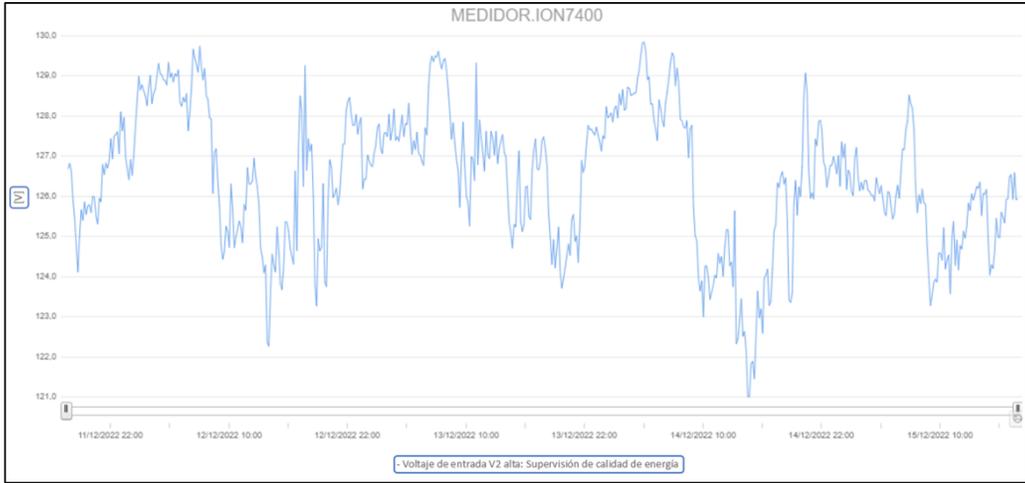


Figura 49: Nivel de voltaje - fase B

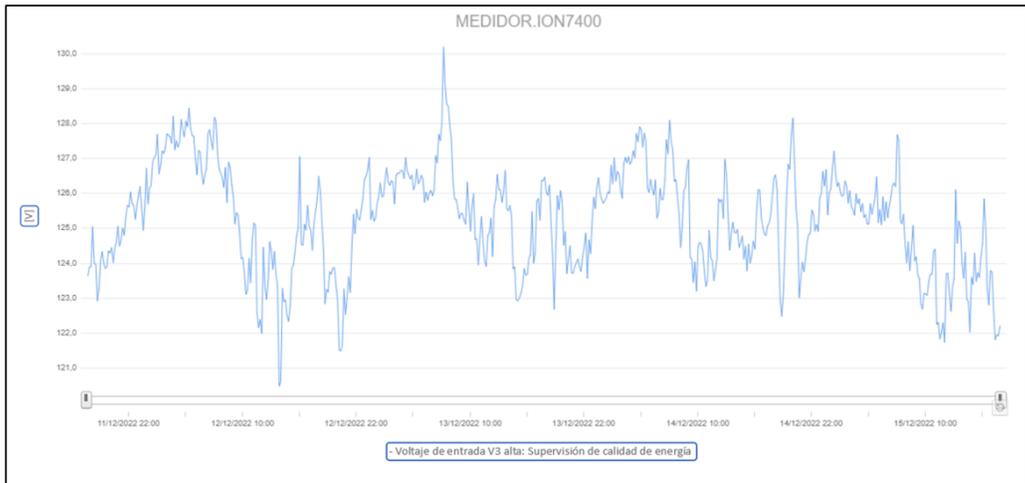


Figura 50: Nivel de voltaje - fase C

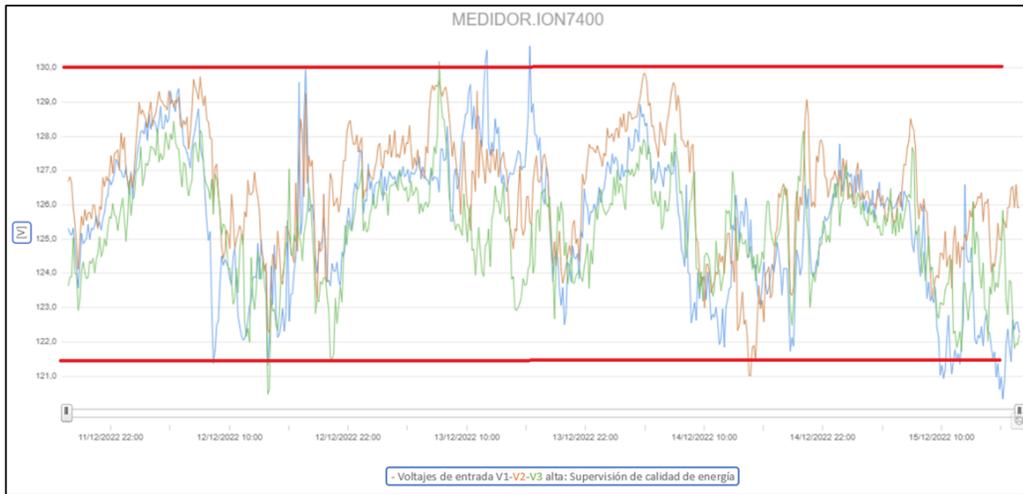


Figura 51: Nivel de voltaje - 3 fases.

En la Figura 51 se observa el comportamiento del Nivel de voltaje del periodo de prueba 3/12/2022 hasta 15/12/2022.

Luego de realizar las pruebas y análisis correspondientes, se ha determinado que el nivel de voltaje cumple con los estándares establecidos. Esto se debe a que se ha comprobado que el porcentaje de variaciones de voltaje se encuentra dentro de los límites permitidos, en concreto, el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje están dentro de los límites establecidos. De esta manera, se puede concluir que el sistema eléctrico se encuentra en buenas condiciones y que se están cumpliendo con los requisitos de calidad del suministro eléctrico.

5.3. Resultados de Nivel de Voltaje aplicando el método Banco de Condensadores.

Se llevaron a cabo pruebas de nivel de voltaje utilizando un método que implicaba el uso de un banco de condensadores. Durante estas pruebas, se consideró que las fluctuaciones de voltaje no debían superar el $\pm 8\%$ del valor nominal. En este contexto, esto implicaba que el voltaje debía mantenerse dentro del rango de 110.4 a 129.6 voltios para los valores fase-neutro. Estas pruebas se realizaron durante un total de 48 horas, divididas en dos períodos de 24 horas cada uno. Durante las primeras 24 horas no se aplicó el banco de condensadores, mientras que durante las 24 horas siguientes se aplicó dicho método con el objetivo de observar cualquier cambio en la calidad de la energía suministrada.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE A				
Límite = $8\% V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.375 V$	
-8%	$110.4 V > N_v < 129.6 V$	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			120.347	130.647
0%	99.31%	0.69%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 10: Nivel de voltaje - fases A sin banco de condensadores.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE A				
Límite = $8\% V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.73 V$	
-8%	$110.4 V > N_v < 129.6 V$	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			120.347	130.647
0%	100%	0%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 11: Nivel de voltaje - fases A con banco de condensadores.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE B				
Límite = $8\% V_{nominal}$			$V_{promedio} = 126.455 V$	
-8%	$110.4 V > N_v < 129.6 V$	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			121.027	130.015
0%	97.22%	2.78%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 12: Nivel de voltaje - fases B sin banco de condensadores.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE B				
Límite = 8% $V_{nominal}$			$V_{promedio} = 126.455 V$	
-8%	110.4 V >Nv <129.6 V	8%	Mínimo (V)	Máximo (V)
Muestras			121.027	130.015
0%	100%	0%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 13: Nivel de voltaje - fases B con banco de condensadores.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE C				
Límite = 8% $V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.344$	
-8%	110.4 V >Nv <129.6 V	8%	Mínimo (V)	Maximo (V)
Muestras			120.486	130.202
0%	100%	0%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 14: Nivel de voltaje - fases C sin banco de condensadores.

NIVELES DE VOLTAJE - FASE C				
Límite = 8% $V_{nominal}$			$V_{promedio} = 125.344$	
-8%	110.4 V >Nv <129.6 V	8%	Mínimo (V)	Maximo (V)
Muestras			120.486	130.202
0%	100%	0%	Fecha:	Fecha:
No Cumple	Cumple	No Cumple	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 15: Nivel de voltaje - fases C con banco de condensadores.

