



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

www.bdigital.ula.ve

**REGISTRO Y ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO
ELÉCTRICO (CSE) EN EL SISTEMA FUNICULAR
CONTINUO TROL CABLE DE MÉRIDA**

Br. Kalger Parada

Mérida, julio de 2019

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

www.bdigital.ula.ve

**REGISTRO Y ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO
ELÉCTRICO (CSE) EN EL SISTEMA FUNICULAR
CONTINUÚO TROL CABLE DE MÉRIDA**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electricista

Br. Kalger Parada

Tutor académico: MSc. Ricardo Stephens

Tutor Empresarial: Ing. Eduardo Contreras

Mérida, julio de 2019

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**REGISTRO Y ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL SUMINISTRO
ELÉCTRICO (CSE) EN EL SISTEMA FUNICULAR CONTINUÓ
TROLCABLE DE MÉRIDA**

www.bdigital.ula.ve

Br. Kalger Parada

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

MSc. Pedro Omar Mora Mogollón.

Dr. Carlos Amable Muñoz Bravo.

MSc. Ricardo Isaac Stephens Labrador

DEDICATORIA

A nuestro Dios, a mi madre, a mi hijo, y a mi compañera de vida.

En cada momento de mi vida a Dios, por haberme bendecido con mi madre querida, matriarca Carmen Edén Jerez Salcedo, quien ha luchado por hacerme persona de bien, que con paciencia e inmenso amor me ha sabido impulsar para que seguir adelante, y buscar el sendero del buen camino.

Te amo mama.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida.

Ahora me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en el alcance de este logro y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes.

A mi madre por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerle las incontables veces que me brindó su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

A mis abuelos, a pesar de su partida física, siento que están conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ustedes como lo es para mí.

A mi hermana por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindo a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A mi tío Gerardo, más que un tío un papa, un hombre que desde pequeño me brindó su confianza, su amistad y no quiero dejar de reconocer su colaboración a lo largo de mi vida.

A mi tía Belkis, a quien quiero como a una madre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

A mi compañera, y es que en el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia me ayudo a concluir esta meta. Adela esa eres tú.

A mis amigos con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos del cole, que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño, dedicación y cariño, y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.

También quiero agradecer a todas mis amigas, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias mis amores, siempre las llevo en mi corazón.

Finalmente, a la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, no pude tener mejor casa de estudio.

Kalger Parada. **Registro y estudio de la calidad del suministro eléctrico (CSE) en el sistema funicular continuo Trolcable de Mérida.** Tutor: MSc. Ricardo Isaac Stephens Labrador. Julio de 2019.

RESUMEN

El estudio de la Calidad del Suministro Eléctrico (CSE) ha sido abordado en diversas investigaciones debido a la importancia de la energía eléctrica para el funcionamiento del sector industrial y comercial, donde es consumida aproximadamente el 55% de la misma. De igual forma, es importante para el funcionamiento de medios de transporte masivo como el caso del Trolcable en el estado Mérida operado por la estatal Trolebús Mérida Compañía Anónima (TROMERCA), que permite el transporte de más de 12.000 usuarios diariamente. Siendo necesaria la atención continua del suministro eléctrico para garantizar la calidad de este, evitando interrupciones en el servicio, debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución, que en algunos casos conducen a la degradación en la calidad del suministro eléctrico. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo, analizar la calidad del suministro eléctrico del sistema de transporte Trolcable, ya que en la actualidad el sistema eléctrico nacional ha presentado irregularidades en el servicio que afectan la calidad del servicio eléctrico y este sistema de transporte posee una gran importancia en la ciudad de Mérida. Para el desarrollo de la investigación fue empleada una metodología cuantitativa, a través de una investigación de campo, para medir e interpretar parámetros que determinan la calidad del suministro eléctrico en las instalaciones del sistema Trolcable de Mérida. Luego del desarrollo de la investigación, se evidenció que el suministro eléctrico del sistema Trolcable presenta fallas de acuerdo a los parámetros establecidos en la normativa nacional en relación a la calidad del producto y del servicio eléctrico.

Descriptor: electricidad, energía eléctrica, calidad de suministro, transporte masivo.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	01
I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE CSE.....	04
El problema	04
Justificación	08
Objetivos	09
Metodología	10
Alcances	14
II ASPECTOS TEÓRICOS Y REGULATORIOS DE LA CSE.....	15
Antecedentes de la investigación	15
La calidad del servicio eléctrico y su medición.....	16
Normativa aplicable a la calidad de servicio eléctrico.....	27
Definiciones aplicable a CSE	43
III EVALUACION DE LA CSE DEL SISTEMA TROL CABLE	46
Caracterización	46
Medición de la CSE	50
Análisis de resultados	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

INDICE DE TABLAS

N°	Nombre	Pág.
1	Clasificación de las perturbaciones que afectan la CSE.....	23
2	Variaciones de tensión permitidas.....	28
3	Tensiones normalizadas en baja tensión.....	38
4	Tensiones nominales y límites permisibles de la tensión de servicio en el punto de medición de los sistemas de distribución hasta 600V.....	38
5	Niveles de Compatibilidad Redes Públicas, No Públicas y Sistemas Industriales.....	42
6	Límites de Planificación de Distorsión de Tensiones Armónicas.....	43
7	Resumen de mediciones del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	52
8	Resumen de mediciones del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	60
9	Resumen de mediciones del transformador en la estación San Jacinto.	66

INDICE DE FIGURAS

N°	Nombre	Pág.
1	Diagrama del procedimiento de investigación.....	12
2	Descomposición en diferentes frecuencias de una onda distorsionada	39
3	Diagrama unifilar estación Domingo Peña.....	48
4	Diagrama unifilar estación San Jacinto.....	49
5	Analizador de energía Fluke 430 serie II.....	51
6	Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	54
7	Gráfico de probabilidad normal del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	56
8	Gráfico de huecos y picos del Transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	57
9	Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	58
10	Gráficos de flicker del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	59
11	Gráficos de señal portadora del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	59
12	Gráficos de armónicos del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña.....	59

13	Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	61
14	Gráfico de probabilidad normal del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	62
15	Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del Transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	63
16	Gráfico de flicker de transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	64
17	Gráfico de armónicos para el transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña.....	65
18	Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador en la estación San Jacinto.....	65
19	Gráfico de probabilidad normal del transformador en la estación San Jacinto.....	67
20	Gráfico de huecos y picos del transformador en la estación San Jacinto.....	68
21	Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del transformador en la estación San Jacinto.....	70
22	Gráficos de flicker del Transformador en la estación San Jacinto.....	71
23	Gráfico de señal portadora del transformador de la estación San Jacinto.....	72
24	Gráficos de armónicos del transformador de la estación San Jacinto...	73
25.	Evolución temporal de los armónicos de potencia del transformador de la estación San Jacinto.	73

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica constituye uno de los elementos fundamentales para el desarrollo de las actividades en la industria, los comercios y las comunidades, permitiendo el funcionamiento de maquinaria, aparatos, motores, entre otros. De modo que resulta de gran importancia realizar un seguimiento a la Calidad del Suministro Eléctrico como medio para garantizar un suministro continuo, diagnosticar incompatibilidades entre las fuentes de alimentación de energía y la carga conectada, así como determinar aquellos fenómenos que afectan la calidad del suministro y causan inoperatividad, daño o irrupción del servicio eléctrico.

Estas mediciones a la CSE, ha sido de larga data como expone [1] ya que “el estudio de Flickers y perturbaciones en la calidad de suministro eléctrico, se remonta a los inicios de la generación y transmisión de la energía eléctrica”. Son realizadas a través del uso de equipos de monitoreo que permiten medir la energía activa y reactiva clásica, desequilibrio y nivel de armónicos, la potencia de salida Corriente Alterna (CA) y la potencia de entrada Corriente Continua (CC), entre otros; esto con el objetivo de cuantificar las pérdidas de energía en términos monetarios.

En estas mediciones de CSE son empleados diversos parámetros relacionados con la ausencia de interrupciones en el servicio, tensiones y deformaciones producidas por cargas no lineales en la red eléctrica y variaciones de voltaje, que afectan la estabilidad, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Por lo que deben ser aplicadas en aquellos casos donde la electricidad sea fundamental para la realización de actividades prioritarias para los seres humanos, como es el caso del transporte masivo, y que requiere una atención continua del suministro.

En la actualidad, Venezuela ha presentado problemáticas respecto al suministro de energía eléctrica, que han afectado la calidad del servicio como producto de la falta de inversión, de

mantenimiento, aumento del consumo, entre otros, lo que ha generado deficiencias en el suministro. Siendo necesaria la evaluación de las características del servicio eléctrico, tanto a nivel técnico como a nivel comercial, que son exigibles por los consumidores y las empresas que prestan el servicio, y que garantizan altos estándares de calidad.

Particularmente en el estado Mérida, uno de los sistemas de transporte que emplea energía eléctrica es el Trolcable, que permite el transporte de personas desde la cuenca de río Chama hasta la Ciudad de Mérida, a través de un sistema de telecabinas en forma de teleférico. Debido a que constituye uno de los medios de transporte más utilizados en la ciudad de Mérida resulta necesaria una evaluación constante de la calidad del suministro eléctrico que emplea este medio de transporte para poder operar satisfactoriamente, por lo que la presente investigación se centra en el estudio de la calidad del suministro eléctrico en el Trolcable para así corregir o eliminar aquellas perturbaciones que afectan la calidad.

Esto es posible a través de la utilización de equipos de registro de CSE que son empleados por la industria eléctrica para establecer los correctivos que permitan lograr un rendimiento óptimo en el suministro y por ende en los dispositivos conectados. Para el desarrollo de la investigación se abarcaron aspectos fundamentales de la CSE y los fenómenos asociados, que condujeron a la realización de las mediciones en el sistema eléctrico del Trolcable a través de analizadores trifásicos de calidad eléctrica y energía, que permiten localizar, predecir, prevenir e identificar problemas de calidad de la energía en sistemas de distribución trifásicos y monofásicos.

Para tales efectos, la investigación se estructuró en tres capítulos planteados de la siguiente manera:

Capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, justificación de la investigación, formulación de los objetivos, así como la metodología, donde se describe el tipo de investigación a desarrollar, el diseño de la misma y el procedimiento llevado a cabo para realizar las mediciones de la CSE en el Trolcable de la ciudad de Mérida

Capítulo II: Marco teórico, donde se abordan aspectos fundamentales de la medición de la CSE, sus parámetros, características de los instrumentos de medición y los aspectos legales que

regulan el suministro eléctrico en Venezuela y que proporcionan los parámetros para medir la calidad del suministro.

Capítulo III: Se presentan los resultados de la investigación, a través de la aplicación de la metodología empleada, para el análisis de la CSE en el sistema transporte Trolcable.

Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo de los objetivos de la investigación, fuentes bibliográficas y no bibliográficas, así como los anexos de la investigación.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE CSE

El presente capítulo describe las bases necesarias para ejecutar esta investigación, estableciendo las distintas razones que permiten crear las condiciones del proyecto, las mismas se describen a continuación:

1.1 EL PROBLEMA

A nivel mundial, la energía eléctrica ha permitido el desarrollo de actividades industriales y comerciales de gran interés económico, que es llevada a las áreas de consumo a través de un sistema de suministro eléctrico que se integra de medios y elementos para generar, transporta y distribuir este importante insumo que mueve al mundo.

Con la finalidad de garantizar que este suministro eléctrico sea de calidad, se han desarrollado un buen número de estudios que buscan analizar la calidad del suministro eléctrico, tanto a nivel industrial como doméstico, ya que un suministro eléctrico de calidad debe tener tensión sinusoidal y frecuencia de magnitud constante; además los problemas de calidad del suministro eléctrico causan deficiencias en tres áreas estratégicas, como tiempo de inactividad, problemas en los equipos y costes de consumo [2]. Al respecto, [2], expone que:

La calidad del suministro eléctrico expresa en qué medida una red se asemeja a cómo debe ser una red de suministro eléctrico definiendo los límites entre los que deben encontrarse los parámetros tales como la frecuencia, para asegurar un suministro de calidad y sin interrupción. Estas mediciones de la CSE pueden ser realizadas a través de parámetros básicos, parámetros estadísticos, armónicos, estudio de Flicker, registro de incidencias o registros de ON-OFF, que permiten establecer conclusiones para determinar si el suministro eléctrico es satisfactorio y garantiza la operatividad. Su atención debe ser continua para evitar el desperdicio de energía eléctrica, ante el incremento de la demanda y del número de cargas sensibles en los sistemas de distribución.

Los estudios de la calidad del suministro eléctrico tienen una larga data, especialmente a partir de 1991 en Estados Unidos y Canadá como expresa [1]. Pues al ser un bien de consumo, la energía eléctrica requiere de una constante evaluación para mantener ciertos estándares de calidad, que afectan de forma directa los equipamientos que la consumen, tales como daños en equipos electrónicos, errores de funcionamiento, inestabilidad en la sensación visual, interferencias en redes de comunicación, sobrecalentamiento de equipos, que afectan tanto la vida útil como su rendimiento.

Para tal fin, se hace uso de equipos de monitoreo de la calidad del suministro eléctrico, que permiten detectar y recolectar datos en un sistema de potencia que presente perturbaciones, donde se determina el tipo, los problemas típicos y las causas posibles. Empleando una serie de parámetros basados en normativas internacionales, que establecen los límites o márgenes dentro de los cuales deben situarse los parámetros característicos de la red de distribución que es objeto de estudio. De modo que para garantizar la operatividad de muchas actividades fundamentales para el ser humano es necesaria una evaluación constante de la calidad del suministro eléctrico.

A nivel comercial e industrial, el análisis del suministro eléctrico resulta esencial para su funcionamiento, pues se ha determinado que uno de los problemas más comunes que ocasiona el desperdicio de energía eléctrica es la calidad de esta, debido a que influye en la eficiencia de los equipos eléctricos que se emplean en las operaciones diarias. Dando paso a diversos estudios a nivel mundial relacionados con los parámetros que se emplea en su medición, métodos, equipos empleados para su análisis, software, entre otros; donde se establece la importancia de estas mediciones para mantener el desarrollo de actividades industriales, comerciales y domésticas.

En Venezuela, la energía eléctrica ha sido fundamental para el desarrollo de un gran número de actividades que permiten mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, entre ellos los sistemas de transporte masivo como el Metro de Caracas, el Metro de Los Teques, el Metrocable o Trolmérica. Este último fue desarrollado en el estado Mérida a través de la empresa estatal TROMERCA, el objetivo de proporcionar un sistema de transporte integrado para el área metropolitana del estado Mérida.

Actualmente, TROMERCA cuenta con una flota de autobuses articulados de motorización dual (motor eléctrico y combustible diésel) para el transporte de personas desde la ciudad de Ejido a la ciudad de Mérida, así como el sistema de metrocable denominado Trolcable, que conecta a la población de la cuenca del río Chama con la ciudad de Mérida, a través de 20 cabinas con capacidad para ocho pasajeros cada una y que realizan este recorrido en tres minutos [3]. En el caso del Trolcable, el mismo fue inaugurado en el año 2012, debido a la creciente necesidad de la población de zonas aledañas a la cuenca del río Chama para trasladarse a la ciudad de Mérida, de modo que surgió la idea de construir un sistema de telecabinas similar a la desarrollada en la ciudad de Caracas [3].

Este sistema de transporte masivo requiere de la utilización de energía eléctrica para la movilización de las cabinas a través de una guaya que es movida por el empuje de un motor, siendo necesario entonces el suministro eléctrico para garantizar las operaciones, así como una continua evaluación de la calidad del mismo para mantener estándares adecuados, sin embargo, su funcionamiento se ve afectado ante interrupciones en el suministro eléctrico que se han experimentado en el país durante esta última década. Esta evaluación de la CSE es realizada con el objeto de lograr un rendimiento óptimo en el suministro y por ende en los dispositivos conectados, pues como producto de la inestabilidad del sistema eléctrico nacional a causa de factores como la falta de mantenimiento, inversión, personal, entre otros, ha influido directamente en la calidad del suministro eléctrico.

Para la realización de análisis de la calidad del suministro eléctrico en Venezuela, son empleadas normativas dispuestas por la Comisión Nacional de Electricidad a través de la Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico, su Reglamento de Servicio y las Normas de Calidad del Servicio de Distribución de Electricidad, que establecen el control de la calidad del servicio prestado a través de la calidad del servicio comercial, la calidad del producto técnico y la calidad del servicio técnico [4]. Con los avances tecnológicos que han sido desarrollados recientemente,

actualmente se puede hacer uso de equipos de monitoreo con capacidad de análisis de la calidad eléctrica más detallada y que permiten cuantificar la pérdida a nivel económico.

Debido a la importancia que posee el sistema Trolcable para la ciudad de Mérida y la influencia del suministro eléctrico para su operatividad, la presente investigación se orienta al análisis de la calidad del suministro eléctrico en el sistema Trolcable, ya que este tipo de estudio son vitales para reducir la pérdida de energía, evitar el desgaste prematuro de los equipos e incrementar la productividad. Esto será posible a través del empleo de un equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, que ofrece un mejor análisis de la calidad eléctrica en sistemas de distribución trifásicos y monofásico, cuyas mediciones se realizarán en los transformadores de la estación Domingo Peña en la ciudad de Mérida y San Jacinto en la cuenca del río Chama.

A través de los datos obtenidos, se podrá cuantificar las mediciones de energía activa y reactiva clásica, desequilibrio y potencia de armónicos son cuantificados para localizar pérdidas reales de energía; captura de forma de onda; interferencias causadas por señales de control de cargas a frecuencias específicas; diez parámetros de calidad de potencia Clásicos (Steinmetz 1897) y Potencia Eléctrica IEEE 1459-2000 y detalles de la energía derrochada en la instalación, debido a la presencia de armónicos. En tal sentido, estas mediciones permitirán realizar un estudio de la calidad de la energía eléctrica en este importante sistema de transporte, ya que es necesario tanto para los distribuidores como para usuarios controlar la calidad del suministro eléctrico como medio para mantener la operatividad.

De igual forma, a través del desarrollo de esta investigación se podrá dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Qué normativas regulan la medición de la energía eléctrica en Venezuela y que parámetros son empleados en su medición?
- ¿Cuál es la situación actual del suministro de electricidad en el sistema de transporte masivo Trolcable?
- ¿Qué factores afectan la calidad del suministro eléctrico en el sistema de transporte masivo Trolcable?
- ¿Cuáles son las posibles soluciones para mejorar la calidad del suministro eléctrico en el sistema de transporte masivo Trolcable?

La obtención de respuestas a estas interrogantes proporcionará elementos para fundamentar la situación de la calidad del suministro eléctrico en el Trolcable, para garantizar un servicio eléctrico de calidad, evitar interrupciones del servicio y pérdidas económicas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica desde el punto de vista teórico, ya que la medición de la CSE tiene una gran importancia en la sociedad, por cuanto la electricidad permite el desarrollo de un gran número de actividades industriales y comerciales esenciales para los seres humanos. Siendo necesario conocer la situación actual del suministro de energía eléctrica en el sistema Trolcable, que permite el transporte de personas aproximadamente 12.000 personas diariamente, desde la cuenca del río Chama a la Ciudad de Mérida, ya que con la entrada en vigencia de las normativas que regulan la calidad del suministro eléctrico, las empresas responsables de su distribución están obligadas a la adecuación de los procedimientos técnicos que permitan un suministro eléctrico que satisfaga a sus usuarios.

Este ha sido un tema estudiado ampliamente en otras instancias, ya que busca garantizar la productividad y eficiencia, que pueden verse afectadas ante deficiencias en el suministro eléctrico, por lo que desarrollar un estudio que analice la calidad del suministro eléctrico en el sistema Trolcable, permitirá identificar aquellos factores que afectan su correcto suministro y aplicar los correctivos en caso que sea necesario. Además, el crecimiento de la población se traduce en un incremento de la demanda de energía eléctrica, así como una sociedad cada vez más dependiente del suministro eléctrico, por lo que necesita y exige una mayor calidad del mismo.

A nivel técnico, este tipo de investigaciones permiten comprender la importancia del control y registro de cualquier anomalía en la CSE, y las empresas que la suministran están en la obligación de garantizar un suministro de calidad tanto a nivel técnico como comercial, como es dispuesto en la Ley Orgánica del Sector Eléctrico, que establece que las actividades del servicio eléctrico deben realizarse de acuerdo con las normas técnicas y comerciales que le sean aplicables, en consideración de los requerimientos de suministro de electricidad y atención de cada tipo de usuarios.

En lo metodológico, esta investigación permite la aplicación de una metodología que parte del estudio de la normativa vigente en materia de CSE, para luego realizar las mediciones de los

estándares de calidad a través de un equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, en este sistema de transporte masivo, realizar un análisis de los datos obtenidos y presentar conclusiones. Y a partir de las debilidades identificadas, será posible desarrollar una propuesta viable para mejorar la calidad del suministro eléctrico y evitar deficiencias en el mismo, como ya ha sido presentado previamente como producto de las interrupciones en el suministro de electricidad, que han paralizado las operaciones del sistema Trolcable, incluso durante varias horas.

Además, esta investigación permitirá orientar otras mediciones relacionadas con el análisis de la CSE en sistemas de transporte masivo, que por sus características demandan altos estándares de calidad y deben ser evaluados constantemente por la Corporación Eléctrica Nacional S.A. (CORPOELEC), como compañía que suministra servicio eléctrico en el estado Mérida.

1.3 OBJETIVOS

General

Analizar la calidad del suministro eléctrico (CSE) del sistema funicular continuo Trolcable, a través de mediciones con un equipo de monitoreo eléctrico Fluke 430 serie II.

Específicos

- Describir normativas que regulan la medición de la energía eléctrica en Venezuela y los parámetros empleados en su medición.
- Examinar las condiciones actuales del sistema de suministro eléctrico del sistema funicular continuo Trolcable.
- Evaluar la calidad del suministro eléctrico del sistema funicular continuo Trolcable a través de uso parámetros incluidos en la normativa nacional.
- Identificar los factores que afectan la calidad del suministro eléctrico del sistema funicular continuo Trolcable.
- Diseñar una propuesta para mejorar la calidad del suministro eléctrico del sistema funicular continuo Trolcable.

1.4 METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología que será empleada en la investigación, que contempla la modalidad, el tipo de investigación a realizar y el diseño de la misma, así como el conjunto de métodos, técnicas e instrumentos que se emplearán en el proceso de recolección de datos y las técnicas de análisis e interpretación de los resultados, que permitirán encontrar las posibles soluciones al problema planteado inicialmente, conduciendo al análisis de la calidad del suministro eléctrico en el sistema Trolcable de la ciudad de Mérida.

1.4.1 Tipo de investigación

El presente estudio, se orienta hacia una investigación de campo, que [5] define como:

El análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de descubrirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad.

La investigación de campo fue la elegida para el desarrollo esta investigación, ya que se requiere obtener datos directamente de la fuente de estudio, que en este caso son los transformadores que se encuentran en la estación Domingo Peña en la ciudad de Mérida y en la estación San Jacinto en la cuenca del río Chama.

También toma elementos de la investigación documental, que de acuerdo con lo expuesto en [5]:

La investigación Documental, es el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos.

Esto debido a que será necesario recurrir a diversas fuentes bibliográficas que permitan obtener un conocimiento más amplio respecto a la medición de la calidad del suministro

eléctrico, los parámetros empleados tanto en Venezuela como a nivel internacional, así como las características de los instrumentos de medición empleados para dicho propósito.

Finalmente, posee características de un tipo de investigación descriptiva, que según [6], “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” ya que se realizará un análisis de la calidad del suministro eléctrico del sistema Trolcable, a través de una serie de parámetros cuyas mediciones permitirán determinar si se encuentran dentro de los límites establecidos, para posteriormente realizar una descripción detallada de las características del sistema que suministra electricidad al sistema Trolcable.

1.4.2 Diseño de la investigación

Según [7] el diseño de investigación es:

El plan de acción e indica la secuencia de los pasos a seguir. Permite al investigador precisar los detalles de la tarea de investigación y establecer las estrategias a seguir para obtener resultados positivos, además de definir la forma de encontrar las respuestas a las interrogantes que inducen al estudio.

En relación a esto el diseño empleado en la presente investigación fue el siguiente:

- a) Revisión documental:** Este procedimiento se refiere al estudio y análisis de diversas fuentes bibliográficas y electrónicas enfocadas en el estudio de la calidad del suministro eléctrico, los parámetros empleados para su medición, la normativa empleada en Venezuela, así como investigaciones previas relacionadas con esta temática.
- b) Caracterización del Sistema de Distribución del sistema Trolcable:** Comprende la caracterización del sistema de distribución de electricidad del sistema Trolcable, como área servida, cantidad de usuarios, tipo de alimentadores, kVA instalados, kilómetros de líneas, demanda eléctrica, capacidad de transformación, capacidad firme y condiciones de cargabilidad.
- c) Recolección de información:** El procedimiento de recolección de información será realizado a través del uso de un equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, en los transformadores que se encuentran en la estación Domingo Peña en la ciudad de Mérida y en la estación San Jacinto en la cuenca del río Chama.

d) Análisis de la información: Los datos obtenidos a través del equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, serán analizados para analizar la calidad del suministro eléctrico en el sistema Trolcable, a partir de los parámetros establecidos en la normativa empleada en Venezuela en relación a la calidad de la energía eléctrica, tales como: mediciones de energía activa y reactiva clásica, desequilibrio y potencia de armónicos para localizar pérdidas reales de energía; forma de onda; interferencias causadas por señales de control de cargas a frecuencias específicas, cantidad de interrupciones en el servicio y duración de las mismas, entre otros.

e) Presentación de los resultados: A partir de la información obtenida luego del empleo del equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, serán presentados los principales resultados derivados a partir de la comparación de estas mediciones con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

f) Presentación de las conclusiones y recomendaciones: Finalmente esta etapa comprende las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó en la investigación por medio del análisis de los datos recolectados y obtenidos en el transcurso de la investigación.

www.bdigital.ula.ve

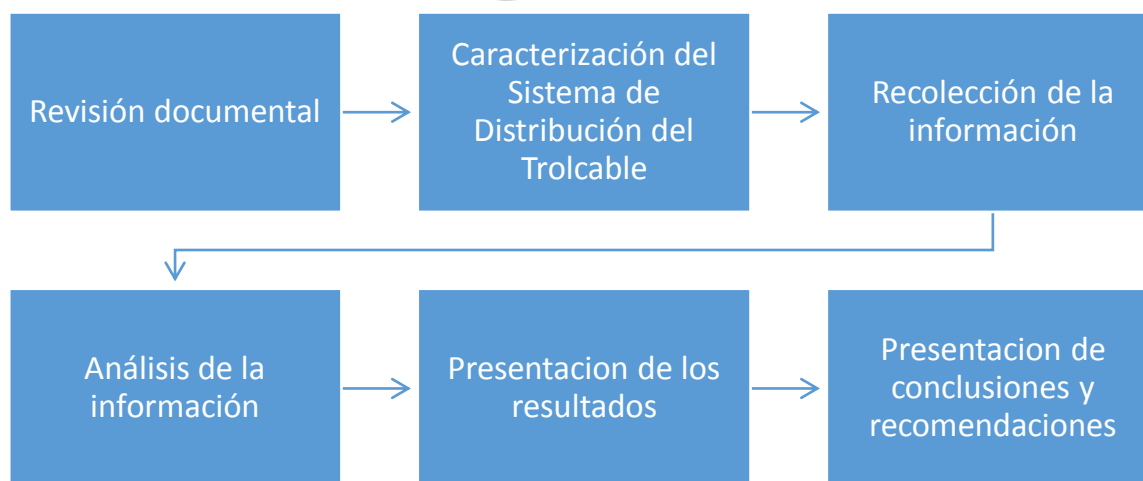


Figura 1. Diagrama del procedimiento de investigación.

1.4.3 Población y muestra

Población: La población, Según [8] es “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de investigación”. La población de esta investigación estará constituida de los 03 transformadores que se encuentran en la estación Domingo Peña y San Jacinto del sistema de transporte Trolcable.

Muestra: Según [9] la muestra “es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. En la presente investigación se tomó como muestra tres transformadores de las estaciones Domingo Peña y San Jacinto, para analizar la calidad del suministro eléctrico, siendo necesario realizar las mediciones con el equipo de monitoreo durante un periodo de tiempo constante, como los sábados y domingos de un mes en particular.

1.4.5 Tratamiento de datos

Para el análisis de los datos se utilizaron herramientas básicas de análisis gráficos y estadísticos, para ello:

- a) Se define el lugar y el periodo para la realización de las mediciones.
- b) Se determina el objetivo del monitoreo.
- c) Se realiza la descripción del Tablero Principal y Sistema Eléctrico del Recinto.
- d) Se realizan las mediciones con el equipo de monitoreo Fluke 430 serie II durante el periodo de muestreo.
- e) Se grafican el número y duración de las interrupciones para los circuitos bajo estudio en un espacio muestral igual a 4 semanas.
- f) Se comparan gráficamente los indicadores de calidad calculados con los suministrados por el equipo de monitoreo Fluke 430 serie II, durante el periodo de muestreo.
- g) Se calcula la desviación de los indicadores de calidad, con el objeto de determinar porcentualmente cuánto se está dejando de cuantificar, en tiempo y frecuencia.

- h) Se identifican los elementos que producen las desviaciones de los indicadores de calidad de servicio de suministro eléctrico.
- i) Se analizan los factores de mayor impacto sobre la calidad del suministro eléctrico.
- j) Se realiza el análisis de los eventos registrados.
- k) Se presentan las conclusiones derivadas del estudio.

1.5 ALCANCES

La presente investigación está orientada al análisis de la calidad del suministro eléctrico del sistema Trolcable, por lo que permitirá la obtención de los datos de parte un equipo de monitoreo para evaluar la calidad del suministro eléctrico en este importante sistema de transporte de la ciudad de Mérida. Identificando además los factores de mayor impacto sobre la calidad del suministro eléctrico, con el fin de presentar una propuesta para mejorar la prestación y calidad e incrementar la productividad.

De igual forma, sentará un precedente en la medición de la calidad de la energía eléctrica en este tipo de sistema de transporte, cuyo funcionamiento puede verse afectado a causa de deficiencias en la calidad del suministro de energía. Esto en concordancia con la normativa aplicada en materia de calidad de suministro de energía eléctrica en Venezuela, ya que la industria eléctrica venezolana debe garantizar estándares de calidad para incrementar la productividad y la eficiencia energética.

CAPÍTULO II

ASPECTOS TEÓRICOS Y REGULATORIOS DE LA CSE

A continuación, se presenta una recopilación de información teórica que se hace necesaria para el análisis de la calidad del suministro eléctrico en el sistema Trolcable de la ciudad de Mérida, empezando con el desarrollo de conceptos relacionados con calidad del suministro eléctrico, parámetros para su medición, antecedentes de la investigación y aspectos legales a considerar para su análisis.

2.1 ANTECEDENTES

En su trabajo de pregrado [1] titulado “Evolución y aplicación de los equipos de registro de calidad de suministro eléctrico (CSE)”, realiza un estudio de manera general de los equipos de registro de calidad de suministro eléctrico, esto fundamentado en monitoreo de Calidad de Energía es necesario para realizar la caracterización de fenómenos electromagnéticos en una ubicación en particular y en un circuito eléctrico dado. Además, como parte de la investigación, el autor realizó un manual de operación para un equipo en específico, basado en la recopilación de los aspectos de operación de Hardware (el equipo en sí) y de su software de análisis de perturbaciones.

La metodología empleada en la investigación se compone de una secuencia estructurada de trabajo, en la que se destacan aspectos como: Recopilación y revisión de material bibliográfico., definición de perturbaciones y fenómenos, caracterización de los equipos de monitoreo de la calidad del suministro eléctrico, realización de manual de usuario de un equipo de registro de

CSE, realización de estudios sobre la calidad del suministro eléctrico e interpretación de los resultados mediante el uso del equipo al que se le ha realizado el manual de operación.

Posteriormente, el autor realizó mediciones de la calidad del suministro eléctrico en una localidad de la Facultad de Ingeniería de La Universidad de Los Andes, siguiendo las indicaciones del manual elaborado para el equipo seleccionado, con el objetivo de emitir un diagnóstico que describa en parte los problemas de suministro eléctrico que se presentan en el lugar. Obteniéndose que el tablero principal de distribución eléctrica perteneciente al lugar donde se realizaron las mediciones presenta un desbalance de cargas, producto de la incorrecta distribución de las cargas asignadas al recinto.

[10], en su trabajo de posgrado titulado “Evaluación de la Calidad de la Energía Eléctrica de un Sistema de Distribución de Electricidad” realizó una evaluación de la Calidad de la Energía Eléctrica prestada a los suscriptores de los circuitos San José, Quibor, Rodeo, Tocuyo I, Tocuyo II, Boro, Anzoátegui y Guárico, de las subestaciones Quibor y Tocuyo, en el estado Lara. La metodología empleada en la investigación consistió en el análisis de las interrupciones y de las perturbaciones de la onda de tensión y la comparación de estos resultados con los límites recomendados en la normativa nacional e internacional. Como datos para el análisis de las interrupciones, se utilizaron los datos registrados por la empresa eléctrica para el período comprendido entre los años 2005 hasta el 2007, mientras que para el análisis de las perturbaciones de la onda de tensión se consideró la variación de los niveles de tensión, la distorsión armónica y fluctuaciones rápidas de la onda, en mediciones realizadas en el año 2007.

Los resultados obtenidos en la investigación evidenciaron que la tendencia de la frecuencia de las interrupciones a disminuir y la atención, requiere la calidad del producto técnico previo a la etapa de aplicación de sanciones. De igual forma, el autor concluyó que es necesario evaluar la calidad del servicio de distribución de electricidad en función de contribuir con el desarrollo económico de la nación.

[4], en su trabajo de pregrado titulado “Estudio sobre la prestación y calidad del servicio técnico de distribución de electricidad. Caso de estudio: CORPOELEC – edo. Cojedes”, realizó un análisis de la prestación y calidad del servicio técnico de distribución de electricidad que ofrece CORPOELEC a los usuarios y usuarias del Estado Cojedes, a través de un análisis estadístico de los indicadores Tiempo Total de Interrupción (TTI) y Frecuencia Media de Interrupciones (FMI) durante el año 2011. La metodología empleada en la investigación se basó en un diseño de campo de tipo descriptivo, a partir del cual se realizó un diagnóstico a partir del cual se obtuvieron resultados que permitieron identificar, los elementos involucrados en las

desviaciones de los índices de calidad respecto a la normativa vigente y los principales factores que afectan la calidad del servicio técnico de la zona bajo estudio, para posteriormente presentar una propuesta para mejorar la calidad del servicio.

Luego del desarrollo de la investigación, el autor concluyó que CORPOELEC en el estado Cojedes no cuenta con una de bases de datos y automatización para la obtención de la información de los indicadores Tiempo Total de Interrupción por kVA (TTIK) y Frecuencia Media de Interrupción por kVA instalados (FMIK) que salen fuera de servicio cuando ocurre una interrupción del fluido eléctrico, además la empresa no dispone de información depurada y suficiente para el cálculo correcto de los indicadores de calidad de servicio técnico por usuario, por lo que se deben establecer límites de los indicadores por kVA instalado para mediana tensión.

De modo que el autor realizó la propuesta de una metodología de mantenimiento para mejorar la calidad de la energía distribuida por la Empresa CORPOELEC como prestadora del servicio, permitiendo hacer frente, de manera eficiente, a las interrupciones del sistema eléctrico. De igual forma permite a CORPOELEC entrar en un proceso de adecuación al marco regulatorio y de mejoramiento continuo del servicio eléctrico, mantener las instalaciones en forma preventiva, utilizando con eficiencia los recursos humanos y tecnológicos de manera de minimizar los mantenimientos correctivos.

Estas investigaciones poseen una gran relación con la presente debido a que las mismas realizaron mediciones a la calidad del suministro eléctrico empleando diversas metodologías, por lo que son una gran referencia para el desarrollo de la propuesta de medición de la calidad del suministro eléctrico en la investigación en curso. Además, presentan la normativa vigente en materia de energía eléctrica, parámetros para la medición de calidad y métodos para su análisis, permitiendo realizar comparaciones en términos de métodos.

2.2 La calidad del servicio eléctrico y su medición.

Calidad del suministro eléctrico

La Calidad del suministro eléctrico es un concepto que puede ser interpretado de diferentes maneras por las empresas que suministran el servicio y por los usuarios, de modo que a

continuación se presentan un conjunto de definiciones respecto a este tema, que en general hace referencia al suministro de electricidad bajo ciertos parámetros.