- Resultados del Nivel de Voltaje aplicando el método de Banco de Condensadores:

Se puede observar en las tablas 11,13,15 que para cumplir con el índice de calidad del nivel de voltaje establecido, es necesario que al menos el 95 % de las variaciones estén en el rango admisible. La implementación del banco de condensadores resultó en una mejora general en el nivel de voltaje, ya que permitió reducir la caída de voltaje, mantener un nivel de voltaje estable y constante, disminuir la pérdida de energía y mejorar el factor de potencia en el sistema eléctrico.

Al comparar los niveles de voltaje en las tres fases con y sin el uso de bancos de condensadores, se puede observar que ambos casos cumplen con los límites

establecidos por la Regulación ARCERNNR 002-20[28]. En el caso en que se aplica el banco de condensadores, no se registra ninguna muestra que incumpla con la regulación para las tres fases, lo que sugiere que el uso de bancos de condensadores puede ser beneficioso para mantener los niveles de voltaje dentro de los límites aceptables y mejorar el factor de potencia. Cabe destacar que estos porcentajes se calculan en base a un total de 144 muestras por cada una de las fases.

5.4. Resultados Perturbación rápida de voltaje (Flicker P_{st})

Las Tablas 16,17,18 muestran que los niveles de P_{st} superan el límite establecido por la regulación ARCERNNR 002-20 [28], de acuerdo con la normativa, se establece que el valor de flicker o parpadeo luminoso no debe exceder una unidad. Además, se puede observar que existe presencia de flicker en todas las fases y que su comportamiento no es uniforme en todas ellas.

FLICKER - FASE A			
Límite $P_{st} = 1 p.u.$		$P_{st} = 0.415 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$P_{st} < 1 p.u.$	$P_{st} > 1 p.u.$	0.274 p.u.	2.682 p.u.
1867	5	Fecha:	Fecha:
99.732905 %	0.267094 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 16: Flicker P_{st} - fase A.

FLICKER - FASE B			
Límite $P_{st} = 1 p.u.$		$P_{st} = 0.398 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$P_{st} < 1 p.u.$	$P_{st} > 1 p.u.$	0.241 p.u.	2.362 p.u.
1857	14	Fecha:	Fecha:
99.198719 %	0.747863 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 17: Flicker P_{st} - fase B.

FLICKER - FASE C			
Límite $P_{st} = 1 p.u.$		$P_{st} = 0.382 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$P_{st} < 1 p.u.$	$P_{st} > 1 p.u.$	0.211 p.u.	3.131 p.u.
1864	8	Fecha:	Fecha:
99.572649 %	0.427350 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 18: Flicker P_{st} - fase C.

Se puede apreciar en las Tablas 16,17,18 el cumplimiento del índice de nivel de severidad de corta duración P_{ST} en las tres fases es considerado adecua-

do, dado que el porcentaje de muestras que se encuentran dentro del límite establecido es inferior al 95

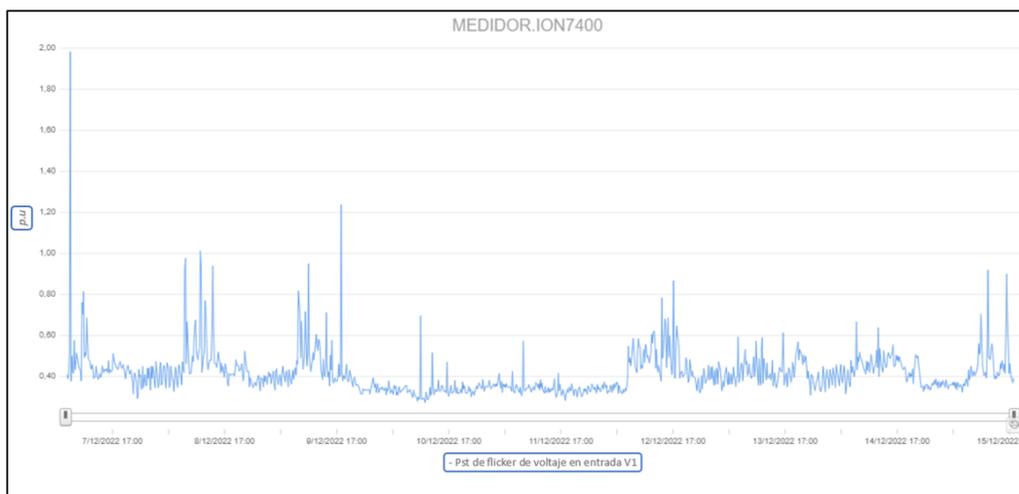


Figura 52: Flicker PST - fase A

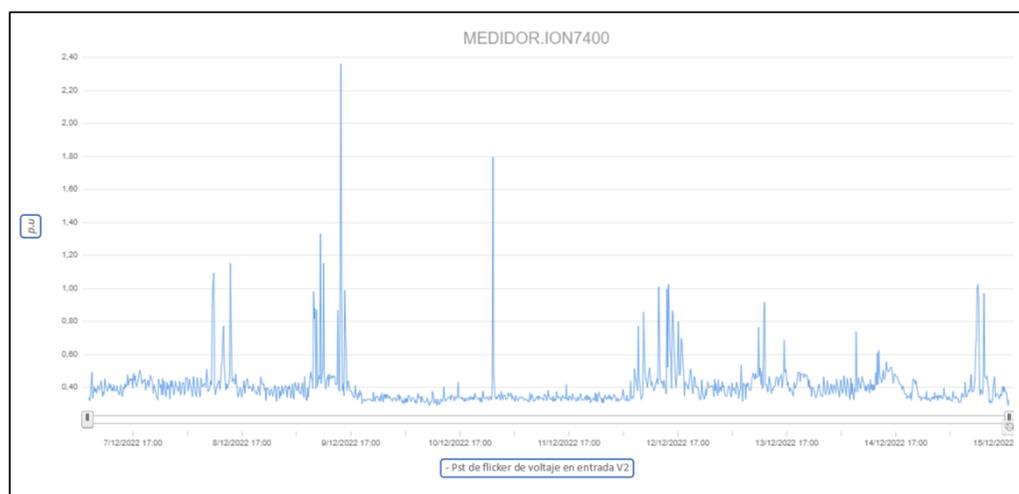


Figura 53: Flicker PST - fase B

Se puede observar en la tabla correspondiente que las tres fases presentan valores elevados de parpadeo luminoso, o flicker, y que este valor presenta una variabilidad alta a lo largo de los días. En general, el valor de flicker se

mantiene por debajo del límite unitario establecido por la regulación, aunque oscila a lo largo del tiempo.

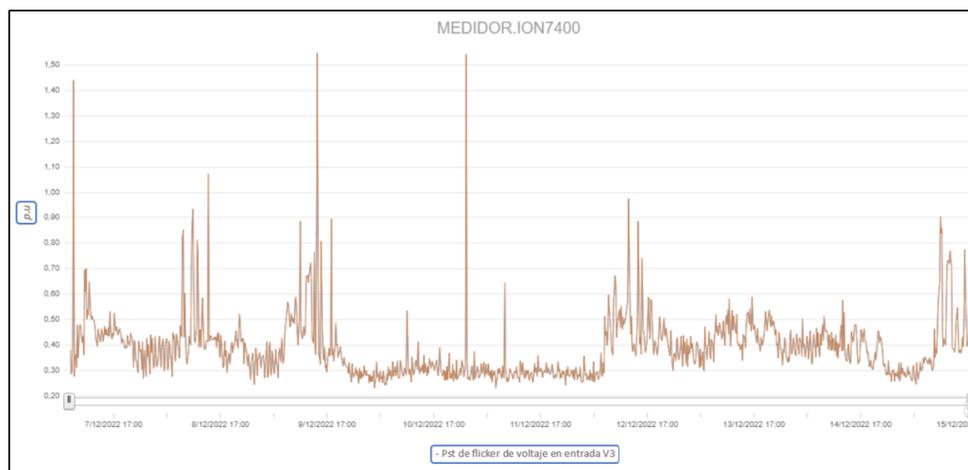


Figura 54: Flicker PST - fase C

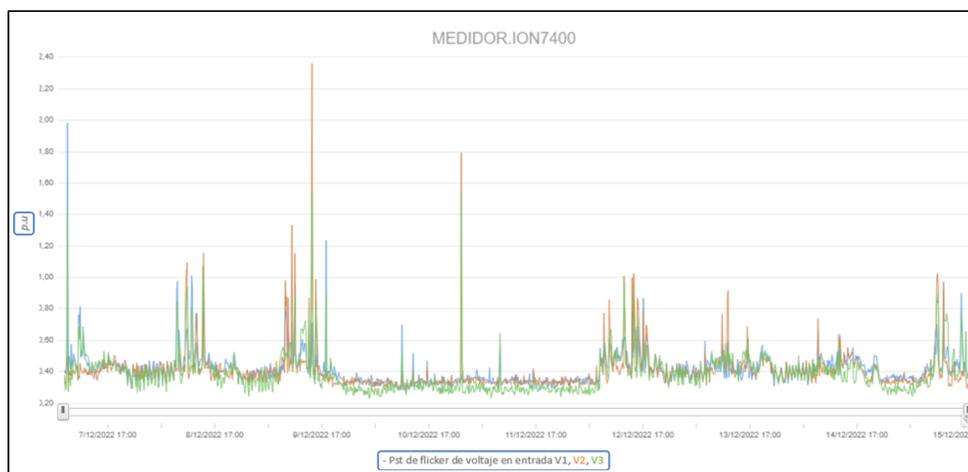


Figura 55: Flicker PST - fase A,B,C

La Figura 55 muestra un resumen de los valores obtenidos de P_{ST} y el porcentaje de cumplimiento para cada fase. Se puede observar que el flicker está presente en las tres fases, con porcentajes de cumplimiento del 99.74 % en la fase A, 99.26 % en la fase B y 99.58 % en la fase C.