De acuerdo a lo expresado por [1]:

La Calidad del Suministro Eléctrico se define como el conjunto de parámetros o requerimientos que es necesario controlar y que están presentes en un sistema de distribución eléctrica y que se deben tener en cuenta para lograr un rendimiento óptimo e cualquier dispositivo conectado al sistema de potencia alimentador.

Al respecto [11], define a la calidad del suministro eléctrico como el grado al cual la distribución y utilización de la energía afecta el funcionamiento de los equipos eléctricos, así como:

Un conjunto de características físicas de las señales de voltaje y corriente para un tiempo dado y un espacio determinado, que cumplen con los requisitos definidos por cada país, con el objetivo de satisfacer las necesidades explícitas e implícitas de un usuario.

De igual forma [2], establece que en la calidad del suministro eléctrico expresa en qué medida una red de suministro eléctrico debe funcionar, definiendo los límites entre los que deben encontrarse una serie de parámetros como para asegurar un suministro de calidad y sin interrupciones. De modo que la calidad del suministro eléctrico, hace referencia a los límites entre los cuales deben encontrarse una serie de parámetros relacionados con esta materia, para así garantizar que el servicio sea óptimo.

Fenómenos relacionados con la calidad del suministro eléctrico

- **Transitorio:** Según lo expresado por [1] es “un fenómeno o cantidad que varía entre dos estados estables consecutivos durante un intervalo de tiempo que es corto comparado con la escala de tiempo de interés”. Los transitorios pueden ser ocasionados por maniobras con interruptores y por descargas atmosféricas.

- **Transitorio impulsivo:** “Es un disturbio en el voltaje de alimentación que dura menos de medio ciclo y que inicialmente tiene la misma polaridad que el voltaje normal, de tal manera que el disturbio se suma a la forma de onda nominal” [12]. Este tipo de fenómenos son de moderada y elevada magnitud, pero de corta duración, y se caracterizan por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μ sec), descenso (20 a 150 μ sec) y por su contenido espectral.

- **Tensión de alimentación:** De acuerdo a lo expresado por [2] la tensión de alimentación es el “Valor eficaz de la tensión presente en un instante dado en el punto de suministro, medido en un intervalo de tiempo dado”. Esta puede ser:

Alta tensión (AT): Tensión cuyo valor eficaz nominal es $36 \text{ kV} < U_n = 150 \text{ kV}$. A causa de las estructuras de las redes existentes, el límite entre MT y AT puede variar según los países.

Media tensión (MT): Tensión cuyo valor eficaz nominal es $1 \text{ kV} < U_n = 36 \text{ kV}$. A causa de las estructuras de las redes existentes, el límite entre MT y AT puede variar según los países.

Baja tensión (BT): Tensión cuyo valor eficaz nominal máximo es $U_n = 1 \text{ kV}$. [2].

- **Flicker (parpadeo):** Al respecto, [2] expone que el flicker es “la impresión de inestabilidad de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el cual la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo”.

Este fenómeno provoca variaciones en la iluminación y por encima de cierto umbral es molesto para los consumidores del servicio eléctrico. En materia de calidad del suministro, el flicker evaluado de acuerdo a su severidad, por medio de las magnitudes siguientes:

- Severidad de duración breve (P_{st}) medida en un período de 10 min.
- Severidad de duración larga (P_{lt}) calculada a partir de una secuencia de 12 valores de P_{st} en un intervalo de 2 horas, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

- **Tensión armónica:** Las tensiones armónicas se deben principalmente a las cargas no lineales de usuarios de red conectadas en todos los niveles de tensión de la red de alimentación. [2] establece que es “la tensión sinusoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación”. Estas pueden ser evaluadas de forma individual según su amplitud relativa (u_h) que es el armónico de tensión con relación a la tensión fundamental u_1 , donde h representa el orden del armónico; o globalmente de acuerdo al valor de la tasa de distorsión armónica total (THD) que se determina a través de la siguiente expresión:

$$THD(F) = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2}$$

- **Interrupción:** Se refiere a la pérdida total de voltaje durante un determinado período de tiempo. En caso de que el voltaje se encuentre entre el 10% y el 90% se considera como una disminución de voltaje, mientras que si el voltaje se encuentra por debajo del 10% es una interrupción [13]. Las interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o producto del mal funcionamiento de los sistemas de control. De acuerdo a lo expresado por [4] las interrupciones se clasifican en:

1. **Interrupción momentánea del servicio:** Es la suspensión del servicio de energía eléctrica para uno o más usuarios durante un tiempo menor o igual a un (1) minuto
2. **Interrupción sostenida del servicio:** Es la suspensión del servicio de energía eléctrica para uno o más usuarios durante un tiempo mayor a 1 o más minutos, ya sea por interrupciones forzadas o programadas.

3. Interrupción programada: Es la suspensión del suministro de energía eléctrica por mantenimiento preventivo, correctivo o para efectuar modificaciones a la red, previa notificación al usuario, a efectos de que se tomen las medidas de prevención respectivas, con el propósito de minimizar su impacto.

4. Interrupción no programada: Es la suspensión del suministro de energía eléctrica motivado por la salida imprevista o falla de uno o más elementos que conforman el sistema eléctrico, por situación de peligro o riesgo inminente a la seguridad de los usuarios, personal de la empresa o la seguridad del sistema de distribución eléctrica.

- **Dip o Sag (Caída de Tensión breve):** De acuerdo con [1] una caída de tensión breve es:

Es un decrecimiento de entre 0.1 en p.u. y 0.9 en p.u. en el valor RMS de la tensión o corriente a la frecuencia del sistema y que tiene por duración desde 0.5 ciclos hasta 1 minuto. Sus valores típicos son desde 0.1 en p.u. hasta 0.9 en p.u.

- **Depresiones:** De acuerdo a lo expresado por la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (S/f):

Las depresiones (*Sag* o *Dip*), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclo a un minuto. Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

- **Crestas:** Al respecto la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (S/f), establece que:

Una cresta (*Swell*) se define como un incremento del valor R.M.S. de la tensión o la corriente entre 1,1 y 1,8 p.u. con una duración desde 0,5 ciclo a un minuto. Como en el caso de las depresiones, las crestas son asociadas a fallas en el sistema, aunque no son tan comunes como las depresiones. Un caso típico es la elevación temporal de la tensión en las fases no falladas durante una falla línea a tierra. También pueden

ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores.

- **Ruido:** La Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (S/f), expresa que:

El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales. Puede ser causado por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes conmutadas.

- **Muecas de Tensión (Notching):** Al respecto La Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (S/f), expresa que:

Son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada. Generalmente son tratadas como un caso especial ya que los componentes de frecuencia asociados a ellas pueden ser tan altos que no son fácilmente detectados por los equipos de medición normalmente utilizados para el análisis armónico.

Tabla 1. Clasificación de las perturbaciones que afectan la CSE. Fuente: [1].

Fenómeno	Perturbación
Transitorios	Transitorios impulsivos. Transitorios Oscilatorios
Variaciones de corta duración	Interrupciones Caídas (<i>Sags</i>) Alzas (<i>Swells</i>)
Variaciones de larga duración	Baja de Voltajes. Sobrevoltajes. Interrupciones sostenidas
Desbalance de voltaje	
Distorsiones de la forma de onda	Nivel DC Armónicos Interarmónicos Ranuras de tensión (Notch) Ruido (Noise)
Fluctuaciones de voltaje	
Variaciones en la frecuencia del sistema de potencia	

Equipos de monitoreo de la CSE

De acuerdo a lo expresado por [1] los equipos de monitoreo de perturbaciones presentadas en el suministro eléctrico, detectar y recolectar datos en un sistema de suministro eléctrico que presente perturbaciones. Estos son instrumentos portátiles que poseen un gran número de características, como canales de monitoreo, almacenaje de datos y formatos de visualización de datos, así como otras características que dependen de cada instrumento. Estos instrumentos son diseñados para medir el rango de frecuencia para el cual han sido diseñados a fin de determinar si las mediciones obtenidas se ajustan a los parámetros establecidos.

Tipos de Equipos de Monitoreo.

[1] presenta en su investigación los tipos de equipos de monitoreo empleados en la medición de la calidad del suministro eléctrico, como se presenta a continuación:

Multímetros Digitales: Después de realizar una prueba inicial de integridad del cableado, puede que sea necesario hacer verificaciones rápidas de los niveles de voltaje y/o corriente con facilidad. La sobrecarga de circuitos, problemas de

sobrevoltajes y bajas de voltaje, desbalances entre circuitos se pueden detectar de esta manera. Estas medidas pueden requerir sólo un simple multímetro.

Osciloscopios: Pueden ser utilizados para proveer una representación visual y, pueden estar combinados con puntas detectoras de corriente. Los osciloscopios digitales pueden almacenar formas de onda de voltaje y corriente. Además, algunos osciloscopios digitales permiten el cálculo directo de valores pico, promedio, RMS y otros. La medición de formas de onda de corriente puede también ser conducidas por una punta de detección de corriente de bobina tipo pinza (Clamp-on CT). Estas responden a una frecuencia de hasta el armónico N° 50, es decir, 3000Hz, lo que es suficientemente apto para la mayoría de las aplicaciones. Las formas de onda de potencia, pueden ser mostradas y medidas por medio del almacenaje de las formas de onda de voltaje y corriente.

Los Analizadores de Perturbación – Monitores de Perturbaciones: Los analizadores de perturbaciones y los monitores de perturbaciones conforman una categoría de instrumentos que se han desarrollado específicamente para las medidas de calidad de energía. Ellos pueden medir típicamente una amplia variedad de perturbaciones del sistema desde valores de duración muy corta hasta variaciones de larga duración. Las entradas necesarias pueden ser configuradas y los instrumentos pueden dejarse desatendidos para registrar las perturbaciones en un período de tiempo dado. Los monitores de potencia en línea, pueden ser básicamente divididos en cuatro categorías: Indicadores de Eventos, Monitores de Texto, Voltio/amperímetros Registradores y Monitores Gráficos.

Los Analizadores del Espectro y Analizadores de Armónicos: Los instrumentos en la categoría de analizador de perturbaciones tienen una capacidad muy limitada para el análisis de armónicos. Algunos de los analizadores más poderosos tienen módulos adicionales que pueden ser utilizados para realizar cálculos de la Transformada rápida de Fourier, (en inglés FFT) para determinar los armónicos de bajo orden. Sin embargo, cualquier medida significativa de armónicos, requerirá de

un instrumento que sea diseñado para el análisis de espectros o análisis de armónicos.

Combinación de Perturbación y Analizadores Armónicos: Algunos instrumentos combinan un muestreo armónico limitado y funciones completas para el monitoreo de energía como se muestra en la Figura 3.2. La salida es basada en gráficos y los datos se recogen remotamente a través de las líneas telefónicas en una base de datos central. El análisis estadístico puede ser entonces realizado en los datos obtenidos. Los datos también están disponibles para la entrada y manipulación en otros programas como las hojas de cálculo y otros procesadores gráficos.

2.3 Normativa aplicable a la calidad de servicio eléctrico.

El sistema eléctrico venezolano se encuentra regulado por un marco regulatorio donde se establecen las disposiciones del sistema eléctrico nacional, regulan la prestación del servicio eléctrico y los parámetros para garantizar un suministro eléctrico de calidad.

- Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (LOSSE) (2000)

[14], tiene por objeto:

“...establecer las disposiciones que regularán el sistema eléctrico y la prestación del servicio eléctrico en el territorio nacional, así como los intercambios internacionales de energía, a través de las actividades de generación, transmisión, despacho del sistema eléctrico, distribución y comercialización, en concordancia con el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional y el Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación”.

Artículo 5. Los usuarios del servicio eléctrico y los Poderes Públicos del Estado velarán por que todas las actividades del servicio eléctrico se realicen bajo principios de calidad, confiabilidad, eficiencia, transparencia, equidad, solidaridad,

no discriminación, participación ciudadana, sostenibilidad ambiental, y viabilidad económica y financiera.

1. Según el principio de calidad, las actividades del servicio eléctrico deben realizarse de acuerdo con las normas técnicas y comerciales que le sean aplicables, en consideración de los requerimientos suministro de electricidad y atención de cada tipo de usuarios. (...)

Artículo 26. Los usuarios del servicio eléctrico tienen, entre otros, los siguientes derechos:

1. Obtener el suministro de energía eléctrica de la empresa distribuidora concesionaria en el área geográfica donde estén ubicados.

2. Recibir la atención oportuna de sus reclamos, en primera instancia del proveedor del servicio eléctrico, en segunda instancia de la autoridad municipal, y en última instancia de la Comisión Nacional de Electricidad.

3. Organizarse para participar en la fiscalización de la calidad del servicio eléctrico, en coordinación con la autoridad fiscalizadora municipal;

4. Exigir y recibir del proveedor del servicio información completa, precisa y oportuna para la defensa de sus derechos.

5. Obtener de la empresa proveedora del servicio eléctrico una compensación adecuada cuando la calidad del servicio no cumpla con las normas de calidad del servicio eléctrico que dicte la Comisión Nacional de Electricidad, y el resarcimiento de los daños causados por fallas en el suministro de electricidad.

6. Los usuarios calificados podrán adquirir la potencia y energía eléctrica que requieran mediante contratos con generadores o comercializadores de electricidad.

7. Los demás que establezca esta Ley y su Reglamento y la legislación en materia de protección al usuario del servicio eléctrico.

Artículo 29. La Comisión Nacional de Electricidad deberá actuar bajo los principios siguientes:

1. Proteger los derechos e intereses de los usuarios del servicio eléctrico y de los agentes que realicen actividades del servicio eléctrico;

2. Promover la eficiencia, confiabilidad y seguridad en la prestación del servicio, y el uso eficiente y seguro de la electricidad;
3. Velar porque toda la demanda de electricidad sea atendida mediante un servicio eléctrico de calidad;
4. Promover la multiplicidad de actores en las actividades del servicio eléctrico en las que sea posible; regular los monopolios que deban establecerse en las que esa multiplicidad no asegure la prestación económicamente eficiente, y fomentar la participación privada en el ejercicio de todas ellas.
5. Asegurar el libre acceso de terceros a los sistemas de transmisión y distribución;
6. Asegurar la participación ciudadana en los procesos de regulación del servicio eléctrico y de las actividades del servicio eléctrico;
7. Coordinar sus actuaciones con las autoridades municipales competentes para la regulación del servicio eléctrico y la fiscalización de su calidad, de conformidad con esta Ley.

Artículo 56. Las empresas de distribución de electricidad tienen, entre otras, las obligaciones siguientes:

2. Prestar el servicio de manera regular, eficiente, no discriminatoria y dentro de los parámetros de calidad y atención a los usuarios, de acuerdo con esta Ley y con la normativa que a ese efecto dicte la Comisión Nacional de Electricidad.

- Normas de calidad del servicio de distribución de electricidad.

Reglamento de Servicio [15] establece las normas y condiciones que regirán las relaciones entre las distribuidoras y sus usuarios.

Artículo 1. El objeto de esta Resolución es establecer las Normas de Calidad del Servicio que deberán cumplir los agentes que desarrollen la actividad de distribución de electricidad, con la finalidad de garantizar a los usuarios un Servicio Eléctrico acorde con sus requerimientos y al menor costo posible. Alcance

Artículo 2. La Calidad del Servicio prestado por los agentes que desarrollen la actividad de distribución de electricidad, será evaluada en las siguientes áreas:

1. Calidad del Producto Técnico.
2. Calidad del Servicio Técnico.
3. Calidad del Servicio Comercial

Artículo 5. Calidad del producto técnico. Los aspectos de Calidad del Producto Técnico considerados son:

1. Nivel de tensión.
2. Perturbaciones de la onda de tensión.

Artículo 6. Niveles de Tensión. Para el establecimiento de los valores admisibles de variación de la tensión de suministro se considerarán los siguientes niveles de tensión:

1. ALTA TENSIÓN (Tensión \geq 69 kV)
2. MEDIA TENSIÓN (1 kV < Tensión < 69 kV)
3. BAJA TENSIÓN (Tensión \leq 1 kV)

Artículo 7. Variaciones de Tensión Permitidas. Las variaciones porcentuales permitidas de los niveles de tensión, medidos en los Puntos de Suministro, con respecto al valor de tensión nominal, son los siguientes:

Tabla 2. Variaciones de tensión permitidas. Fuente: [14]

Densidad del municipio	Variaciones
Alta tensión	+/- 5%
Media tensión	+/- 6%
Baja tensión- Muy alta densidad	+/- 6%
Baja tensión- Alta densidad	+/- 6%
Baja tensión- Mediana densidad	+/- 8%
Baja tensión- Baja densidad	+/- 10%
Baja tensión- Muy baja densidad	+/- 10%

Artículo 13. Las perturbaciones de la onda de tensión que serán objeto de control, serán las fluctuaciones rápidas de tensión (flicker) y la distorsión armónica.

La Distribuidora deberá:

1. Notificar al Regulador los niveles de perturbación que un Usuario en el uso del servicio puede generar o inyectar en el sistema de alimentación a través del Punto de Suministro, de acuerdo con los Artículos 15 y 16 de esta Resolución y a la Norma COVENIN que regule dicha materia.

La Distribuidora podrá interrumpir el servicio a los Usuarios que excedan los límites de emisión fijados, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico, su Reglamento, en el Reglamento de Servicio y demás Normas Aplicables.

Artículo 14. Fluctuación Rápida de Tensión (Flicker). El nivel de referencia para Fluctuaciones Rápidas de Tensión, se establece mediante el Índice de Severidad (Pst) de la fluctuación rápida de tensión de corta duración, el cual no debe sobrepasar el valor $Pst=1$, definido como el umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia. El valor del Pst admisible para Puntos de Suministro de redes de Baja, Media y Alta Tensión, no puede exceder el cinco por ciento (5%) del Período de Medición.

Estas mediciones se realizarán en forma simultánea con las de niveles de tensión y las de distorsión armónica. Para la fiscalización de la fluctuación rápida de tensión, se medirá el Índice de Severidad presente en los Puntos de Suministro seleccionados de forma aleatoria en el Municipio, para las Campañas de Medición.

Artículo 15. Distorsión Armónica. Para la fiscalización de la Distorsión Armónica, se medirá la Tasa de Distorsión Total (TDT) de Tensiones Armónicas presentes en los Puntos de Medición seleccionados de forma aleatoria en el Municipio, para las Campañas de Medición.

La Tasa de Distorsión Total de Tensiones Armónicas será medida en valor eficaz y no deberá ser mayor del ocho por ciento (8%) durante más de un cinco por ciento (5%) del tiempo total del período de medición.

Estas mediciones se realizarán en forma simultánea con las de niveles de tensión y las de Fluctuación Rápida de Tensión.

La Tasa de Distorsión Total de Tensiones Armónicas se calcula como:

$$TDT = \sqrt{\sum_{i=2}^{25} \left(\frac{U_i}{U_1}\right)^2} \times 100$$

Dónde:

U_i : amplitud de la tensión de la armónica de orden i ;

U_1 : amplitud de la tensión fundamental.

i : armónica considerada, desde el orden 2 hasta el orden 25.

Norma Venezolana Servicios Eléctricos: Indicadores de calidad de servicio técnico (2004) [16].

5. Indicadores de calidad de servicio técnico

5.1 Indicadores por alimentador

5.1.1 Frecuencia media de interrupción por kVA instalado (FMIK)

$$FMIK_j = \frac{\sum_{i=1}^n kVAfs(i)_j}{kVAinst_j}$$

Donde:

Σ : Sumatoria de las interrupciones “ i ” del alimentador “ j ” debido a causas internas o externas, durante el periodo de control.

$kVAfs(i)_j$: Cantidad de los kVA de los transformadores fuera de servicio en la interrupción “ i ” del alimentador “ j ”

$kVAinst_j$: Cantidad de los kVA nominales instalados en el alimentador “ j ”.

5.1.2 Tiempo total de interrupción de kVA instalado (TTIK)

$$TTIK_j = \frac{\sum_{i=1}^n kVA_{fs(i)j} \times T_{fs(i)j}}{kVA_{inst_j}}$$

Σ : Sumatoria de las interrupciones “i” del alimentador “j” debido a causas internas o externas, durante el periodo de control.

$T_{fs(i)j}$: Tiempo de interrupción de servicio eléctrico

$kVA_{fs(i)j}$: Cantidad de los kVA de los transformadores fuera de servicio en la interrupción “i” del alimentador “j”

kVA_{inst_j} : Cantidad de los kVA nominales instalados en el alimentador “j”.

5.2 Indicadores por usuario

5.2.1 Frecuencia de interrupción para el usuario

$$FIU_j = N_j$$

Donde,

FIU_j : Frecuencia de interrupción para el usuario “j” expresado en número de interrupciones durante un periodo de control.

N_j : Cantidad de interrupciones que han afectado al usuario “j” durante el periodo de control

5.2.2 Tiempo total de interrupción para el usuario ($TTIU_j$)

$$TTIU_j = \sum_{i=1}^{N_j} \left[\sum_{j=0}^{23} K_j \times T_{ij} \right]$$

Donde,

$TTIU_j$: Tiempo total de interrupción para el usuario “j” expresado en horas

K_j : Coeficiente asociado a la curva de carga del usuario

T_{ij} : Intervalo de tiempo en horas en que se divide cada interrupción

N_j : Cantidad de interrupción que ha afectado al usuario “j” durante el periodo de tiempo

5.3 Cantidad de interrupciones momentáneas

$$CIM = \frac{\sum_{l=1}^n lm * 100}{Km \text{ de línea}}$$

Donde,

CIM: Cantidad de interrupciones momentáneas, expresadas en interrupciones/ Km de línea

lm: Número de interrupciones momentáneas del circuito

n: número de circuitos del subsistema de distribución

Km de línea: Kilómetros de línea primaria de distribución totales instalados

5.4 Cantidad de reclamos técnicos

$$CRT = \frac{RR}{NS} * 1000$$

Donde,

CRT: Cantidad de reclamos técnicos, expresados en reclamos/1000 usuarios

RR: Número de reclamos de servicio técnico recibidos

NS: Número de usuarios

5.5 Tiempo de atención de reclamos técnicos

$$TAR = \frac{\sum_{i=1}^{RS} (Hsi - Hri)}{RS}$$

Donde,

TAR: Tiempo promedio de atención de reclamos técnicos, expresado en minutos/reclamos

Hsi: Hora en la que el servicio es normalizado

Hri: Hora en la que el reclamo de servicio es recibido por cualquier medio

RS: Número de reclamos solucionados (pp. 2-4)

FODONORMA 159:2008. Tensiones normalizadas del servicio eléctrico (2008) [17].

3. Definiciones

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones:

3.1 Alta tensión

Nivel de tensión mayor a 69 kV

3.2 Baja tensión

Nivel de tensión menor o igual a 1 kV

3.3 Calidad de producto técnico

Grado de cumplimiento de los valores admisibles de los niveles de tensión de fluido eléctrico y la forma de onda de la tensión suministrada por las empresas distribuidoras

3.4 Caída de tensión

Diferencia de tensión, debido a la impedancia del circuito eléctrico, entre un punto cualquiera del sistema con respecto a otro punto cercano a la fuente. Este valor puede expresarse en tanto por ciento con relación a la tensión nominal del sistema

3.5 Desbalance de tensión

Relación entre las componentes de secuencia negativa y positiva de las tensiones (V_-/V_+). Se puede calcular como la máxima diferencia que existe entre una de las fases de tensión y el promedio de las tensiones, dividido por este último valor. Se expresa en porcentaje

3.6 Frecuencia nominal

Valor nominal en Hertz (Hz) asignado al circuito o sistema para la denominación de su clase de frecuencia. Para efectos de esta norma es de 60 Hz.

3.7 Media tensión

Nivel de tensión mayor a 1 kV y menor a 69 kV.

3.8 Tensión nominal

Valor asignado al circuito o sistema para la denominación de su clase de tensión. La tensión real a la cual funciona el circuito varía dentro de una banda que permita un funcionamiento satisfactorio del equipo.

3.9 Tensión máxima

Máximo valor de la tensión que aparece en cualquier instante y en cualquier punto del sistema en condiciones normales de funcionamiento. Este valor excluye las variaciones momentáneas de las tensiones menores a 1 un minuto, así como aquellas maniobras en el sistema, causas accidentales o cambios bruscos del régimen de carga.

3.10 Tensión mínima

Mínimo valor de tensión que aparece en cualquier instante y en cualquier punto del sistema en condiciones normales de funcionamiento. Este valor excluye las variaciones momentáneas de las tensiones menores a 1 minuto, así como aquellas debidas maniobras en el sistema, causas accidentales o cambios bruscos del régimen de carga.

3.11 Variación de frecuencia

Diferencia entre los valores máximos y mínimos de la frecuencia del sistema en cualquier instante (medidos en Hertz) con respecto a la frecuencia nominal del mismo. Este valor se puede expresar en tanto por ciento, con su signo.

3.12 Variación de tensión

Diferencia entre la tensión máxima y la tensión mínima en un punto del sistema en un periodo de tiempo, con respecto a la tensión nominal. Este valor se puede expresar en tanto por ciento, con su signo.

3.13 Valores admisibles de la tensión

Límites de variación de la tensión para condiciones de régimen permanente de funcionamiento del sistema

3.14 Zona A

Tensiones comprendidas entre los límites establecidos para el punto de medición de energía suministrada por las empresas de suministro de energía eléctrica en condiciones normales de operación.

3.15 Zona B

Tensiones por encima y por debajo de los límites de la zona A, que resulta de las maniobras o emergencias en los sistemas de suministro de energía eléctrica.

4. Restricciones y límites aplicables a la CSE

4.1 Frecuencia

La variación de la frecuencia admisible debe ser de +/-1 % en régimen permanente y en condiciones normales de operación del sistema eléctrico.

4.2 Desbalance de tensión

4.2.1 Cálculo del indicador

$$\% \text{ de desbalance} = \frac{\text{Máx. Desviación}(D1, D2, D3)}{\text{Promedio}} \times 100$$

$$\text{Promedio} = \frac{(V1, V2, V3)}{3}$$

Desviaciones:

$$D1 = [(\text{Promedio} - V1)]$$

$$D2 = [(\text{Promedio} - V2)]$$

$$D3 = [(\text{Promedio} - V3)]$$

4.2.2 Limite

El máximo valor en porcentaje (%) del desbalance permitido es de un 2%

4.3 Tensiones normalizadas en baja tensión

4.3.1 Tensiones nominales

Las tensiones nominales de los sistemas deben cumplir con lo indicado en la tabla 1.

4.3.2 Límites permisibles de la tensión del sistema en el punto de medición

Los límites permisibles de la tensión del sistema en el punto de medición deben cumplir con los valores indicados en la tabla 2.

4.3.3 Nomenclaturas de las tensiones

La denominación de las tensiones se debe hacer de acuerdo con la columna de tensiones nominales de tensiones nominales establecidas en la tabla 3 con las referidas de la tabla 5.

4.4 Tensiones normalizadas en media tensión

4.4.1 Tensiones nominales de los sistemas de distribución hasta 69 kV

Las tensiones nominales de los sistemas de distribución hasta 69 kV deben cumplir con lo especificado en la tabla 3.

4.5 Tensiones normalizadas en alta tensión

4.5.1 Tensiones nominales de los sistemas mayores a 69 kV

Los valores de tensiones nominales de los sistemas mayores a 69 kV deben cumplir con lo indicado en la tabla 4.

4.6 Nomenclatura de las tensiones para los sistemas monofásicos de dos y tres hilos, derivados de sistemas trifásicos de media tensión

Las denominaciones de las tensiones deben estar de acuerdo a con la columna de tensiones nominales de las tablas 2 y 3, se debe utilizar la nomenclatura indicada en la tabla 5 y 6 para ramales de una fase, dos fases o dos fases y neutro.

4.7 Nivel de tensión

4.7.1 Cálculo de indicador

Las desviaciones del valor de la tensión medida respecto a su valor nominal se determinarán para un periodo de medición a través del indicador de Frecuencia Equivalente de Desviación de Tensión (FEDT), el cual representa la proporción en que la tensión medida se sitúa fuera de los límites permitidos. Este indicador se calculará con la siguiente fórmula:

$$FEDT = \frac{\sum_{i=1}^n CRMFBPT_i}{CTRM} \times 100\%$$

Donde:

CRMFBPT: Cantidad de registros de medición fuera de la banda permitida de tensión en el punto de medición

CTRM: Cantidad total de registros de medición

4.7.2 Límite

El indicador de Frecuencia Equivalente de Desviación de Tensión (FEFT) no debe superar el 3%.

Para la aplicación de este límite se recomienda que se haga con una medición con un mínimo de siete (07) días calendarios.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 3. Tensiones normalizadas en baja tensión. Fuente: [17]

Sistema		Tensión nominal	Campo de aplicación recomendado
Fases	N° de hilos	(V)	
Monofásico	2	120	Residencial
	3	120/240	Residencial, pequeño comercio y alumbrado público
	3	240/480	Alumbrado público y campos deportivos
	3	120/208	Residencia, comercial, edificaciones públicas y pequeñas industrias
Trifásico	4	208Y/120	Residencia, comercial, edificaciones públicas y pequeñas industrias
	3	240 Δ	Uso restringido
	4	480Y/277	Comercial, edificios públicos e industrial
	3	480 Δ	Industrial
	3	600 Δ	Industrial

Nota: Los usuarios se comprometen a establecer contacto con la empresa de servicio correspondiente a fin de conocer la tensión nominal que puede ser suministrada en la zona de utilización del equipo.

Tabla 4. Tensiones nominales y límites permisibles de la tensión de servicio en el punto de medición de los sistemas de distribución hasta 600V. Fuente: [17]

Tensión nominal (V)	Zona A		Zona B	
	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)	Tensión mínima (V)	Tensión máxima (V)
120	114	126	108	132
240 Δ	228	252 Δ	216 Δ	264 Δ
120/240	114/228	126/252	108/216	132/264
240/480	228/456	252/504	216/432	264/528
208Y/120	198Y/114	218Y/126	187Y/108	229Y/132
480Y/277	456Y/263	504Y/291	432Y/249	528Y/305
480 Δ	456	504	432	528
600 Δ	570	630	540	660

FODONORMA 3842:2004. Control de armónicos en sistemas eléctricos

Armónico

La componente sinusoidal de una onda periódica a una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental (60 Hz). Por ejemplo, una componente de frecuencia al triple de la frecuencia fundamental es llamado tercer armónico que sería $3 * 60$ o 180 Hz (véase figura 2).

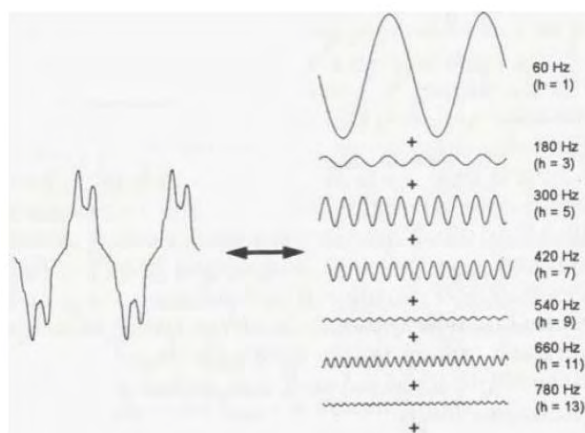


Figura 2. Descomposición en diferentes frecuencias de una onda distorsionada

Por lo tanto, en un sistema de potencia a 60 Hz, una componente armónica h , es una senoide que tiene una frecuencia expresada como (véase ecuación 1):

$$h = n * 60 \text{ Hz (Ec. 1)}$$

Donde,

n : es un número entero positivo.

h : componente armónica.

Estas componentes de frecuencia distorsionan la tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando fallas en condensadores, transformadores, conductores neutros, motores, operación errática de relés, etc.

Armónicos Característicos

Aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal.

En un convertidor de seis pulsos, los armónicos característicos son los armónicos impares diferentes a los múltiplos de tres, por ejemplo, los 5th, 7th, 11th, 13th, etc.

$$h = k * q \pm 1 \text{ (Ec. 2)}$$

Donde,

h : orden del armónico.

k : número entero.

q : números de pulsos del convertidor.

Armónicos No Característicos

Armónicos que no son producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal.

Estos pueden ser el resultado de frecuencias oscilatorias; una demodulación de armónicos característicos y la fundamental; o un desbalance en los sistemas de potencia CA, el ángulo de retardo asimétrico, o el funcionamiento del ciclo convertidor.

Armónico "Cero" o Componente "cc"

El armónico de orden cero es aquel valor de tensión o corriente de un sistema de "ca" cuya frecuencia es 0 Hz.

Este fenómeno también es conocido como "Offset" o desplazamiento de la onda de "ca" de su eje natural. Este fenómeno puede ser provocado por perturbaciones geomagnéticas, problemas de puesta a tierra y en ocasiones por inadecuada operación de rectificadores o convertidores de energía tales como ASD, VFD, VSD, etc.

Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi)

Índice usado para medir la distorsión de una onda periódica de corriente, con respecto a una onda sinusoidal de frecuencia fundamental. Este índice se obtiene de la relación entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor rms de cada armónico y el valor rms de la fundamental. Se expresa en porcentaje.

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} * 100\%$$

Donde,

THDi: Distorsión Armónica Total de Corriente.

Ih: Valor individual de cada componente.

I1: Valor fundamental (60 Hz).

h: orden del armónico.

h_{máx}: Armónico máximo (para esta norma h_{máx}:50).

Distorsión Armónica Total de Demanda (TDD)

Índice usado para medir la distorsión de una onda periódica de corriente, con respecto a la demanda máxima.

Este índice se obtiene de la relación entre la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor rms de cada armónico y el valor rms de la demanda máxima de la fundamental. Se expresa en porcentaje.

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} I_h^2}}{I_{1max}} * 100\%$$

TDD: Distorsión Armónica Total de Demanda.

Ih Valor individual de cada componente.

Ilmáx Valor fundamental (60 Hz) del valor máximo de demanda del período de medición.

h: orden del armónico.

hmáx: Armónico máximo (para esta norma hmáx: 50).

Factor de Calidad

Índice que se utiliza para el diseño y selección de filtros pasivos. Interesa conocer la reactancia inductiva o capacitiva en resonancia con la resistencia, donde se considera la frecuencia de sintonía y las frecuencias que establecen un nivel de atenuación. El factor de calidad "Q" utilizado para el diseño de filtros pasivos es:

$$Q = \frac{1}{R} * \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Donde,

Q: Calidad.

L: Inductancia.

C: Capacitancia.

R: Resistencia.

Factor de Cresta

Relación entre el valor pico de una onda y su valor rms. Por ejemplo: Para el caso de la tensión.

$$CF = \frac{V_{pico}}{V_{rms}}$$

Donde,

CF: Factor cresta.

Vpico: Valor de tensión pico.

Vrms: Valor de tensión rms.

Factor de Desplazamiento

Ángulo entre los fasores de la corriente y la tensión. Este ángulo es igual al ángulo del factor de potencia cuando no existe distorsión armónica, es decir, cuando la onda es puramente sinusoidal.

Interarmónicos

Señales de tensión o de corriente con frecuencias que no son múltiplos de la frecuencia fundamental. Los íterarmónicos son ocasionados principalmente por convertidores de frecuencia estáticos, ciclo convertidores, motores de inducción y dispositivos de arco eléctrico.

Potencia Armónica

Potencia debida a la contaminación en el sistema eléctrico, la cual fluye en sentido inverso a la potencia activa generada por la onda fundamental.

Distorsión de Tensiones Armónicas

Niveles de Compatibilidad

Esta norma fija los requisitos de niveles de compatibilidad tanto para redes públicas como no públicas e industriales, para una frecuencia de 60 Hz, en baja y media tensión. Para esto se clasifica el entorno electromagnético en tres clases. Los requisitos establecidos en esta norma se indican en la siguiente tabla.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 5. Niveles de Compatibilidad Redes Públicas, No Públicas y Sistemas

Industriales.

Clase 1: Se relaciona con el uso de equipos muy sensibles a perturbaciones de redes de suministro, por ejemplo instrumentos de laboratorios en instalaciones no públicas.	$THD_v \leq 5\%$
Clase 2: Esta clase se aplica a los puntos de conexión común y puntos de conexión en instalaciones públicas.	$THD_v \leq 8\%$
Clase 3: Esta clase se aplica solo a los puntos de conexión interior en entornos industriales. Se considera esta clase cuando se presenta alguna de las siguientes condiciones: la mayor parte de las cargas se alimenta a través de convertidores, presencia de máquinas de soldar, grandes motores con arranques frecuentes ó cargas que varían rápidamente.	$THD_v \leq 10\%$

Límites de Planificación

Los límites de planificación se deben cumplir tanto para realizar estudios de modificaciones e instalaciones nuevas, como estudios de evaluación de contenidos de distorsiones armónicas. Estos límites se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6. Límites de Planificación de Distorsión de Tensiones Armónicas.