5.5. Resultados Perturbación rápida de voltaje (Flicker Pst) aplicando el método Banco de Condensadores.

La implementación de un banco de condensadores puede tener una influencia limitada en la reducción de la perturbación rápida de voltaje o flicker Pst . Los bancos de condensadores se diseñan principalmente para corregir la energía reactiva y reducir las fluctuaciones de voltaje de baja frecuencia, como el flicker Pst . En las Tablas 19, 20, 21, 22, 23 y 24, se pueden observar los niveles de Pst , los cuales están sujetos al límite de la regulación establecido por el ARCERNNR 002-20 [28], de acuerdo con la normativa, se establece que el valor de flicker (parpadeo luminoso) no debe superar la unidad. Estas pruebas se realizaron durante un período de 48 horas, donde se utilizaron 24 horas sin la utilización del banco de condensadores y las 24 horas restantes se empleó dicho método para evaluar cualquier cambio en la calidad de la energía.

FLICKER - FASE A			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.307 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.122 $p.u.$	0.587 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 19: Flicker Pst - fase A sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE A			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.327 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.146 $p.u.$	0.592 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 20: Flicker Pst - fase A con banco de condensadores.

FLICKER - FASE B			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.374 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.207 $p.u.$	0.1036 $p.u.$
143	1	Fecha:	Fecha:
99.3055 %	0.69444 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 21: Flicker Pst - fase B sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE B			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.401 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.215 $p.u.$	0.886 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 22: Flicker Pst - fase B con banco de condensadores.

FLICKER - FASE C			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.371 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.204 $p.u.$	1.046 $p.u.$
143	1	Fecha:	Fecha:
99.3055 %	0.69444 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 23: Flicker Pst - fase C sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE C			
Límite $Pst = 1 p.u.$		$Pst = 0.376 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Pst < 1 p.u.$	$Pst > 1 p.u.$	0.228 $p.u.$	0.697 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2022 13:25

Tabla 24: Flicker Pst - fase C con banco de condensadores.

- Resultados Perturbación rápida de voltaje (Flicker Pst) aplicando el método de Banco de Condensadores:

Como se puede apreciar en las Tablas [19,20,21,22,23,24](#), en ambos casos con y sin la aplicación de un banco de condensadores, las tres fases cumplen con el índice de nivel de severidad de corta duración P_{ST} , ya que el porcentaje de muestras que se encuentran dentro del límite establecido es inferior al 95%. No obstante, en algunas situaciones, el uso de un banco de condensadores puede tener un impacto limitado en la reducción del flicker o perturbación rápida de voltaje Pst . Los bancos de condensadores están diseñados principalmente para corregir la energía reactiva y reducir las fluctuaciones de voltaje de baja frecuencia, como el flicker Plt . A pesar de ello, en ciertos casos, la aplicación de un banco de condensadores puede mejorar la estabilidad de la red eléctrica y mantener un voltaje consistente, lo que puede reducir la fluctuación de voltaje de alta frecuencia o flicker Pst .

En términos generales, el impacto de la aplicación de un banco de condensadores en la reducción de la perturbación rápida de voltaje o flicker Pst puede ser limitado, ya que estos bancos se enfocan principalmente en corregir la energía reactiva y reducir las fluctuaciones de voltaje de baja frecuencia, como el flicker Plt . No obstante, en ciertas situaciones, la aplicación de un banco de condensadores puede mejorar la estabilidad de la red eléctrica y reducir la perturbación rápida de voltaje o flicker Pst de forma indirecta.

5.6. Resultados Perturbación de larga duración de voltaje (Flicker Plt)

En las Tablas 25, 26, y 27, se muestra que los niveles de Plt exceden el límite establecido en la regulación ARCERNNR 002-20 [28], de acuerdo con la normativa se establece que el valor de flicker (parpadeo luminoso) no debe exceder la unidad. Además, se puede observar la presencia de flicker en cada una de las fases, aunque su comportamiento no es uniforme en todas ellas.

FLICKER - FASE A			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.339 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.319 $p.u.$	1.206 $p.u.$
1824	48	Fecha:	Fecha:
97.435897 %	2.564102 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 25: Flicker Plt - fase A.

FLICKER - FASE B			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.418 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.290 $p.u.$	1.127 $p.u.$
1764	108	Fecha:	Fecha:
94.230769 %	4.487179 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 26: Flicker Plt - fase B.

FLICKER - FASE C			
Limite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.403 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.270 $p.u.$	1.428 $p.u.$
1788	84	Fecha:	Fecha:
95.512820 %	4.487179 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 27: Flicker Plt - fase C.

Se puede observar que todas las fases presentan valores significativamente altos de flicker, y que su comportamiento varía notablemente a lo largo de

los días. En general, los valores se mantienen por debajo del límite unitario establecido, pero oscilan constantemente.



Figura 56: Flicker PLT - fase A

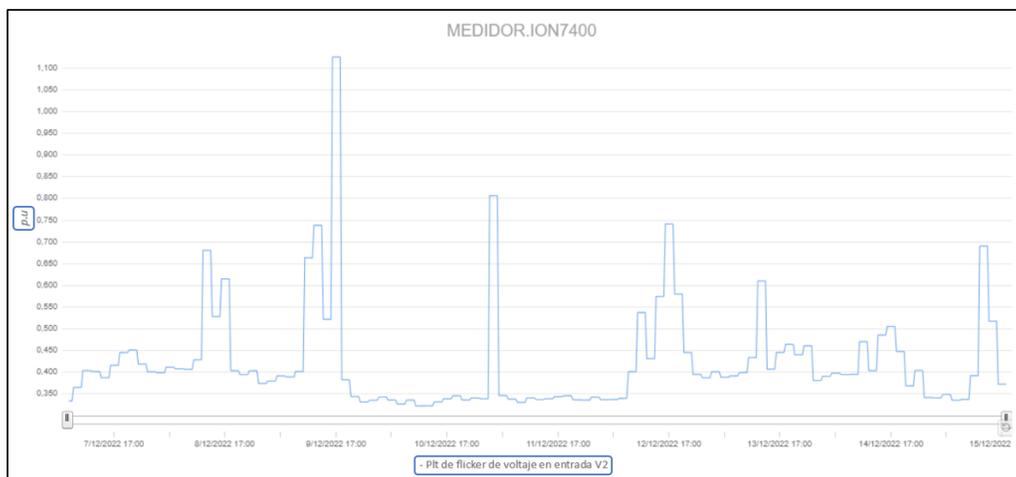


Figura 57: Flicker PLT - fase B

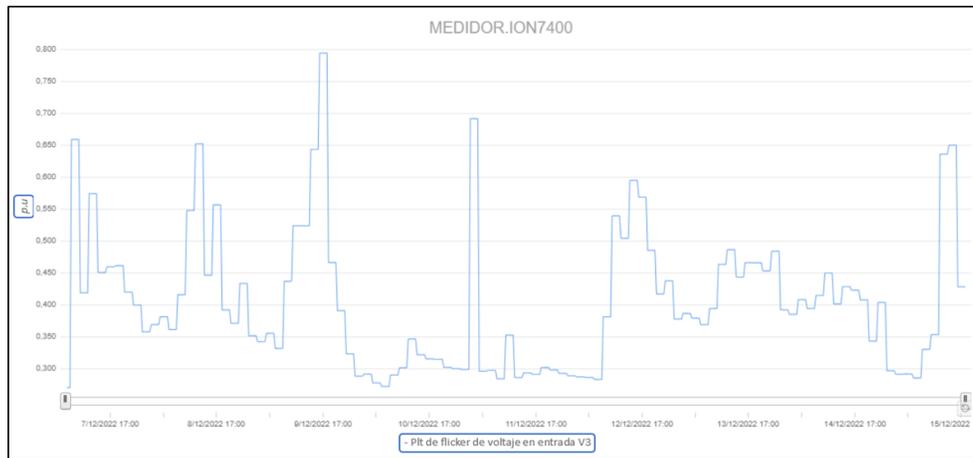


Figura 58: Flicker PLT - fase C

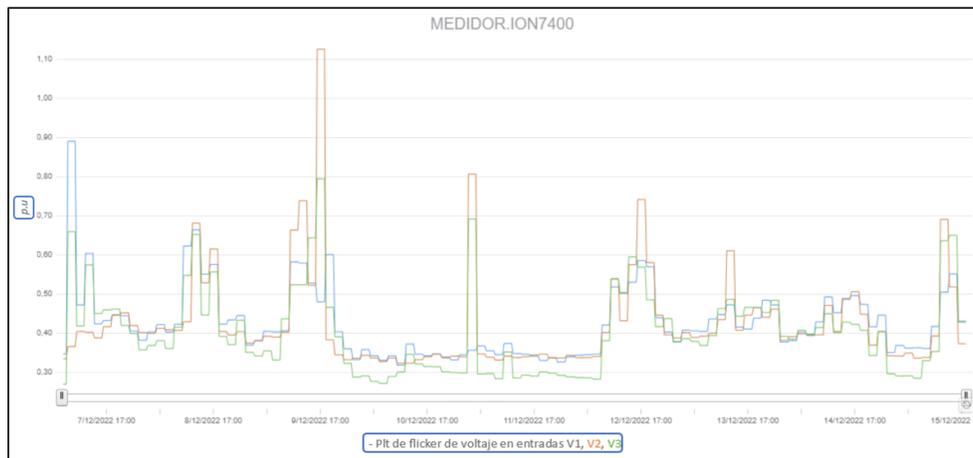


Figura 59: Flicker PLT - 3 fases.

En las tres fases del sistema eléctrico se registran niveles de flicker muy elevados, superando el límite establecido por la regulación ARCERNNR 002-20 [28], que establece un valor máximo de flicker. También se observa que el comportamiento del flicker es altamente variable en todos los días analizados, los valores se mantienen por debajo del límite unitario.

5.7. Resultado Perturbación de larga duración de voltaje (Flicker Plt) aplicando el método Banco de Condensadores.

Los bancos de condensadores pueden compensar la energía reactiva en la red eléctrica y reducir la caída de voltaje que causa el flicker Plt . Además, los bancos de condensadores pueden mejorar el factor de potencia en un sistema de potencia, lo que puede reducir la carga en la red eléctrica y mejorar la eficiencia energética del sistema, estas pruebas fueron realizadas durante 48 h, las cuales 24 sin banco de condensadores y 24 horas restantes aplicando el método de banco de condensadores para observar cambios en la calidad de energía.

FLICKER - FASE A			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.312p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.173 $p.u.$	0.447 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 28: Flicker Plt - fase A sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE A			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.339p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.260 $p.u.$	0.425 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 29: Flicker Plt - fase A con banco de condensadores.

FLICKER - FASE B			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.383 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.259 $p.u.$	0.683 $p.u.$
132	12	Fecha:	Fecha:
91.6666 %	8.3333 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 30: Flicker Plt - fase B sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE B			
Límite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.421 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.283 $p.u.$	0.648 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 31: Flicker Plt - fase B con banco de condensadores.

FLICKER - FASE C			
Limite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.378 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.253 $p.u.$	0.650 $p.u.$
132	12	Fecha:	Fecha:
91.6666 %	8.3333 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 32: Flicker Plt - fase C sin banco de condensadores.

FLICKER - FASE C			
Limite $Plt = 0.65 p.u.$		$Plt = 0.391 p.u.$	
Muestras		Mínimo	Máximo
$Plt < 0.65 p.u.$	$Plt > 0.65 p.u.$	0.307 $p.u.$	0.544 $p.u.$
144	0	Fecha:	Fecha:
100 %	0 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 33: Flicker Plt - fase C con banco de condensadores.

- Resultados Perturbación de larga duración de voltaje (Flicker Plt) aplicando el método de Banco de Condensadores:

En todas las tablas presentadas (28,29,30,31,32,33) se puede observar que los valores de flicker en todas las fases son muy elevados y presentan una variabilidad significativa a lo largo de los días. A pesar de esto, los valores por lo general se mantienen por debajo del límite unitario. En términos generales, la instalación de un banco de condensadores puede contribuir a mejorar la perturbación de larga duración de voltaje o flicker Plt , ya que reduce la energía reactiva y las caídas de voltaje en el sistema eléctrico.

5.8. Resultados Distorsión armónica total de voltaje THD_v

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la distorsión armónica total del voltaje (THD_v) en cada una de las fases. Los resultados obtenidos muestran que en general, los valores de THD_v en las tres fases se mantienen dentro de los límites establecidos por las normas y regulaciones aplicables. Sin embargo, se observaron algunos picos aislados en los valores de THD_v en ciertas fases, lo que sugiere la presencia de armónicos de alta frecuencia. Es importante destacar que los armónicos de alta frecuencia pueden causar problemas en la red eléctrica, como el sobrecalentamiento de los equipos y la interferencia en las comunicaciones, y deben ser monitoreados y controlados adecuadamente.

ARMONICAS - FASE A			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 6.047\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		3.366 %	11.201 %
1762	108	Fecha:	Fecha:
94.123931 %	5.876068 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 34: Armónicos - fase A.

ARMONICAS - FASE B			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 6.232\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		3.552 %	11.113 %
1755	117	Fecha:	Fecha:
93.75 %	6.25 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 35: Armónicos - fase B.

ARMONICAS - FASE C			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 6.278\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		1.029 %	11.719 %
1243	629	Fecha:	Fecha:
91.079059 %	8.920940 %	03/12/2022 00:00	15/12/2022 23:50

Tabla 36: Armónicos - fase C.

La distorsión armónica total del voltaje muestra un comportamiento simultáneo en cada una de las fases, como se puede observar en las gráficas 60, 61 y 62, excepto durante el día sábado.

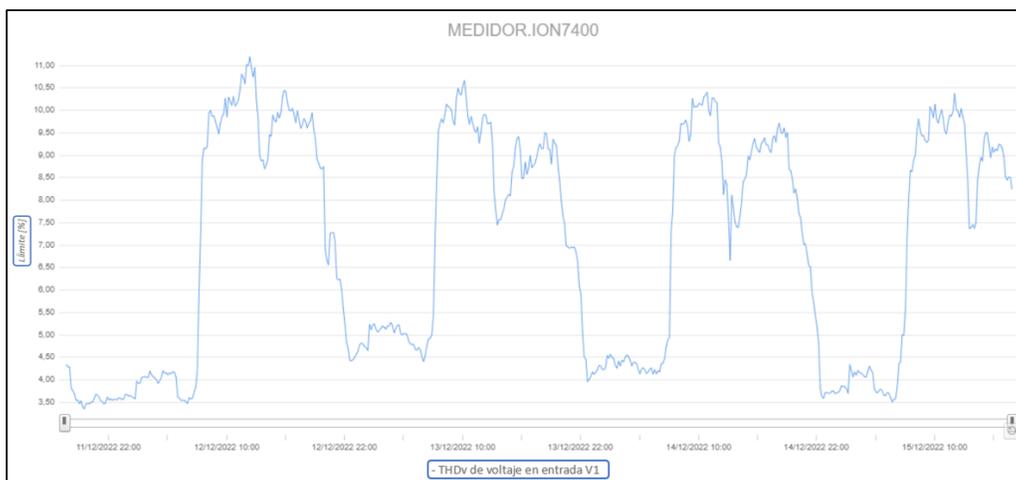


Figura 60: Armónicos - Fase A.