Tensión Nominal (V_n)	Distorsión Individual de	Distorsión Total de Tensión (%) THD_v
$120 \text{ V} \leq V_n \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V_n \leq 138 \text{ kV}$	1,5	2,5
$V_n > 138 \text{ kV}$	1,0	1,5

2.4 Definiciones aplicable a la calidad de servicio eléctrico.

De acuerdo a lo expresado en el artículo 3 de [17], estas son algunas de las definiciones empleadas en la medición de la calidad del suministro eléctrico:

- **Alimentador:** Circuito de distribución en media tensión.
- **Alimentador de Alta Densidad:** Alimentador cuya densidad lineal de carga es mayor que 550 kVA/km y menor o igual que 1000 kVA/km.
- **Alimentador de Baja Densidad:** Alimentador cuya densidad lineal de carga es mayor que 75 kVA/km y menor o igual que 150 kVA/km.
- **Alimentador de Mediana Densidad:** Alimentador cuya densidad lineal de carga es mayor que 150 kVA/km y menor o igual que 550 kVA/km.
- **Alimentador de Muy Alta Densidad:** Alimentador cuya densidad lineal de carga es mayor que 1000 kVA/km.
- **Alimentador de Muy Baja Densidad:** Alimentador cuya densidad lineal de carga es menor o igual que 75 kVA/km.
- **Alta Tensión:** Nivel de tensión mayor o igual que 69 kV.
- **Baja Tensión:** Nivel de tensión menor o igual que 1 kV.
- **Causa externa:** Falla de calidad del servicio, atribuible a un prestador de servicio eléctrico distinto a La Distribuidora.
- **Causa interna:** Falla de calidad del servicio atribuible a La Distribuidora.
- **Calidad del Producto Técnico:** Grado de cumplimiento de los valores admisibles establecidos en esta Resolución, determinado por mediciones realizadas de los niveles de tensión del fluido eléctrico y la forma de onda de la tensión suministrada por La Distribuidora.

- **Calidad del Servicio Comercial:** Grado de cumplimiento de los lapsos establecidos en esta Resolución, en la atención de los requerimientos y reclamos de los Usuarios.
- **Calidad del Servicio Técnico:** Grado de cumplimiento de los valores admisibles establecidos en esta Resolución, determinado por las interrupciones del fluido eléctrico conforme a la frecuencia y duración de las mismas.
- **Capacidad Nominal de Transformación:** Capacidad de transformación expresada en kVA, de acuerdo con los datos de placa de los equipos.
- **Distorsión Armónica:** Distorsión de la forma de la onda de tensión o corriente alterna causada por armónicos, definidos como componentes sinusoidales, con frecuencia igual a múltiplos enteros de la frecuencia del sistema.
- **Fluctuación Rápida de Tensión (flicker):** Cambios de pequeña amplitud en los niveles de tensión ocurridos a una frecuencia menor de los 25 Hertz, originados por variaciones rápidas de carga que causan fluctuación de la luminancia.
- **Gran Demanda:** Potencia contratada mayor que 30 kVA .
- **Índice de Severidad (Pst):** Umbral de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de la población. kVA
- **La Distribuidora:** Empresa que ejerce la actividad de distribución de electricidad.
- **Media Tensión:** Nivel de tensión mayor que 1 kV y menor que 69 kV.
- **Pequeña Demanda:** Potencia contratada menor o igual que 30 kVA.
- **Período de Control:** Tiempo establecido por el Regulador para que La Distribuidora determine la Calidad del Servicio prestado en dicho lapso, que corresponderá a un determinado trimestre de un año calendario.
- **Punto de Medición:** Punto de la red de distribución seleccionado aleatoriamente por el Fiscalizador, en el que deberán realizarse las mediciones correspondientes a una campaña de medición.
- **Punto de Suministro:** Es aquél donde las instalaciones del Usuario quedan conectadas al sistema de La Distribuidora y donde se delimitan las responsabilidades de mantenimiento, guarda y custodia entre La Distribuidora y el Usuario.

- **Red Eléctrica:** Conjunto de conductores, equipos y accesorios empleados por la Distribuidora para suministrar el servicio eléctrico a los Usuarios, hasta el Punto de Suministro.
- **Tensión Nominal:** Nivel de tensión de diseño y de funcionamiento de un sistema eléctrico.
- **Usuario:** Persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación del servicio eléctrico, bien como titular de un contrato de servicio o como receptor directo del mismo, sujeta a los derechos y obligaciones que establece la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico, su Reglamento y demás Normas Aplicables.
- **Valores Admisibles de la Tensión:** Límites de variación de la tensión para condiciones de régimen permanente de funcionamiento del sistema. Variación de Tensión: Aumento o disminución del valor de la tensión de suministro respecto a la tensión nominal.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DE LA CSE DEL SISTEMA TROLCABLE

3.1 Caracterización del sistema

El sistema de transporte masivo Trolcable cuenta con dos estaciones para el traslado de personas a través de un sistema funicular compuesto por 20 cabinas con capacidad para ocho pasajeros. Este sistema cuenta con cuatro (04) transformadores distribuidos tres de ellos en la estación Domingo Peña, específicamente en la unidad de servicios normales, servicios generales y servicio Doppelmayr; mientras que el otro transformador se ubica en la estación San Jacinto.

Este sistema de transporte, recibe el suministro de energía eléctrica a través del estatal Corpoelec, que suministra energía a la estación Domingo Peña y San Jacinto a un nivel de 13.8 kV, que a su vez alimentan los circuitos de los módulos de transmisión diferenciados que se encuentran en cada estación.

En el caso de la estación Domingo Peña, cuenta con cuatro módulos de transmisión, de los cuales tres son independientes, el módulo 1 (Servicio Doppelmayr) y 4 (Servicios generales y servicios preferenciales) que reciben el suministro eléctrico a partir de la celda de protección de 13.8 kV; y los módulos 2 y 3 (servicios normales) reciben el suministro eléctrico de la línea de distribución de Corpoelec. El módulo 1 posee un transformador de tipo pedestal de 13.800/277-480V y 400kVA- 3F, se encuentra conectado a la celda de protección 13.8kV de la SEAT, con una demanda diversificada de 323 kVA y un tablero alimentador de 3x600A-22kA-480V. El módulo 2 cuenta también con un transformador tipo pedestal 13.800/120- 208V y 150kVA- 3F, con una demanda diversificada de 54.97kVA y un tablero alimentador de 3x400A-22kA-240V, el cual a su vez suministra energía al módulo 3. Por su parte el módulo 4 cuenta con un transformador tipo pedestal 13.800/120- 208V y 150kVA- 3F, con una demanda diversificada de 73kVA y un tablero alimentador de 3x500A-22kA-240V (Ver figura 3).

Por otra parte, la estación San Jacinto recibe suministro eléctrico desde una línea de distribución subterránea de 13.8kV para sus tres módulos y que posee un transformador tipo Pad Mounted de 13.800/120- 208V y 150kVA- 3F en el módulo 1, con una demanda diversificada de 103.1kVA y un breaker de corte 3x400A y 208V. Mientras que el módulo 2 corresponde al área de servicios normales y el módulo 3 al área de servicios generales y servicios preferenciales (Ver figura 4).

www.bdigital.ula.ve

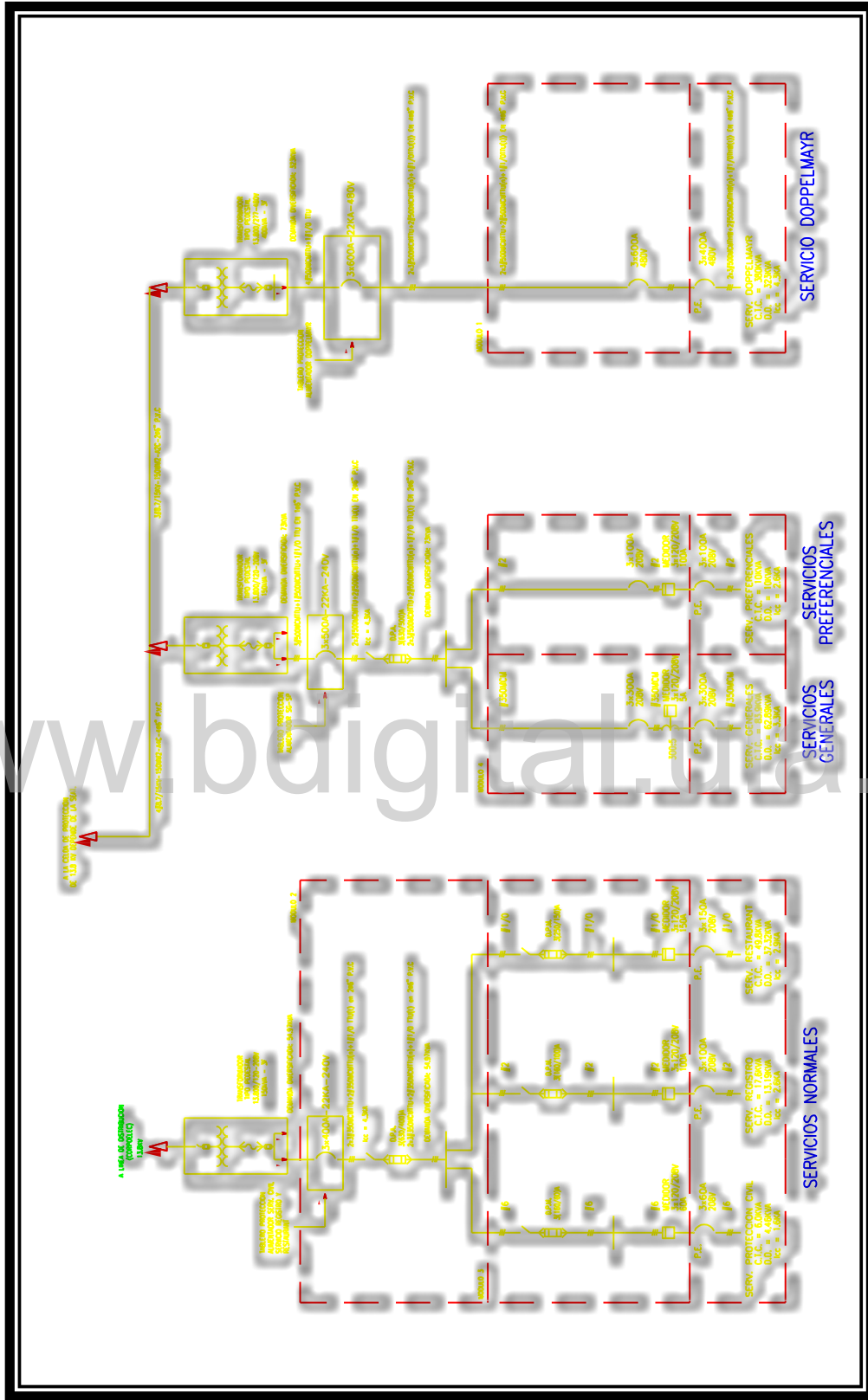


Figura 3. Diagrama unifilar estación Domingo Peña. Fuente: Elaboración propia

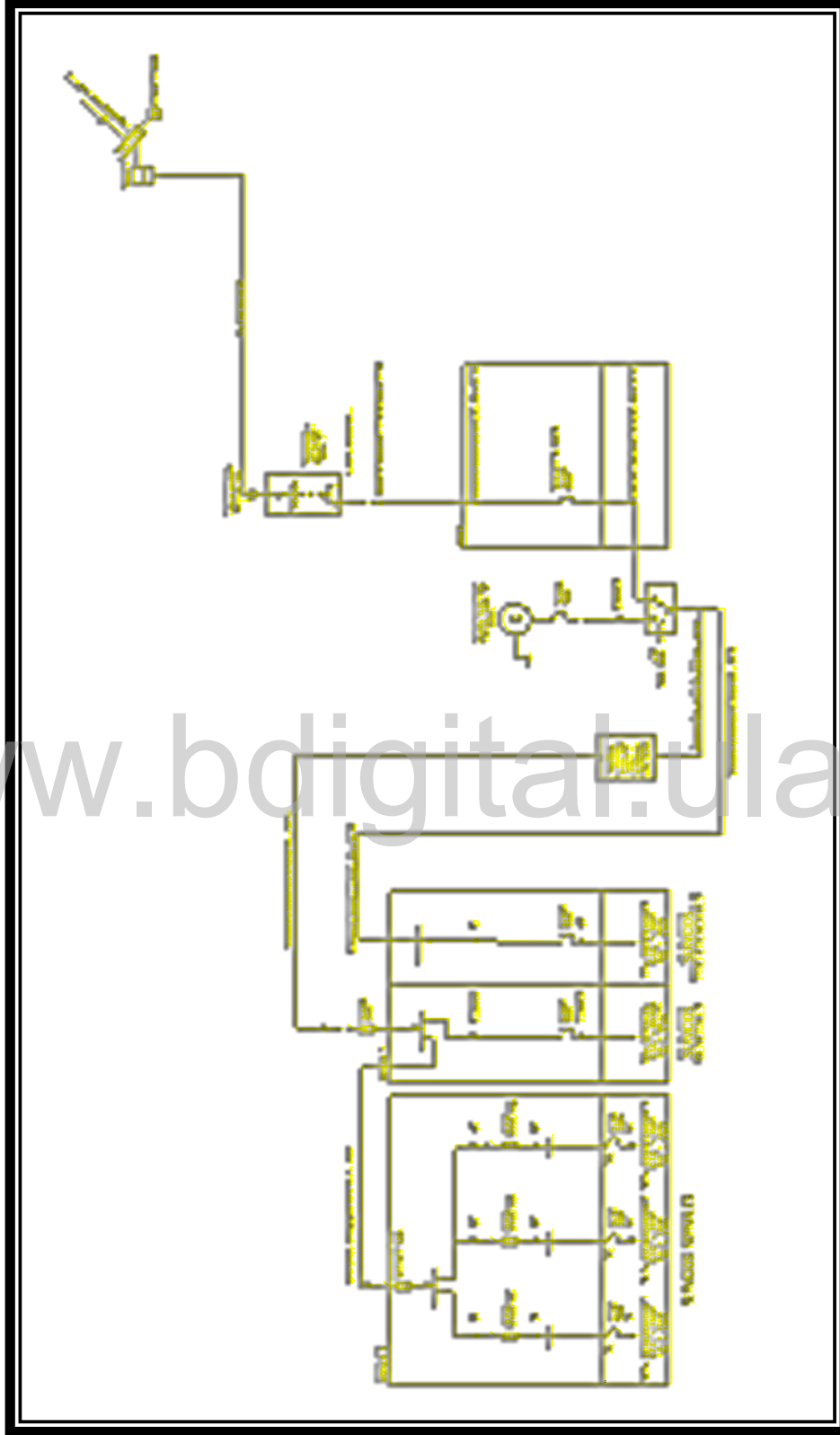


Figura 4. Diagrama unifilar estación San Jacinto. Fuente: Elaboración propia

3.2 Medición de la CSE

3.2.1 Descripción del equipo de medición

Las mediciones de la calidad del suministro eléctrico en el sistema de transporte Trolcable, fueron realizadas empleando un equipo analizador trifásico de calidad eléctrica y energía Fluke 430 serie II. Este analizador de energía y calidad de potencia trifásica ofrece un mejor análisis de la calidad eléctrica y presenta la habilidad de cuantificar las pérdidas de energía en términos monetarios.

Entre sus características principales se encuentran:

- Calculadora de pérdida de energía: Mediciones de energía activa y reactiva clásica, desequilibrio y potencia de armónicos son cuantificados para localizar pérdidas reales de energía en el sistema en dólares (otras divisas locales disponibles).
- Eficiencia de inversores de potencia: Mide simultáneamente la potencia de salida CA y la potencia de entrada CC para sistemas electrónicos de potencia usando la pinza CC opcional.
- Captura de datos PowerWave: Los analizadores 435 y 437 de la Serie II capturan rápidamente datos RMS, muestran medios ciclos y formas de onda para caracterizar las dinámicas de los sistemas eléctricos (arranques de generadores, conmutación de UPS, etc.).
- Captura de forma de onda: Los modelos 435 y 437 de la Serie II capturan 100/120 ciclos (50/60 Hz) de cada evento que se detecta en todos los modos, sin configuración.
- Modo automático de transitorios: Los analizadores 435 y 437 de la Serie II capturan datos de formas de onda de 200 kHz en todas las fases simultáneamente hasta 6 kV.
- Completamente compatible con la clase A: Los analizadores 435 y 437 de la Serie II realizan pruebas conforme a la exigente norma internacional IEC 61000-4-30 Clase A.
- Señalización de la red eléctrica: Los analizadores 435 y 437 de la Serie II miden interferencias causadas por señales de control de cargas a frecuencias específicas.
- Tendencia automática: Cada medición se registra siempre automáticamente, sin necesidad de configuración alguna.
- Monitor del sistema: Diez parámetros de calidad de potencia en una sola pantalla, de acuerdo con la norma de calidad de potencia eléctrica EN50160.
- Visualización de gráficos y generación de informes: Con el software de análisis incluido.

- El sistema de Medición de Potencia Eléctrica Unificada (UPM) patentado por Fluke proporciona la visión más completa de potencia eléctrica disponible, midiendo: Parámetros de Potencia Eléctrica Clásicos (Steinmetz 1897) y Potencia Eléctrica IEEE 1459-2000, análisis detallado de la pérdida y análisis de desequilibrio.
- UPM proporciona también detalles de la energía derrochada en la instalación debido a la presencia de armónicos.



Figura 5. Analizador de energía Fluke 430 serie II. Fuente: Manual del Equipo.

3.2.2 Descripción de las mediciones

En el siguiente estudio de Calidad del Energía Eléctrica se cumple con las mediciones necesarias para un estudio de Calidad dentro del establecimiento (El sistema de transporte masivo Trolcable), no obstante, el análisis presentado enfoca algunos parámetros adicionales dada la facilidad de obtención de datos registrados en el equipo de medición que cumple con los parámetros de Calidad de energía reguladas por CODELECTRA, basada en la propuesta de norma venezolana “Calidad de Energía”. Para cada una de las mediciones realizadas se contó con el equipo FLUKE 430 serie II, un Analizador de Redes que mide cada uno de los parámetros estipulados por CODELECTRA para un estudio de Calidad de Energía.