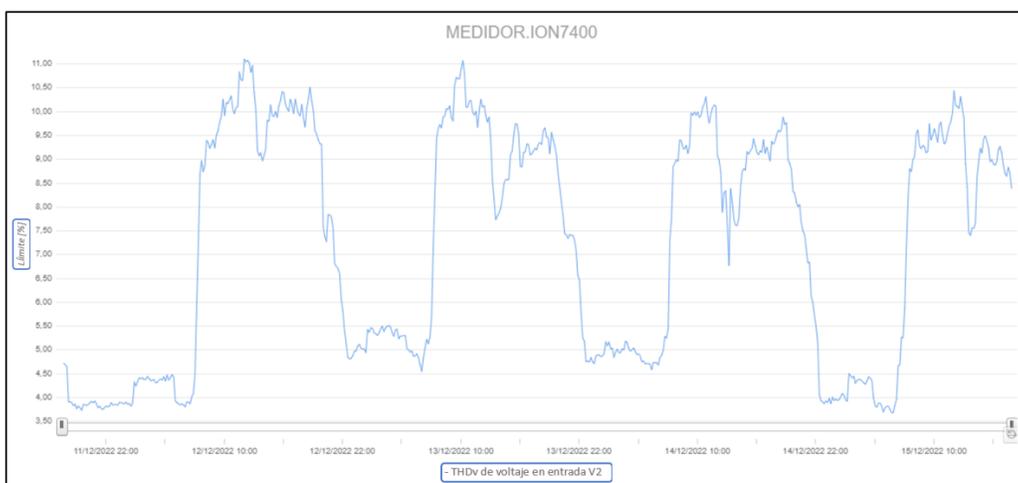


Figura 61: Armónicos - Fase B

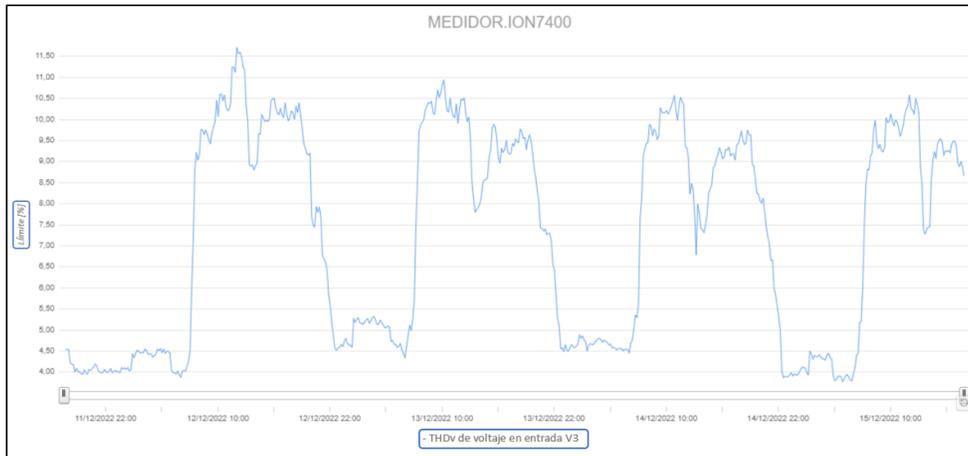


Figura 62: Armónicos - Fase C

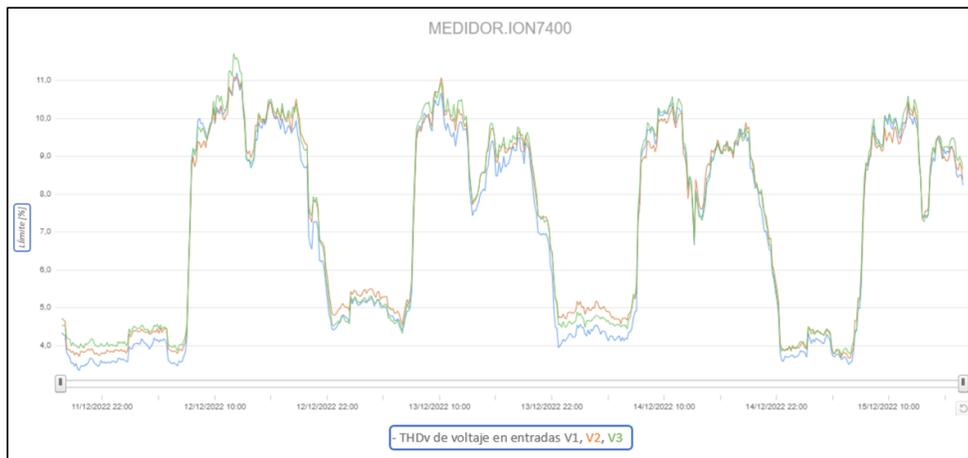


Figura 63: Armónicos - 3 fases.

Para examinar los armónicos individuales de voltaje se utilizaron los umbrales especificados por la regulación Nro. ARCERNR 002-20 [28]. El porcentaje de mediciones que excede el límite reglamentario para cada armónico individual no supera el 8%, lo que indica que los armónicos individuales de voltaje permanecen dentro del umbral establecido.

5.9. Resultados Distorsión armónica total de voltaje THD_v aplicando el método Banco de Condensadores.

Se realizó un análisis exhaustivo de la distorsión armónica total de voltaje (THD_v) en cada una de las fases durante un periodo de 48 horas. La prueba se dividió en dos etapas de 24 horas cada una: la primera sin la aplicación del banco de condensadores y la segunda con el método de banco de condensadores. El objetivo fue observar si la implementación del banco de condensadores tenía algún efecto en la calidad de energía en términos de THD_v en cada fase.

ARMONICAS - FASE A			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 7.392\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		3.886 %	10.880 %
101	43	Fecha:	Fecha:
70.1388 %	29.8611 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 37: Armónicos - fase A sin banco de condensadores.

ARMONICAS - FASE A			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 6.848\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		3.644 %	10.162 %
138	14	Fecha:	Fecha:
95.83333 %	4.16666 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 38: Armónicos - fase A con banco de condensadores.

ARMONICAS - FASE B			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 7.709\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		4.488 %	10.802 %
97	47	Fecha:	Fecha:
67.3611 %	32.6388 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 39: Armónicos - fase B sin banco de condensadores.

ARMONICAS - FASE B			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 7.299\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		4.291 %	10.260 %
130	14	Fecha:	Fecha:
90.277778 %	9.72222 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 40: Armónicos - fase B con banco de condensadores.

ARMONICAS - FASE C			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 7.806\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		4.258 %	11.342 %
68	76	Fecha:	Fecha:
65.9722 %	34.0277 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 41: Armónicos - fase C sin banco de condensadores.

ARMONICAS - FASE C			
Límite $THD_v = 8\%$		$THD_v = 7.200\%$	
$THD_v < 8\%$	$THD_v > 8\%$	Mínimo	Máximo
Muestras		4.073 %	10.475 %
74	70	Fecha:	Fecha:
86.8055 %	13.19444 %	15/03/2023 11:20	16/03/2023 13:25

Tabla 42: Armónicos - fase C con banco de condensadores.

- Resultados Distorsión armónica total de voltaje THD_v aplicando Banco de Condensadores:

Se observa las tablas 38,40,42, cuando se aplica un banco de condensadores a una red eléctrica, puede ocurrir una disminución en la distorsión armónica total de voltaje THD_v si hay una carga no lineal significativa en la red. La razón es que los condensadores pueden compensar las corrientes armónicas generadas por la carga no lineal, reduciendo así la distorsión armónica total del voltaje en la red.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la aplicación de un banco de condensadores también puede aumentar la distorsión armónica total del voltaje en la red si la potencia reactiva generada por los condensadores supera la demanda reactiva de la carga en la red. En este caso, la sobrecorrección del factor de potencia puede generar armónicos de corriente y voltaje, aumentando así la distorsión armónica total del voltaje.

El cálculo de la THD se basa en normas internacionales, como la norma IEC 61000-4-7, que establece las especificaciones y los procedimientos para la medición y el análisis de la calidad de la energía eléctrica en sistemas de distribución. El estándar IEEE Std 519-2019 [7], también proporciona orientación sobre los límites de distorsión armónica aceptables en los sistemas eléctricos.

En resumen, el módulo ION 7400 utiliza técnicas de análisis espectral y se basa en normas internacionales, como la IEC 61000-4-7 y el IEEE Std 519-2019, para determinar la distorsión armónica total en un sistema de distribución eléctrica.