Se toma en consideración los valores dados en la regulación como valores ajustables en el momento de colocación del equipo de medición, los cuales servirán de valores referenciales incluso para mediciones en las que no se requiere todos los parámetros solicitados por el CODELECTRA y que en este estudio se ha hecho énfasis.

Las mediciones de la calidad del suministro eléctrico en el sistema de transporte Trolcable fueron realizadas en periodos distintos en los tres transformadores seleccionados, los cuales fueron:

- Transformador de tipo pedestal del módulo 1 (Servicio Doppelmayr) en la estación Domingo Peña. Periodo de medición: 27/07/2018 al 31/07/2018.
- Transformador de tipo pedestal del módulo 3 (Servicios Normales) en la estación Domingo Peña. Periodo de medición: 03/07/2018 al 07/07/2018.
- Transformador de tipo Pad Mounted conectado a la línea de distribución subterránea de la estación San Jacinto. Periodo de medición: 14/07/2018 al 18/07/2018.

En los periodos en cuestión, fueron obtenidas 576 mediciones en cada uno de los tres transformadores seleccionados, que fueron realizadas a través del empleo del equipo de monitoreo Fluke 430 serie II para posteriormente ser analizadas con el software Power Log 430 II versión 5.1.

3.2.3 Indicadores de la calidad del suministro eléctrico

1. Transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña (Archivo TCAB 41)

Tabla 7. Resumen de mediciones del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

Resumen de medición	
Número de mediciones	576
Primera medida	27/07/2018. 3:44:53 pm
Última medida	31/07/2018 3:44:53 pm
Registros de frecuencias	34.560
Tensión nominal	277V
Corriente nominal	300A
Frecuencia nominal	60Hz
Caídas de tensión	26
Subidas de tensión	0
Transitorios	4
Eventos de onda	30
Eventos RMS	30

De acuerdo a los resultados obtenidos en el resumen de mediciones del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña, en el periodo bajo estudio que corresponde al día 27/07/2018. 3:44:53 pm hasta el día 31/07/2018 3:44:53 pm, fueron realizadas 576 mediciones y 34.560 registros de frecuencias. En dichos registros se presentaron 26 caídas de tensión, ninguna subida de tensión, 4 eventos transitorios, 30 eventos de onda y 30 eventos RMS.

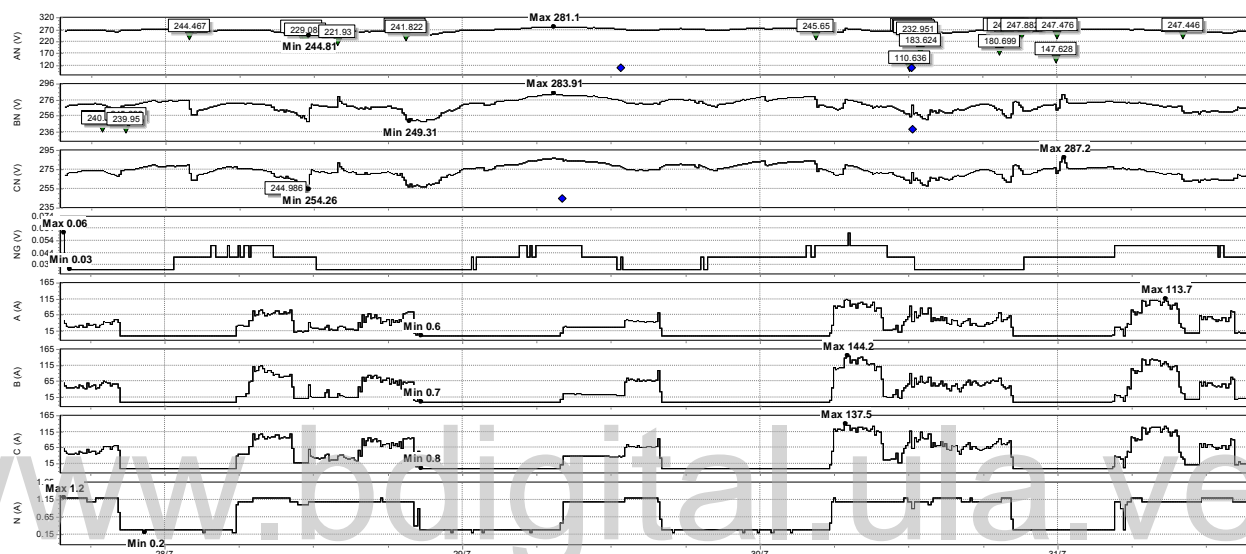


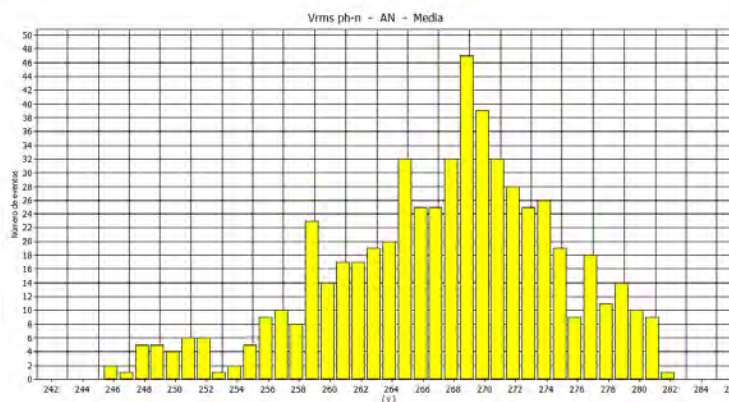
Figura 6. Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II

La figura 6 muestra el comportamiento de la tensión y la corriente del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña durante el periodo en estudio, en el cual se reflejan las caídas de tensión que se presentaron, así como los eventos transitorios durante el periodo de estudio. El gráfico muestra las fluctuaciones presentadas en la tensión de las tres fases y el neutral, en las cuales se evidencia fluctuaciones esporádicas o repetitivas, los 4 eventos transitorios registrados en la tensión, así como las 26 caídas de tensión registradas. En la primera fase el gráfico muestra que la tensión no presentó variaciones significativas, a diferencia de la segunda y tercera fase que presentó un comportamiento irregular con escalones en la tensión.

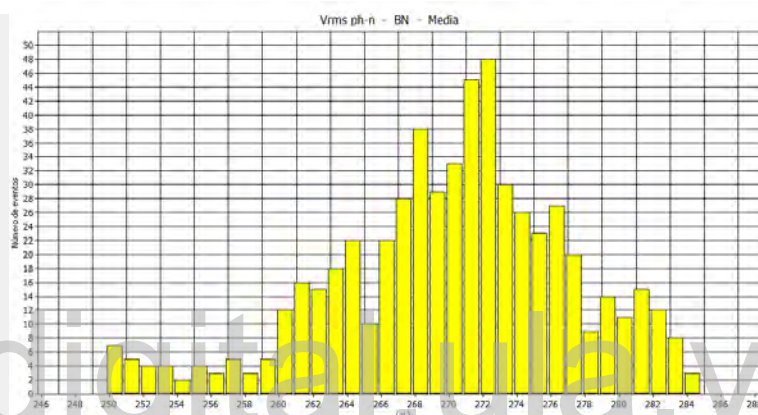
En cuanto a la corriente, se muestran pequeñas diferencias de corriente en las tres fases con cuatro interrupciones sostenidas en el periodo en estudio, así como fluctuaciones que generan picos y escalones en la forma de la onda, lo que sugiere la presencia de armónicos.

Resumen

Desde	27-07-2018 03:44:53 p.m.
Hasta	31-07-2018 03:44:43 p.m.
Valor máximo	281,1 V
En	29-07-2018 07:24:43 a.m.
Valor mínimo	244,81 V
En	28-07-2018 11:34:43 a.m.
μ (Med)	266,736 V
s	7,34303 V
5% percentil	251,8 V
95% percentil	278 V
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	97,74 %

**Resumen**

Desde	27-07-2018 03:44:53 p.m.
Hasta	31-07-2018 03:44:43 p.m.
Valor máximo	283,91 V
En	29-07-2018 07:24:43 a.m.
Valor mínimo	249,31 V
En	28-07-2018 07:44:43 p.m.
μ (Med)	269,577 V
s	7,06351 V
5% percentil	256,2 V
95% percentil	280,8 V
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %

**Resumen**

Desde	27-07-2018 03:44:53 p.m.
Hasta	31-07-2018 03:44:43 p.m.
Valor máximo	287,2 V
En	31-07-2018 12:34:43 a.m.
Valor mínimo	254,26 V
En	28-07-2018 11:34:43 a.m.
μ (Med)	273,844 V
s	6,50074 V
5% percentil	262,3 V
95% percentil	284 V
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %

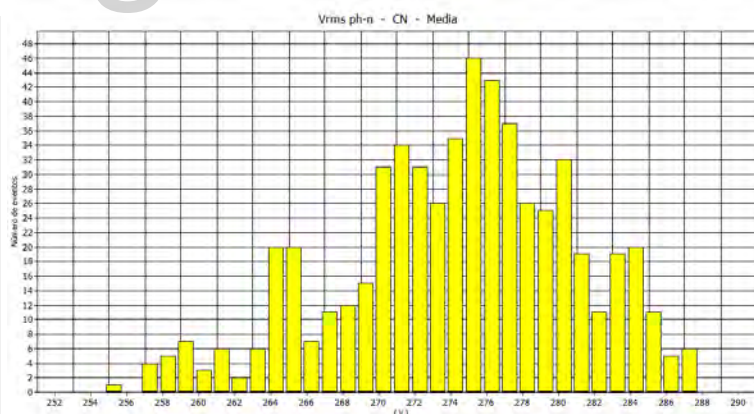
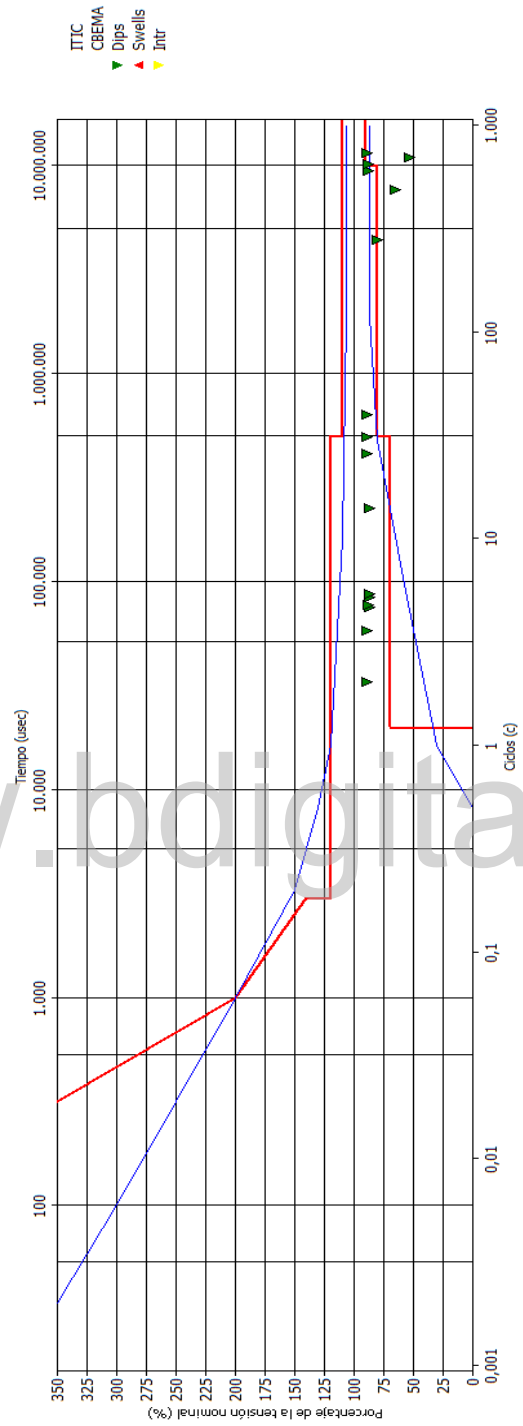


Figura 7. Estadísticas y gráfico de probabilidad normal del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

El resumen de estadísticas de la tensión registrada en el transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña en la figura 7, muestra que en la primera fase la tensión presentó valores alrededor de los 266,74V, registrándose un valor mínimo de 244,80V y otros eventos con valores mínimos extremos inferiores a los 247V. Mientras que el valor

máximo registrado fue de 281,10V, y otros eventos con valores extremos superiores a los 280V, con una desviación estándar de 7,34V. Por otra parte, se indica que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo de 278V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 251,80V, lo que sugiere una gran concentración de los registros alrededor del valor medio de tensión registrada. En el caso de la segunda fase, esta presentó una tensión promedio de 269,57, con un valor mínimo de 249,31V, mientras que el valor máximo registrado fue de 283,91V, con una desviación estándar de 7,06V. En el caso de los percentiles 95% y 5%, se obtuvo que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo de 280,8V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 256,2V, que sugiere una gran concentración de los registros alrededor del valor medio de tensión registrada, especialmente entre los 269V y los 280V.

Mientras que la tercera fase presentó una tensión promedio de 273,44V, con un valor máximo de 287,2V y un valor mínimo de 254,26V, con una desviación estándar de 6,50V. Y los resultados obtenidos en los percentiles, muestran que el 95% de los registros de tensión son inferiores a los 284V y el 5% de ellos inferiores a los 262,3V. En general se observa que la tercera fase presenta unos valores en la tensión superiores a las otras dos fases, con un valor de 273,44V, así como una mayor concentración de datos a la derecha de la media, por lo que puede afirmarse que los registros no presentan una distribución normal.



Tensión de pico (V%)	Duración [ms]			
U >= 120	t < 10	10 <= t <= 500	500 < t <= 5000	5000 < t <= 60000
120 > U > 110	0	0	0	0
	0	0	0	0

Tensión residual (V%)	Duración [ms]			
90 > U >= 80	t < 10	10 <= t <= 200	200 < t <= 500	500 < t <= 1000
80 > U >= 70	0	6	3	1
70 > U >= 40	0	0	0	0
40 > U >= 5	0	0	0	0
5 > U	0	0	0	0

Figura 8. Gráfico de huecos y picos del Transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 8 muestra los huecos y picos registrado en el Transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña, mediante una tabla de clasificación de gráficos de CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Association) e ITIC (Information Technology Industry Council). En la tabla de CBEMA (azul) e ITIC (rojo), están trazados los marcadores de curva de cada hueco y pico. La altura del eje vertical muestra la gravedad del hueco o del pico en relación con la tensión nominal. La posición horizontal muestra la duración del hueco o del pico. Estas curvas muestran la presencia de 16 depresiones en el voltaje en el periodo bajo estudio producto de las caídas de tensión y que son superiores a un ciclo.

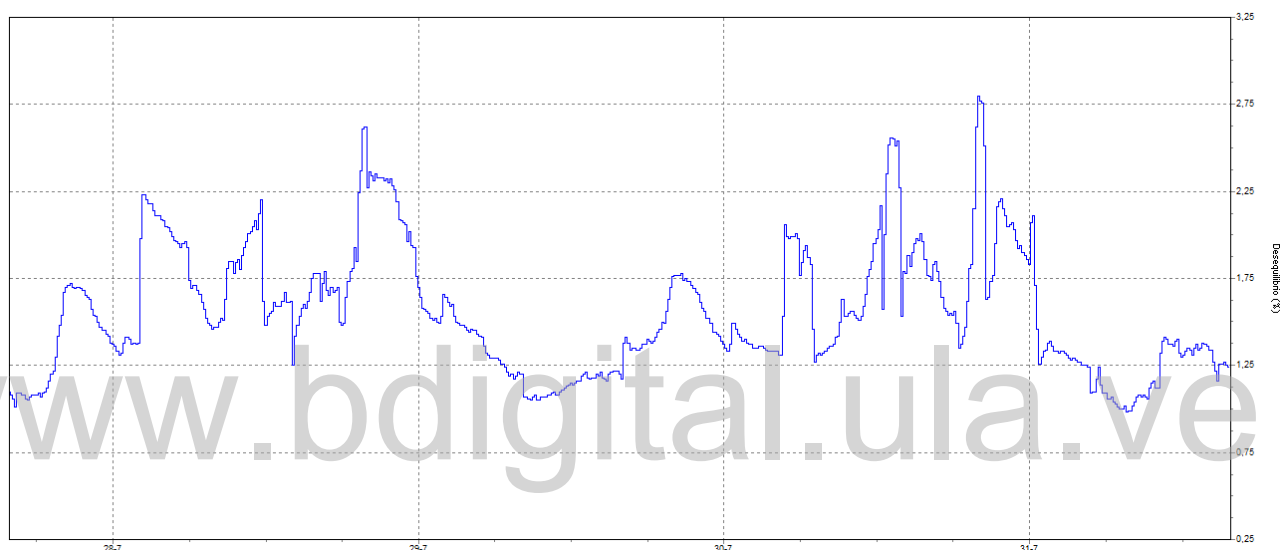


Figura 9. Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 9 muestra el gráfico de frecuencia/ desequilibrio en las tensiones del sistema multifásico, donde se muestra que estos desequilibrios se encuentran entre 0,8% y 2,8%, por lo que no se evidencia un desequilibrio de tensión en el sistema, ya que los valores son inferiores al 10%.

Para analizar nos ajustaremos a utilizar según la norma FONDONORMA 3898:2006 de Calidad de Energía Eléctrica. Fluctuaciones Rápidas de tensión. (Flicker) se puede evaluar con 2 parámetros:

Pst (corta duración evaluado sobre un período de 10 minutos). Si el Pst es superior a 1, se considera que afecta negativamente.

Plt: (larga duración evaluado sobre un período de 2 horas) no tienen dimensiones.

De acuerdo con las normas se analiza y encuentran los valores en las 3 líneas, el Pst tienen un promedio de valor mínimo de 0.03 y el Plt = 0, estos valores se encuentran dentro de la norma establecida por CODELECTRA, pero cabe aclarar que existen valores máximos para Pst y Plt que son los de Pst de las tres líneas son LA=1.93, LB=2.72 y LC=2.05 y los Plt de las líneas LA= 0.86, LB= 1.19 y LC= 0.9, estos valores se muestran en la figura 10, los cuales se encuentran fuera del rango que rige la Norma.