5.10. Resultado Desequilibrio de voltaje.

La Tabla 43 presenta un resumen de las mediciones que superaron el límite de desequilibrio de voltaje establecido por la Resolución Nro. ARCERNNR [28]. En general, se observa que el promedio de las mediciones se encuentra por debajo del valor permitido, es decir, menor a 2%. Sin embargo, es importante destacar que el 83.33% de las mediciones registradas están fuera del límite establecido, lo que indica que no cumplen con los estándares de calidad requeridos.

DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE			
Límite de <i>Voltaje</i> =2%		Desequilibrio de <i>Voltaje</i> =1.3823%	
<i>D.V.</i> <2%	<i>D.V.</i> >2%	Mínimo	Máximo
Muestras		0.403%	3.686%
960	192	Fecha:	Fecha:
83.333333%	16.666666%	03/12/2022 00:15	15/12/2022 05:00

Tabla 43: Desequilibrio de voltaje.

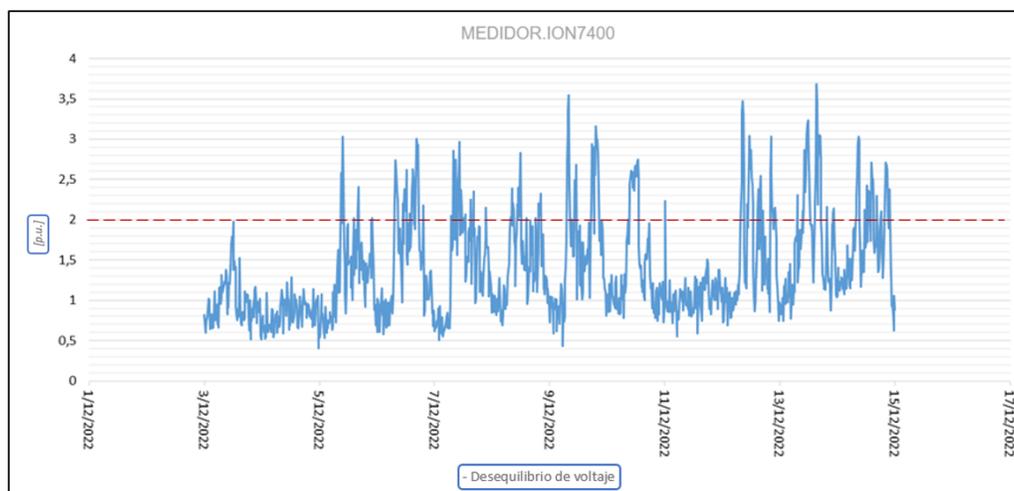


Figura 64: Desequilibrio de voltaje

5.11. Resultado Desequilibrio de voltaje aplicando Banco de Condensadores.

La Tabla 44 proporciona un resumen de las muestras que excedieron el límite establecido por la Resolución Nro. ARCERNNR [28] para el desequilibrio de voltaje. Se puede observar que el promedio resultante se encuentra en el valor permitido con un 86.805 %, el cual no es un valor perfecto, sin embargo se encuentra dentro del rango admisible. Sin embargo, el 13.194 % de las muestras registradas están por debajo del límite permitido, lo que demuestra que la calidad del voltaje no cumple con los estándares establecidos por la normativa mencionada.

DESEQUILIBRIO DE VOLTAJE			
Límite de <i>Voltaje</i> =2 %		Desequilibrio de <i>Voltaje</i> =0.102 %	
<i>D.V.</i> <2 %	<i>D.V.</i> >2 %	Mínimo	Máximo
Muestras		0.403 %	3.686 %
74	70	Fecha:	Fecha:
86.805 %	13.194 %	15/03/2023 11:20	16/06/2023 13:25

Tabla 44: Desequilibrio de voltaje.

- Resultados Desequilibrio de voltaje aplicando Banco de Condensadores:

Cuando el voltaje en las distintas fases de la red eléctrica no es igual, se produce un desequilibrio de voltaje que puede afectar el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos conectados a la red. La aplicación adecuada y en la cantidad correcta de un banco de condensadores puede contribuir a reducir los desequilibrios de voltaje en la red eléctrica. No obstante, si se aplica un banco de condensadores en exceso, se corre el riesgo de generar desequilibrios de voltaje aún mayores. Es importante tener en cuenta que el desequilibrio de voltaje puede ser causado por diversos factores, como la carga desigual entre las fases, la variabilidad en la generación de energía y la resistencia de los conductores eléctricos.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

La calidad de la energía eléctrica es un aspecto crucial tanto para la industria como para el sector eléctrico. Las alteraciones eléctricas pueden perjudicar la calidad de la energía y causar problemas en los equipos eléctricos y la red eléctrica en general. Para medir y mejorar la calidad de la energía eléctrica, existen diversas herramientas disponibles, entre las cuales se encuentra el módulo ION 7400 y la utilización de bancos de condensadores.

El módulo ION 7400 es un dispositivo utilizado para medir y registrar diversos parámetros eléctricos, lo que permite monitorear la calidad de la energía eléctrica en tiempo real y evaluar su eficiencia. Gracias a la información proporcionada por este medidor, es posible detectar y mitigar perturbaciones eléctricas, lo que contribuye a mejorar la calidad de la energía eléctrica en la industria y el sector eléctrico.

La aplicación de bancos de condensadores es una herramienta utilizada para mejorar la calidad de la energía eléctrica es la aplicación de bancos de condensadores. Estos bancos son capaces de compensar la energía reactiva presente en la red eléctrica, disminuyendo las pérdidas de energía y mejorando la eficiencia energética en general. Asimismo, los bancos de condensadores son capaces de reducir las variaciones de voltaje y corriente en la red eléctrica, mejorando su estabilidad y reduciendo los costos de mantenimiento asociados.

La combinación del medidor de calidad de energía ION 7400 y la implementación de bancos de condensadores es una solución eficaz para mejorar la calidad de la energía eléctrica. Al monitorear y medir constantemente la calidad de la energía eléctrica con el módulo ION 7400, se pueden detectar rápidamente perturbaciones eléctricas y tomar medidas preventivas. La instalación de bancos de condensadores puede reducir los problemas de energía reactiva y mejorar la eficiencia energética, lo que se traduce en un menor consumo de energía y reducción de los costos operativos.

No obstante, es fundamental considerar que la instalación de bancos de condensadores debe realizarse con precaución y con la asesoría de un experto en electricidad. El uso excesivo de bancos de condensadores puede incrementar

el voltaje de la red eléctrica, lo que puede ocasionar problemas en los equipos eléctricos. Asimismo, la implementación de bancos de condensadores puede resultar costosa y requerir una inversión significativa.

La calidad de la energía eléctrica es un aspecto crítico para la industria y el sector eléctrico. El uso del módulo ION 7400 para medir y monitorear constantemente la calidad de la energía eléctrica, combinado con la aplicación adecuada de bancos de condensadores, puede resultar en una solución efectiva para mejorar la calidad de la energía eléctrica. No obstante, es importante tener en cuenta que la aplicación de bancos de condensadores debe ser realizada por un especialista en electricidad con cuidado y precaución. Además, esta implementación puede requerir una inversión considerable.

El uso del módulo ION 7400 y el banco de condensadores puede mejorar significativamente la calidad de la energía eléctrica. Para garantizar una instalación y funcionamiento adecuados, es importante seguir las recomendaciones mencionadas anteriormente. Además, se sugiere contar con la asistencia de un especialista en electricidad para asegurar una utilización correcta de los equipos eléctricos.

6.2. Recomendaciones

La combinación del módulo ION 7400 y el banco de condensadores para mejorar la calidad de energía eléctrica es altamente efectiva, sin embargo, es crucial considerar algunas recomendaciones para su uso adecuado. A continuación se presentan algunas recomendaciones sobre el uso del módulo ION 7400 y el banco de condensadores para mejorar la calidad de energía eléctrica:

1. Antes de instalar el módulo ION 7400 y el banco de condensadores, es esencial realizar un análisis exhaustivo de la instalación eléctrica para determinar la cantidad de energía reactiva presente en la red eléctrica y evaluar la capacidad de los equipos eléctricos para soportar la instalación del banco de condensadores. Este análisis previo ayudará a garantizar una correcta implementación del sistema y reducirá el riesgo de problemas eléctricos en el futuro..
2. Seleccionar el tamaño adecuado del banco de condensadores es de vital importancia para evitar problemas de sobrecompensación o subcompensación.

Para ello, se deben considerar las características de la instalación eléctrica y la demanda de energía reactiva. Es esencial realizar una evaluación adecuada de la instalación eléctrica y tener en cuenta las necesidades de la carga eléctrica para seleccionar el tamaño adecuado del banco de condensadores.