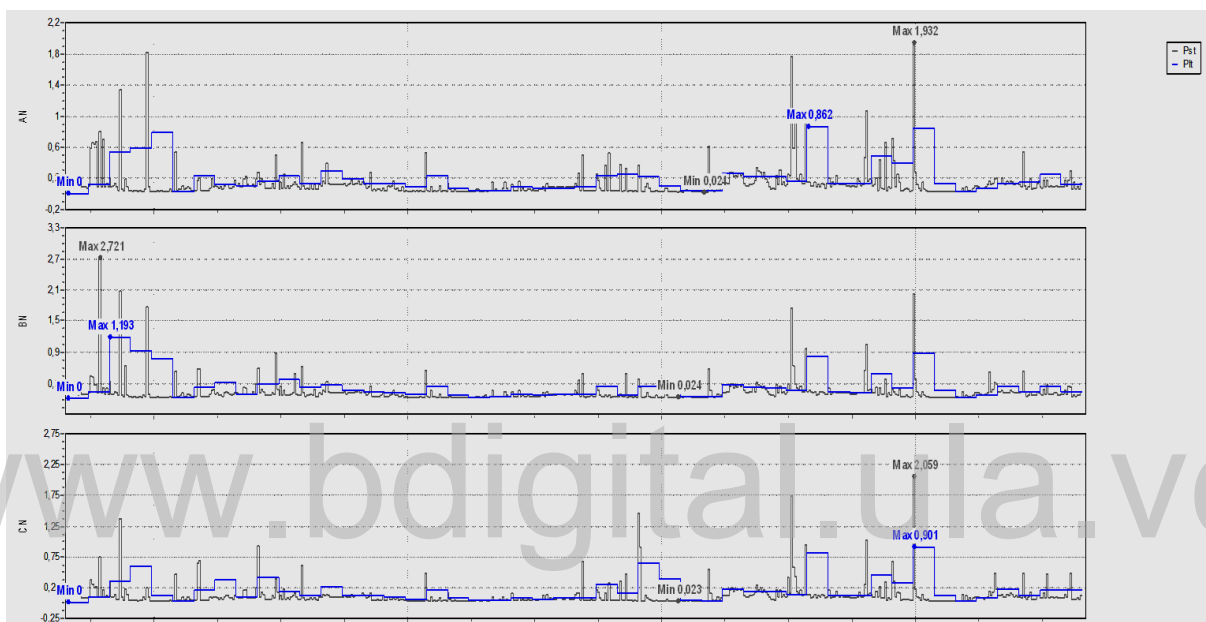


Figura 10. Detalle Evolución temporal FLIKER (Pst y Plt) del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

THD (Distorsión Armónica Total) es el índice utilizado para calcular el porcentaje de distorsión de la onda fundamental. La norma COVENIN 11:07-11 establece un límite en los armónicos de media y alta tensión que es responsabilidad de la compañía, para resolver problemas asociados a distorsiones armónicas en sistemas eléctricos ese límite está dado en porcentaje del 8.0 % del THDv donde la tendencia muestra cómo varían los armónicos y los parámetros relacionados en un intervalo de tiempo; Como se observa en las figuras 11 y 12 del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña, la presentación de los datos en histograma y evolución temporal de los armónicos de rango impar (3,5,7, ...), la forma de onda muestra distorsiones armónicas produciendo deformaciones de la señal.

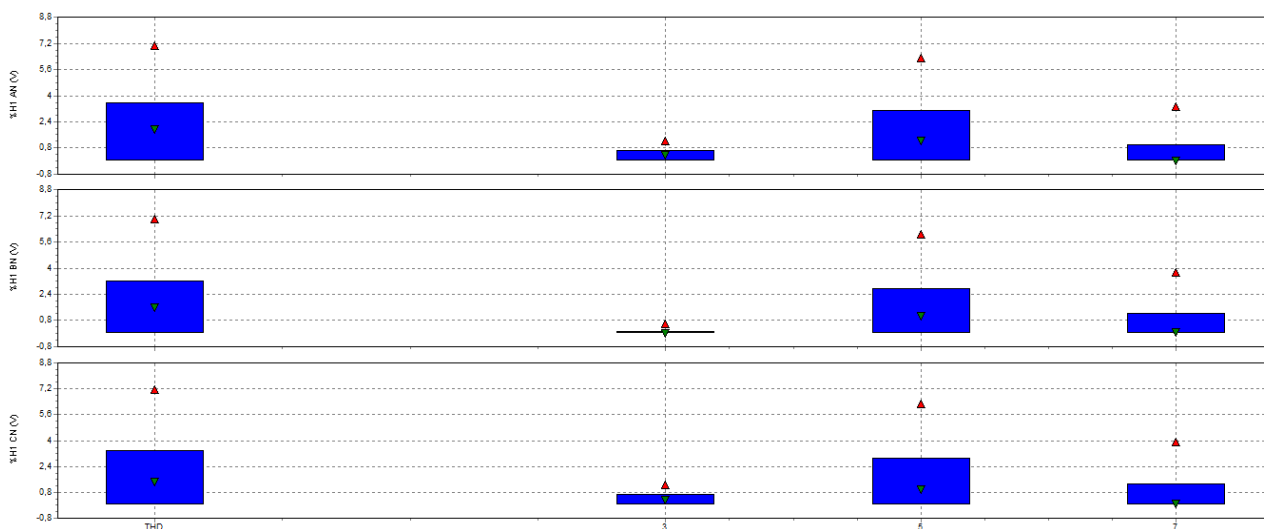


Figura 11. Histograma de armónicos de potencia del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

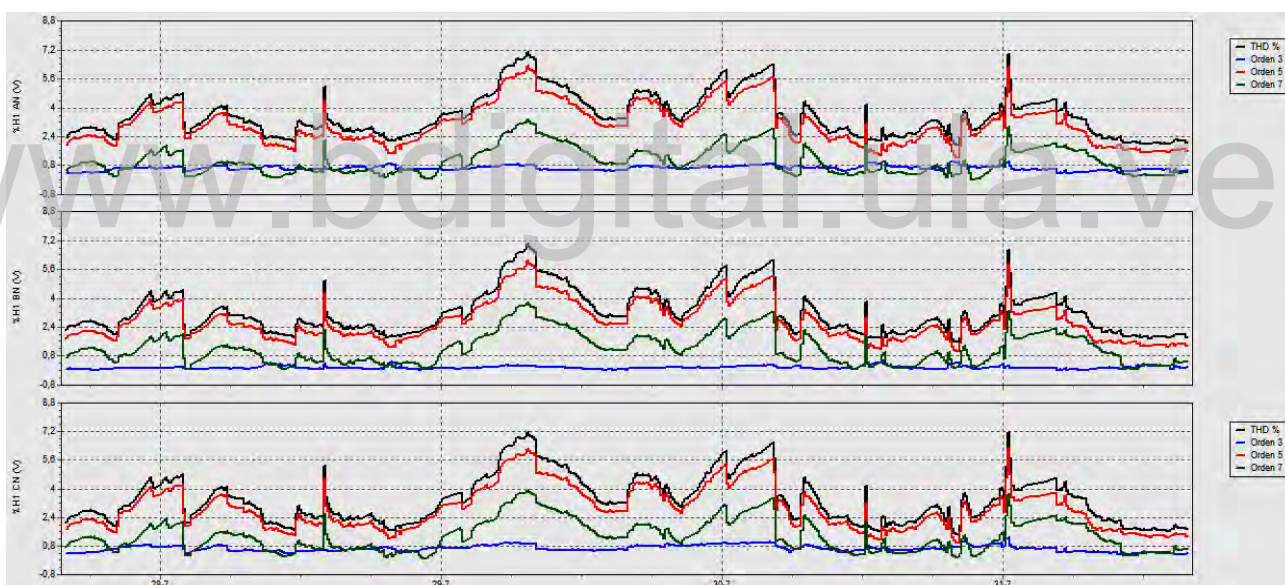


Figura 12. Evolución temporal de los armónicos de potencia del transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

2. Transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña (Archivo TCAB 51)

Tabla 8. Resumen de mediciones del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

Resumen de medición	
Número de mediciones	576
Primera medida	03/08/2018. 4:06:49 pm
Última medida	07/08/2018 04:06:39 pm
Registros de frecuencias	34.560
Tensión nominal	230V
Corriente nominal	300A
Frecuencia nominal	60Hz
Caídas de tensión	0
Subidas de tensión	0
Transitorios	5
Eventos de onda	5
Eventos RMS	5

De acuerdo a los resultados obtenidos en el resumen de mediciones del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña, en el periodo bajo estudio que corresponde al día 03/08/2018 4:06:49 pm hasta el día 07/08/2018 4:04:39 pm, fueron realizadas 576 mediciones y 34.560 registros de frecuencias. En dichos registros no se evidenciaron caídas de ni subidas de tensión, pero si 5 eventos transitorios, 5 eventos de onda y 5 eventos RMS.

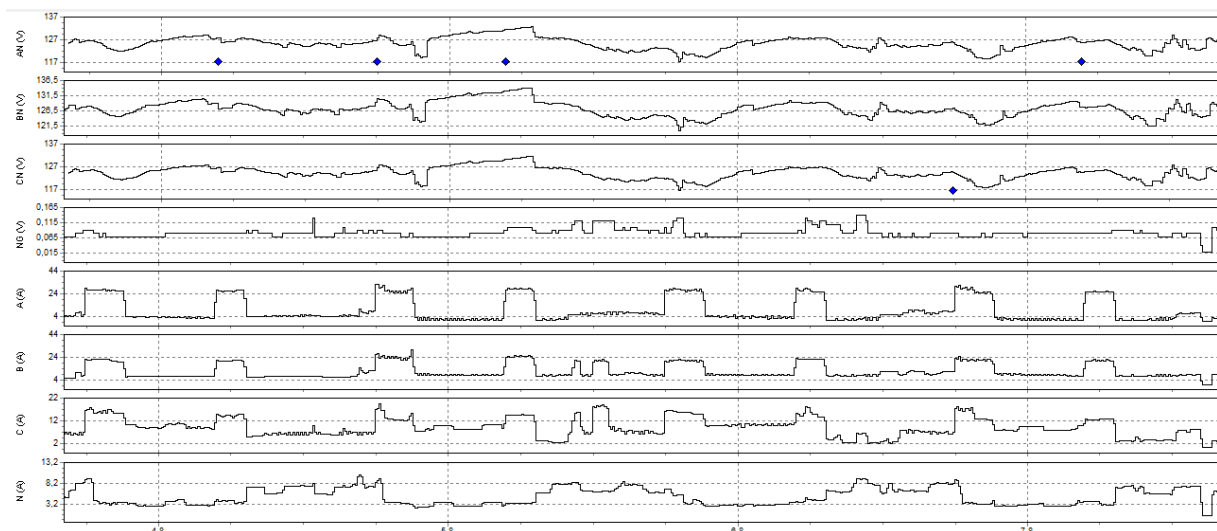


Figura 13. Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 13 muestra el comportamiento de la tensión y la corriente del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña durante el periodo en estudio, donde están presentes cinco eventos transitorios, aunque no hay evidencia de variaciones significativas en la tensión del transformador. En tal sentido, no hay presencia de caídas ni subidas de tensión para el periodo en estudio, aunque sí diferencias mínimas en la tensión de las tres fases, con una forma de onda que presenta algunos escalones.

En cuanto a la corriente, se muestran diferencias entre la primera y la segunda fase con respecto a la tercera, con comportamientos irregulares e interrupciones sostenidas en el periodo de estudio, así como picos y escalones que indican la presencia de armónicos.

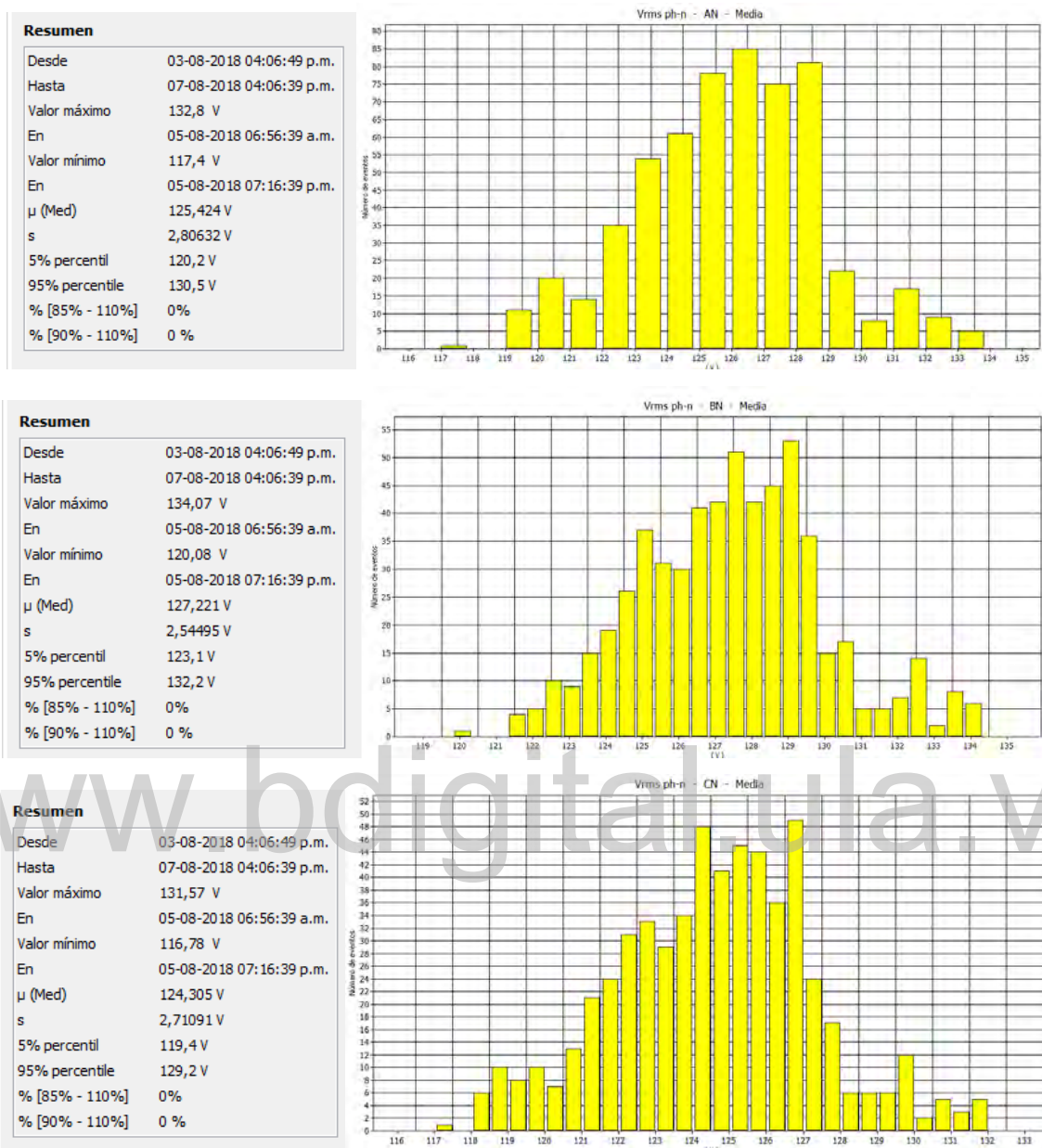


Figura 14. Estadísticas y gráfico de probabilidad normal del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

El resumen de estadísticas de la tensión registrada en el transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña en la figura 14, muestra que en la primera fase la tensión presentó valores alrededor de los 125.42V, registrándose un valor mínimo de 117,4V y otros eventos con valores mínimos extremos inferiores a los 117V. Mientras que el valor máximo registrado fue de 132,8V, con una desviación estándar de 2,80V

Por otra parte, se indica que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo de 130,5V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 120,2V, que indica una gran concentración de los registros alrededor del valor medio de tensión registrada. En el caso de la segunda fase, esta presentó una tensión promedio de 127,22V, con un valor mínimo de 120,08V, mientras que el valor máximo registrado fue de 134,07V, con una desviación estándar de 2,54V.

En cuanto a los percentiles, se obtuvo que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo de 132,2V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 123,1V que sugiere una gran concentración de los registros alrededor del valor medio de tensión registrada, especialmente entre los 123V y los 131V.

Finalmente, en la tercera fase presentó una tensión promedio de 124,305V, con un valor máximo de 131,57V y un valor mínimo de 116,78V, con una desviación estándar de 2,71V. Los resultados obtenidos en los percentiles, muestran que el 95% de los registros de tensión son inferiores a los 129,2V y el 5% de ellos inferiores a los 119,4V. En general se observa que la tensión registrada en este transformador muestra una mayor concentración de datos alrededor de la media, por lo que no hay una mayor incidencia en los valores máximos y mínimos registrados, lo que sugiere que los mismos poseen una distribución Normal.

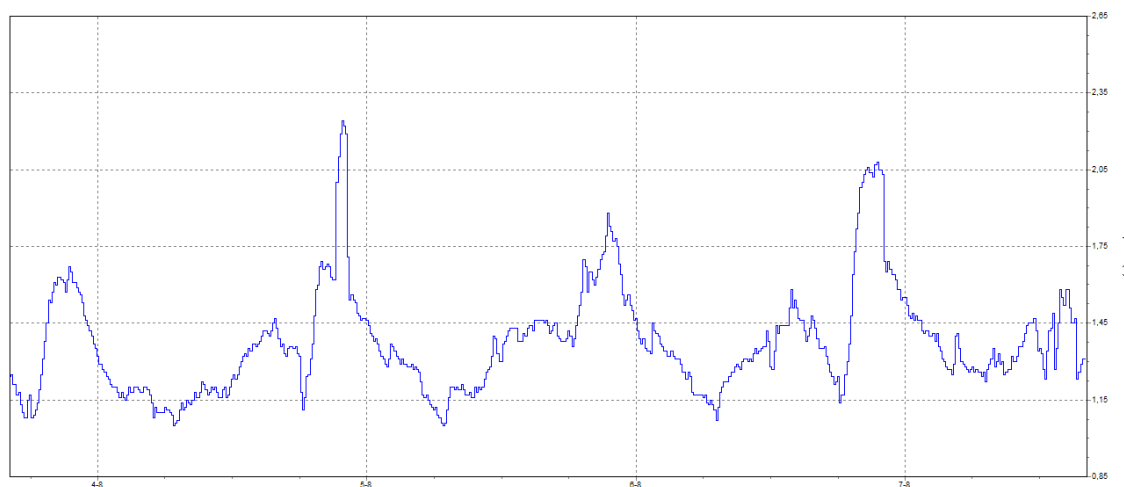


Figura 15. Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del Transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 15 muestra el gráfico de frecuencia/ desequilibrio en las tensiones del sistema multifásico, donde se evidencia la presencia de pequeños desequilibrios entre el 1,06% y 2,24%, sin embargo, valores son inferiores al 10%.