3. Es crucial realizar mantenimiento preventivo regular en el banco de condensadores para garantizar su eficiencia y evitar problemas en su funcionamiento. Este mantenimiento debe incluir la limpieza de los capacitores, la revisión del estado de los contactos y la comprobación de las conexiones eléctricas.

4. Es fundamental llevar a cabo un análisis constante de la calidad de energía eléctrica mediante el uso del módulo ION 7400. Este monitoreo regular permite detectar posibles problemas o perturbaciones en el suministro eléctrico. De esta forma, se pueden tomar medidas preventivas oportunas para mejorar la calidad de la energía eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos.

5. Realizar pruebas de funcionamiento y verificar las mediciones: Es recomendable realizar pruebas de funcionamiento con el módulo ION 7400 antes de utilizarlo en la tesis. Esto permitirá asegurarse de que el equipo funcione correctamente y que las mediciones sean precisas y consistentes. Además, es esencial verificar las mediciones en diferentes condiciones y ajustar la configuración del equipo según las especificaciones de la investigación. Asimismo, se recomienda realizar pruebas de calibración periódica para verificar que el equipo esté midiendo con precisión y obtener resultados confiables.

6.2.1. Trabajos futuros

La integración del módulo PowerLogic ION7400 al proceso de gestión de calidad de energía es una solución innovadora que ha demostrado mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos en diversas industrias. Sin embargo, aún existen varios trabajos, aplicaciones futuras que pueden desarrollarse a partir de este trabajo:

1. Se recomienda la implementación de la conectividad WiFi en el medidor ion 7400 como una de las principales áreas de trabajo en el futuro. La adición de esta nueva funcionalidad permitiría una instalación y recolección de

datos más sencilla y eficiente, lo que podría resultar en numerosos beneficios para aplicaciones de medición y monitoreo de calidad de energía eléctrica. En particular, la capacidad de monitoreo remoto de la calidad de la energía eléctrica mediante WiFi podría ser muy valiosa en aplicaciones que requieren una supervisión constante y una respuesta rápida a los cambios en la calidad de la energía. Además, la integración de medidores de energía con conectividad WiFi en sistemas de gestión de energía de edificios inteligentes permitiría un monitoreo y optimización más eficiente del uso de la energía eléctrica.

2. Partiendo de la integración del módulo PowerLogic ION7400 al proceso de gestión de calidad de energía es la implementación de técnicas de machine learning para la predicción de eventos de calidad de energía. Los algoritmos de machine learning pueden analizar grandes cantidades de datos históricos y en tiempo real para detectar patrones y anomalías en la calidad de la energía, y predecir eventos futuros como caídas de tensión, interrupciones y fluctuaciones de voltaje. Esto permitiría a las empresas tomar medidas preventivas y minimizar el impacto de estos eventos en sus procesos y equipos. Además, la implementación de técnicas de machine learning también podría mejorar la precisión y la eficiencia del proceso de análisis de datos de calidad de energía, lo que a su vez podría mejorar la toma de decisiones en tiempo real y la optimización de los procesos industriales.

Referencias

- [1] “Powerlogic™ ion7400 series user manual legal information.” [Online]. Available: www.se.com
- [2] R. N. Torres Luna and O. J. Farez Jumbo, “Implementación del sistema de comunicación iec 61850 para monitoreo y control del módulo de pruebas para el laboratorio de protecciones de la universidad politécnica salesiana sede cuenca,” B.S. thesis, 2021.
- [3] A. Khan, M. A. Khan, and P. S. Barendse, “Effects of load variation on a weak grid under unbalanced voltage conditions,” in *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 2014, pp. 1711–1716.
- [4] S. Liyanage, S. Perera, and D. Robinson, “A study on cross-harmonic generation by large three-phase inverters in solar farm environments,” in *2022 20th International Conference on Harmonics Quality of Power (ICHQP)*, 2022, pp. 1–6.
- [5] A. Saadat, R.-A. Hooshmand, and M. Tadayon, “Flicker propagation pricing in power systems using a new short-circuit-based method for determining the flicker transfer coefficient,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 70, pp. 1–9, 2021.
- [6] M. Lamich, “Filtros activos de potencia,” *Universitat Politècnica de Catalunya*, 2006.
- [7] “Ieee standard for harmonic control in electric power systems,” *IEEE Std 519-2022 (Revision of IEEE Std 519-2014)*, pp. 1–31, 2022.
- [8] A. Domijan and E. Embriz-Santander, “A novel electric power laboratory for power quality and energy studies: training aspects,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, no. 4, pp. 1571–1578, 1992.
- [9] J. Flory, T. Key, W. Smith, R. Statford, J. Smith, J. Clemmensen, L. Saunders, C. Potts, G. Emmett, W. Moncrief, and B. Singletary, “The electric utility-industrial user partnership in solving power quality problems,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, no. 3, pp. 878–886, 1990.

- [10] F. G. Arias, *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta.* Fideas G. Arias Odón, 2012.
- [11] A. S. Corzo Hormaza, “Descripción de los parámetros de la calidad de energía eléctrica del sistema de utilización de la clínica rebagliati-huancayo en el año 2020,” 2021.
- [12] L. E. Tinoco Jaramillo, “Diseño e implementación de una normativa interna para la construcción de sistemas de calidad de energía y monitoreo del consumo energético para la empresa seius sa,” B.S. thesis, 2015.
- [13] J. Balcells, J. Autonell, V. Barra *et al.*, *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica.* Marcombo, 2010.
- [14] J. F. Paz Villanueva, “Evaluación del comportamiento de voltajes y corrientes armónicas para la mejora del control en un alimentador de media tensión-casa de concesionaria de un sistema de distribución.” 2019.
- [15] O. S. Castañeda Ordóñez *et al.*, “Análisis de calidad de energía acerca de la calidad del producto de la zona urbana de milagro del área de concesión de la empresa eléctrica milagro usando la regulación del conelec no.-004/01,” B.S. thesis, Espol, 2018.
- [16] C. L. Erazo Gavilanes, “Análisis del plan de expansión de las empresas eléctricas con más del 20 % en pérdidas de energía período (2006-2015),” B.S. thesis, QUITO/EPN/2007, 2007.
- [17] I. E. Amaya, “Distorsión armónica de corriente vs distorsión armónica de voltaje,” *GRUPO SECOVI*, 2021.
- [18] A. G. A. Mass, “Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución,” *Santiago de Chile: Paidós*, 1994.
- [19] F. Islam, A. Lallu, K. Mamun, K. Prakash, and N. Roy, “Power quality improvement of distribution network using bess and capacitor bank,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 9, no. 3, pp. 625–632, 2020.
- [20] J. H. F. VILLAMIL, J. E. M. HERRERA, and F. A. C. REINA, “Corrección de factor de potencia y atenuación de niveles de armónicos empleando bancos de condensadores sintonizados en instalaciones comer-

- ciales a€“estudio de caso,” in *Simposio Internacional sobre la Calidad de la Energía Eléctrica-SICEL*, vol. 1, 2001.
- [21] F. Wang, Z. Lei, X. Xu, and X. Shu, “Topology deduction and analysis of voltage balancers for dc microgrid,” *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 5, no. 2, pp. 672–680, 2016.
- [22] P. Prabhakaran and V. Agarwal, “Mitigation of voltage unbalance in a low voltage bipolar dc microgrid using a boost-sepic type interleaved dc-dc compensator,” in *2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC)*. IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [23] I. J. Tapia Bajaña and J. J. Ichina Torres, “Modelado y análisis de los efectos armónicos en bancos de transformadores trifásicos en la unidad educativa salesiana cristóbal colón,” B.S. thesis, 2021.
- [24] “Un enfoque práctico para mitigar la distorsión armónica en una microrred, estudio de caso,” in *2022 20.a Conferencia Internacional sobre Armónicos y Calidad de Energía (ICHQP)*.
- [25] “Técnicas experimentales de mitigación para reducir la distorsión armónica total de fuentes de energía no lineales de bajo voltaje,” in *2017 X Simposio Internacional sobre Temas Avanzados en Ingeniería Eléctrica (ATEE)*.
- [26] “Revisión de soluciones para la mitigación de armónicos,” in *2016 17a Conferencia Internacional sobre Armónicos y Calidad de Energía (ICHQP)*.
- [27] C. González Castaño, “Modelo de horno de arco eléctrico para estudios del efecto flicker y su solución con métodos de compensación,” 2013.
- [28] “Regulacion no. arcernnr – 002/20.” (*AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL DE ENERGıA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*), no. 35, 13 de Noviembre de 2020.
- [29] N. EUROPEA and N. OMC, “Normas.”
- [30] G. Artale, G. Caravello, A. Cataliotti, V. Cosentino, S. Guaiana, D. Di Cara, N. Panzavecchia, and G. Tine, “Measurement uncertainty of harmonic emission indicators based on ieee std. 1459-2010,” in *2020*

IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2020, pp. 1–6.

ANEXOS

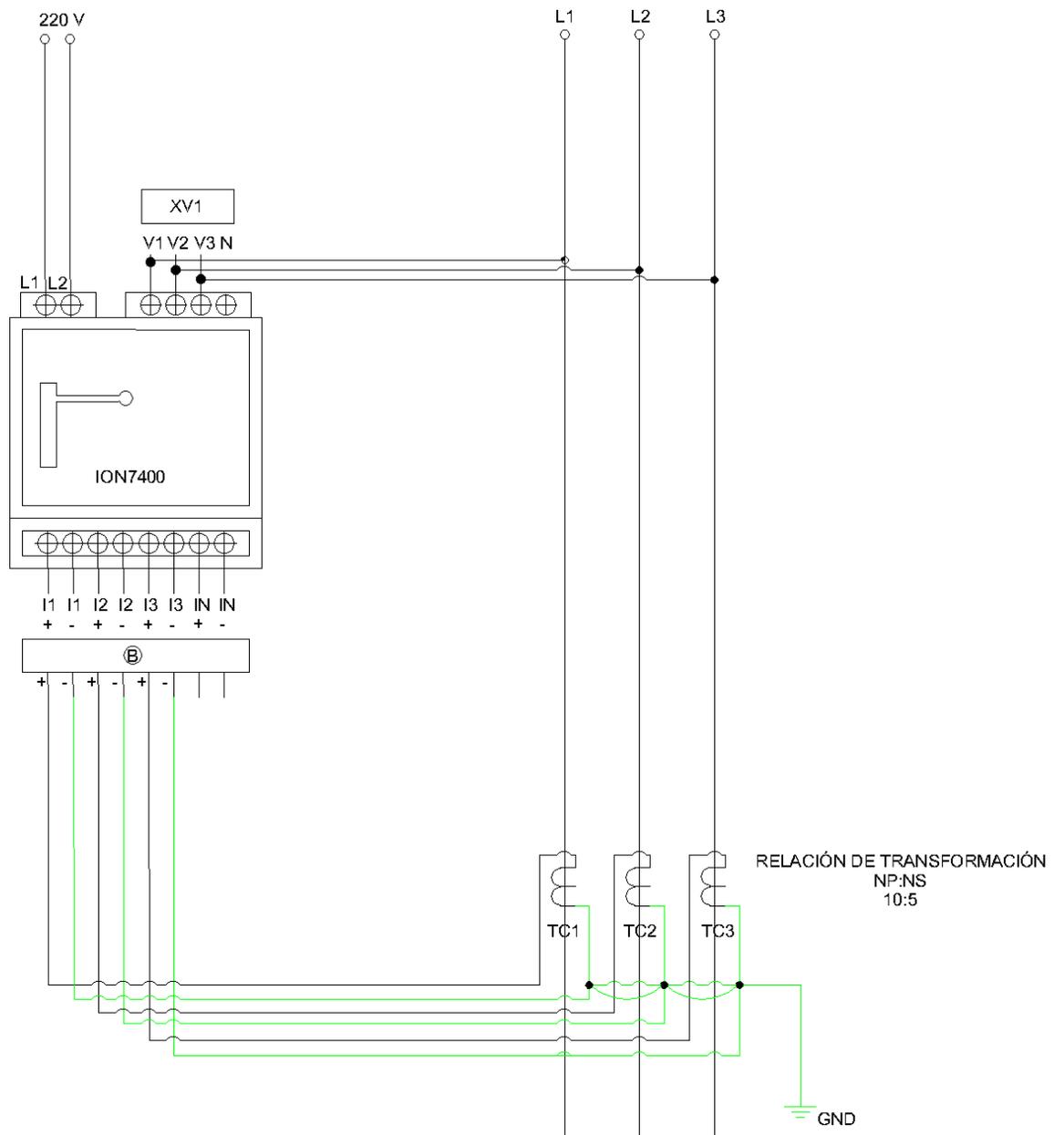


Figura 65: Diagrama de conexión del módulo.



Figura 66: Módulo ION 7400.

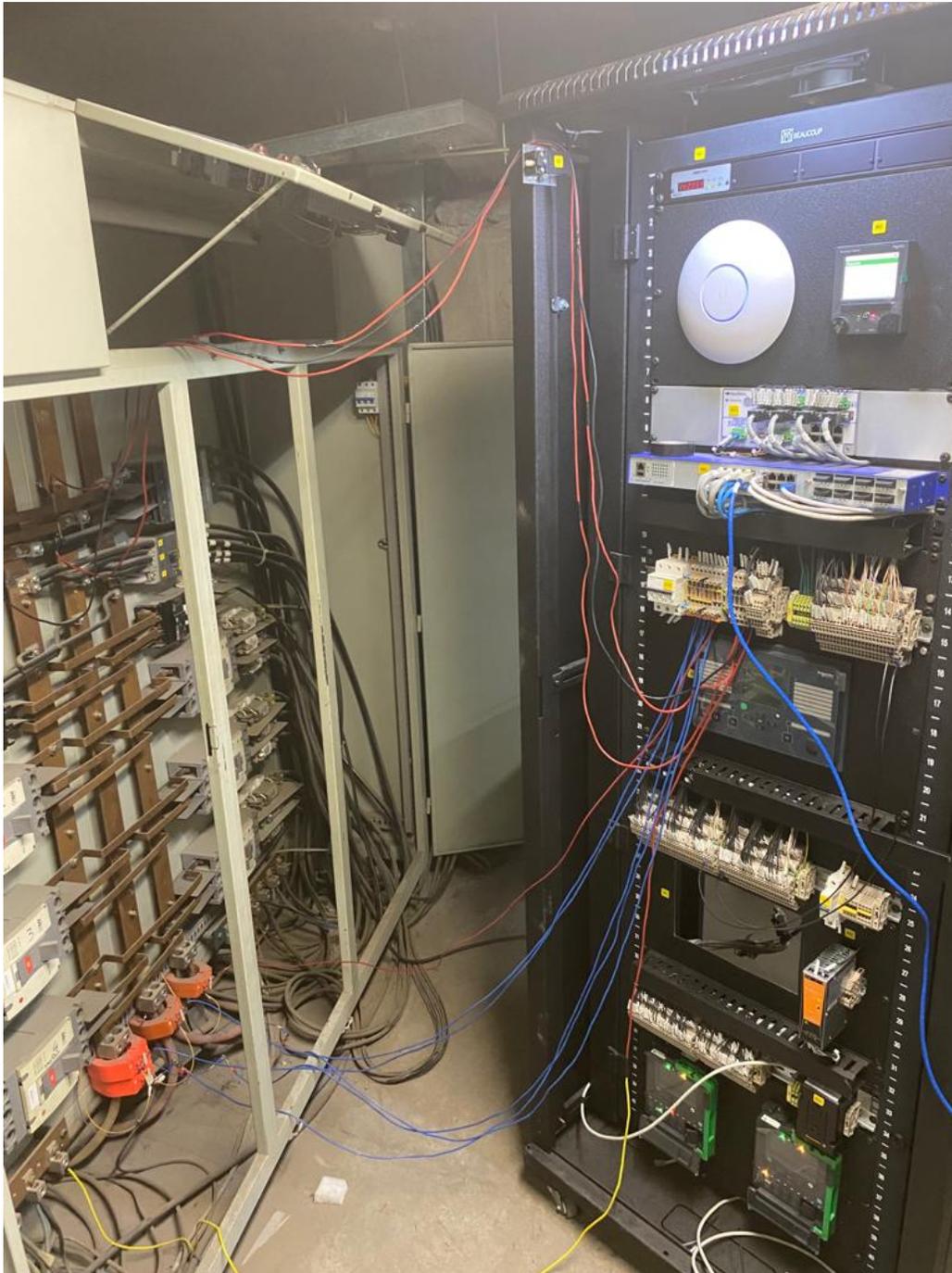


Figura 67: Conexión del módulo de prueba.



Figura 68: Banco de condensadores.



Figura 69: Supervisión de conexiones.