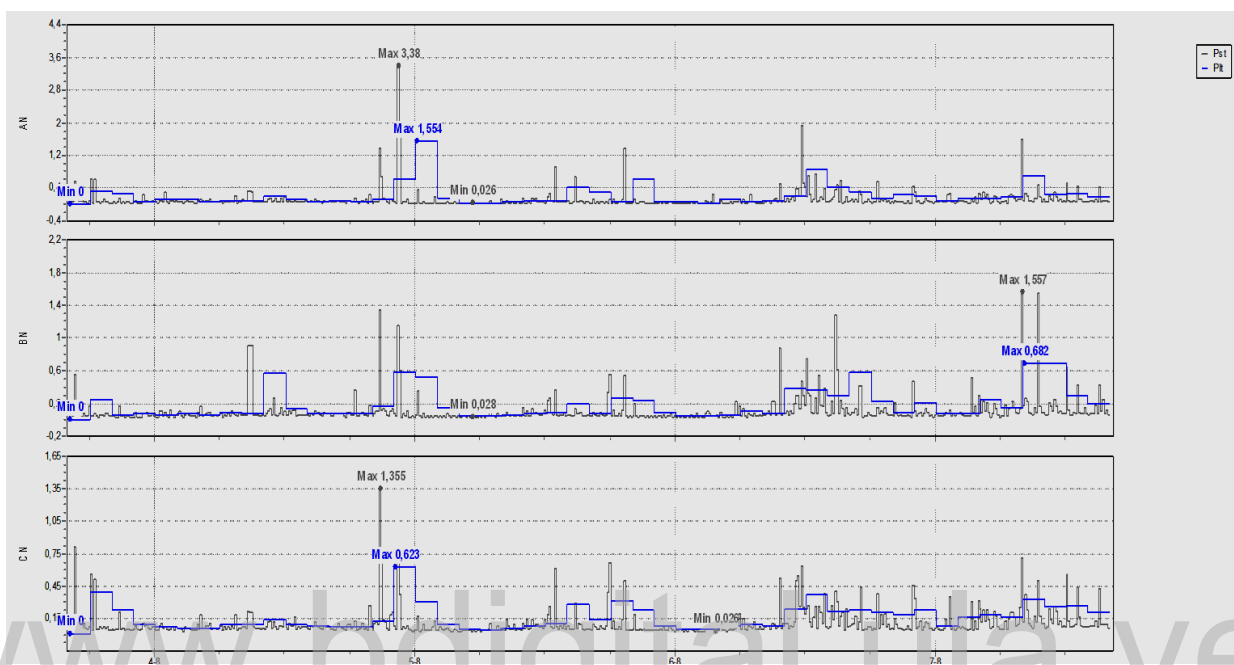


Figura 16. Detalle Evolución temporal FLIKER (Pst y Plt) del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

De acuerdo con las normas se analiza y encuentran los valores en las 3 líneas, el Pst tienen un promedio de valor mínimo de 0.03 y el Plt = 0, estos valores se encuentran dentro de la norma establecida por CODELECTRA, pero cabe aclarar que existen valores máximos para Pst y Plt que son los de Pst de las tres líneas son LA=3.38, LB=1.56 y LC=1.36 y los Plt de las líneas LA= 1.554, LB= 0.682 y LC= 0.623, estos valores se muestran en la figura 16, los cuales se encuentran fuera del rango que rige la Norma, donde se observan algunas fluctuaciones en la luminancia. En las tres fases, se observa la presencia de tres eventos de flicker superiores a Pst=1, que sobrepasan el umbral de irritabilidad.

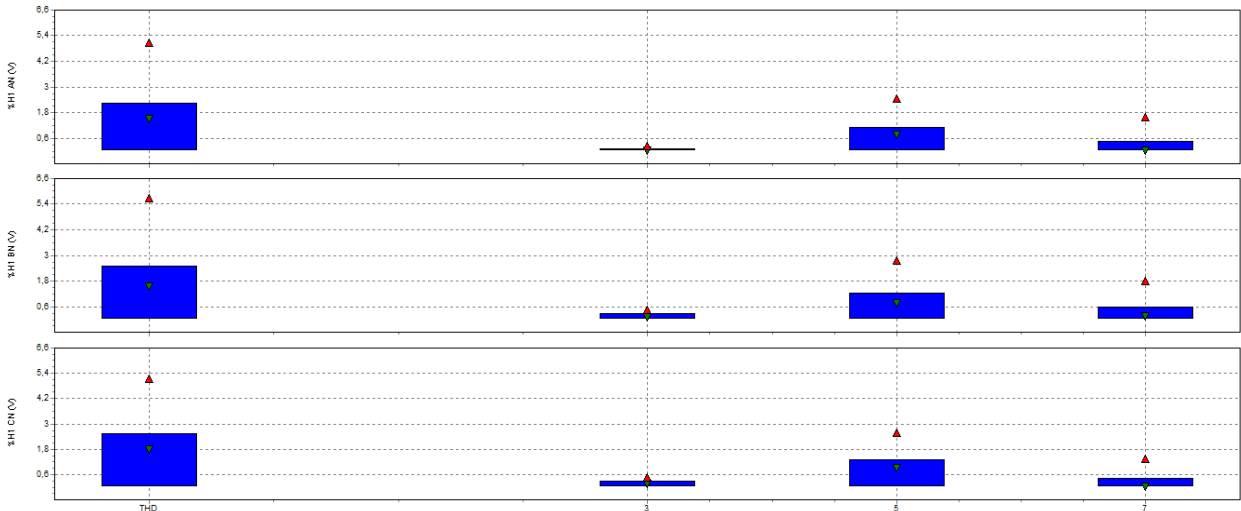


Figura 17. Histograma de armónicos para el transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

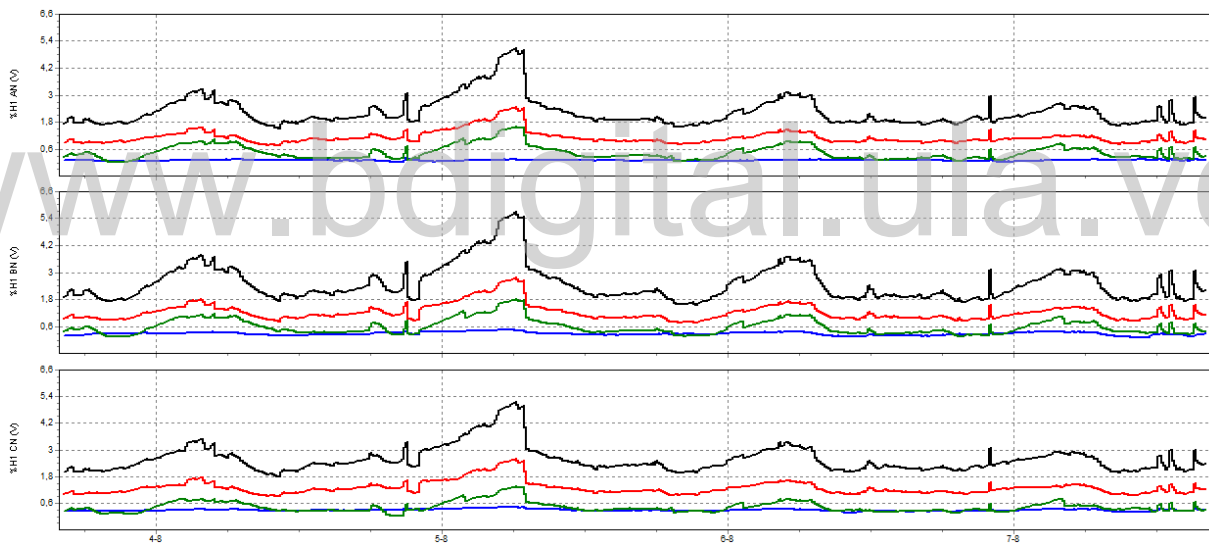


Figura 18. Evolución temporal de los armónicos de potencia del transformador de Servicios Normales en la estación Domingo Peña. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

3. Transformador en la estación San Jacinto (Archivo TCAB 51)

Tabla 9. Resumen de mediciones del transformador en la estación San Jacinto.

Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

Resumen de medición	
Número de mediciones	576
Primera medida	14/09/2018. 11:51:02 am
Última medida	18/09/2018 11:50:52 am
Registros de frecuencias	34.560
Tensión nominal	120V
Corriente nominal	300A
Frecuencia nominal	60Hz
Caídas de tensión	4
Subidas de tensión	9
Transitorios	0
Eventos de onda	13
Eventos RMS	13

De acuerdo a los resultados obtenidos en el resumen de mediciones del transformador de la estación Domingo San Jacinto, en el periodo bajo estudio que corresponde al día 14/09/2018 11:51:02 am hasta el día 18/09/2018 a las 11:50:52 am, fueron realizadas 576 mediciones y 34.560 registros de frecuencias. En dichos registros se presentaron 4 caídas de tensión, 9 subidas de tensión, ningún evento transitorio, 13 eventos de onda y 13 eventos RMS.

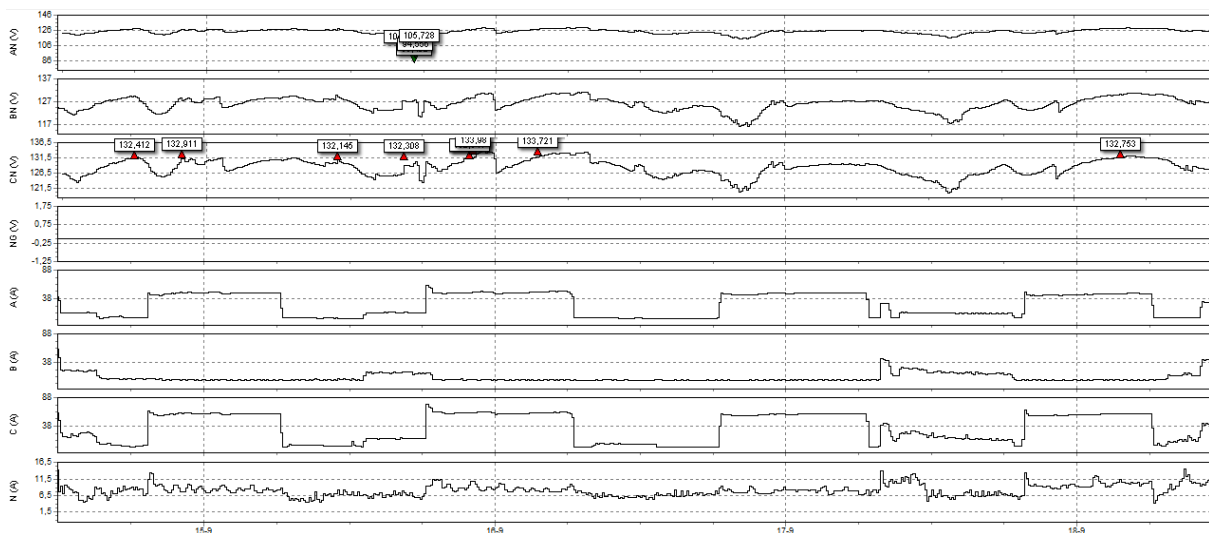
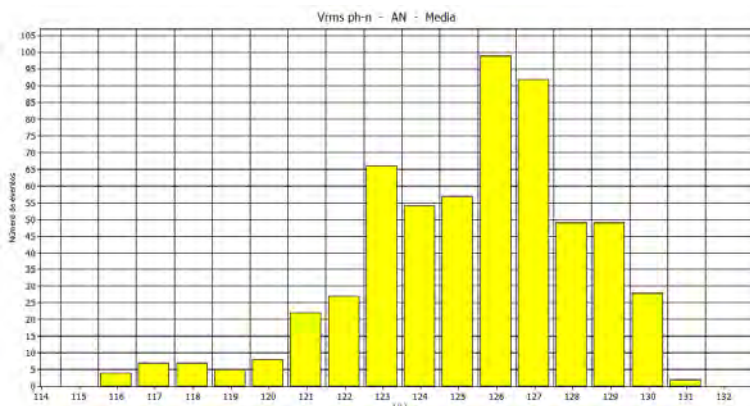


Figura 19. Gráfico de tiempo de tensión y corriente en los canales seleccionados del transformador en la estación San Jacinto. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

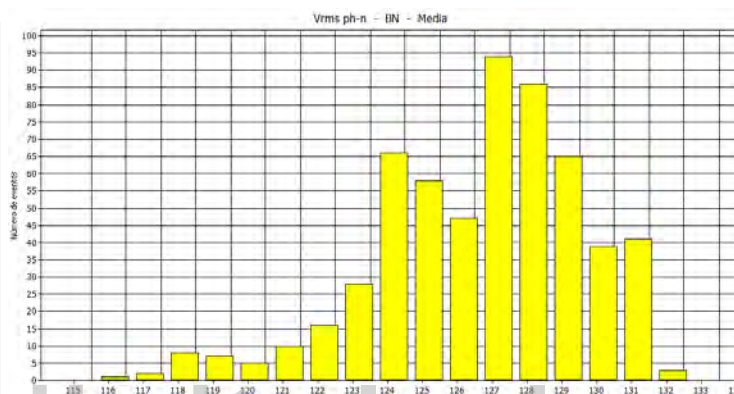
La figura 19 muestra el comportamiento de la tensión y la corriente del transformador de la estación San Jacinto durante el periodo en estudio, en el cual se reflejan las caídas y subidas de tensión que se presentaron, así como los eventos transitorios durante el periodo de estudio, de modo que la forma de la onda es irregular, especialmente en la segunda y tercera fase.

En la primera fase, los valores registrados en la tensión muestran un comportamiento regular, oscilando alrededor de la media presentada, con variaciones poco significativas, aunque en ella se presentaron caídas de tensión. En la segunda fase, se evidencian fluctuaciones esporádicas o repetitivas, pero están presentes caídas ni subidas de tensión. Mientras que, en la tercera fase, las fluctuaciones en la tensión son más evidentes, especialmente por la presencia de las nueve subidas de tensión que presentó el sistema. En cuanto a la corriente, se muestran pequeñas diferencias de corriente en las tres fases, así como interrupciones sostenidas en el periodo en estudio, con picos y escalones en la forma de la onda que sugiere la presencia de armónicos.

Resumen	
Desde	14-09-2018 11:51:02 a.m.
Hasta	18-09-2018 11:50:52 a.m.
Valor máximo	130,02 V
En	16-09-2018 07:30:52 a.m.
Valor mínimo	114,96 V
En	16-09-2018 08:20:52 p.m.
μ (Med)	124,823 V
s	2,85682 V
5% percentil	119,7 V
95% percentile	129 V
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %



Resumen	
Desde	14-09-2018 11:51:02 a.m.
Hasta	18-09-2018 11:50:52 a.m.
Valor máximo	131,3 V
En	16-09-2018 07:40:52 a.m.
Valor mínimo	116,19 V
En	16-09-2018 08:20:52 p.m.
μ (Med)	126,157 V
s	2,93349 V
5% percentil	120,9 V
95% percentile	130,5 V
% [85% - 110%]	100%
% [90% - 110%]	100 %



Resumen	
Desde	14-09-2018 11:51:02 a.m.
Hasta	18-09-2018 11:50:52 a.m.
Valor máximo	133,65 V
En	15-09-2018 11:10:52 p.m.
Valor mínimo	120,14 V
En	17-09-2018 01:40:52 p.m.
μ (Med)	128,446 V
s	2,66374 V
5% percentil	123,8 V
95% percentile	132,6 V
% [85% - 110%]	93,23%
% [90% - 110%]	93,23 %

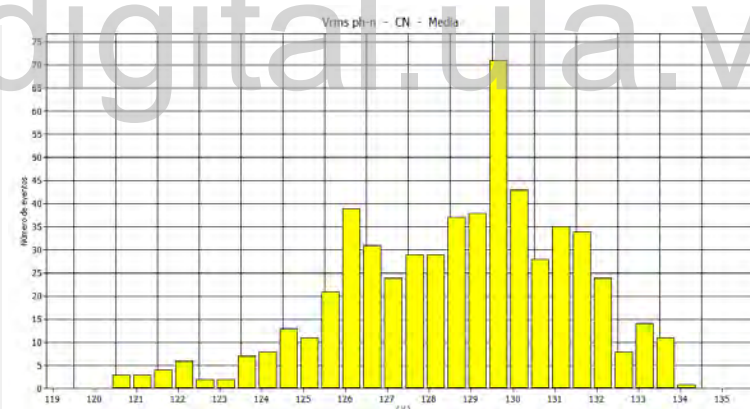


Figura 20. Estadística y gráfico de probabilidad normal del transformador en la estación San Jacinto.

Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

El resumen de estadísticas de la tensión registrada en el transformador de la estación San Jacinto en la figura 20, muestra que en la primera fase la tensión presentó valores alrededor de los 124,82V, registrándose un valor mínimo de 114,96V y otros eventos con valores mínimos extremos inferiores a los 116V. Mientras que el valor máximo registrado fue de 130,02V, y otros eventos con valores extremos superiores a los 129V, con una desviación estándar de 2,85V, Por otra parte, se indica que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo

de 129V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 119V, lo que sugiere una gran concentración de los registros a la derecha del valor medio de tensión registrada.

En el caso de la segunda fase, esta presentó una tensión promedio de 126,157V, con un valor mínimo de 116,19V, mientras que el valor máximo registrado fue de 131,3V, con una desviación estándar de 2,93V. En el caso de los percentiles 95% y 5%, se obtuvo que el 95% de los registros de tensión se encuentran por debajo de 130,5V, mientras que el 5% de los registros por debajo de los 120,9V, que sugiere una gran concentración de los registros a la derecha del valor medio de tensión registrada.

Mientras que la tercera fase presentó una tensión promedio de 128,446V, con un valor máximo de 133,65V y un valor mínimo de 120,14V, con una desviación estándar de 2,66V. Los resultados obtenidos en los percentiles, muestran que el 95% de los registros de tensión son inferiores a los 132,6V y el 5% de ellos inferiores a los 123,8V.

En general se observa una mayor concentración de datos a la derecha de la media, por lo que puede afirmarse que los registros no presentan una distribución normal, de modo que la presencia de valores extremos alejados de la media influye significativo en la distribución de los datos registrados.

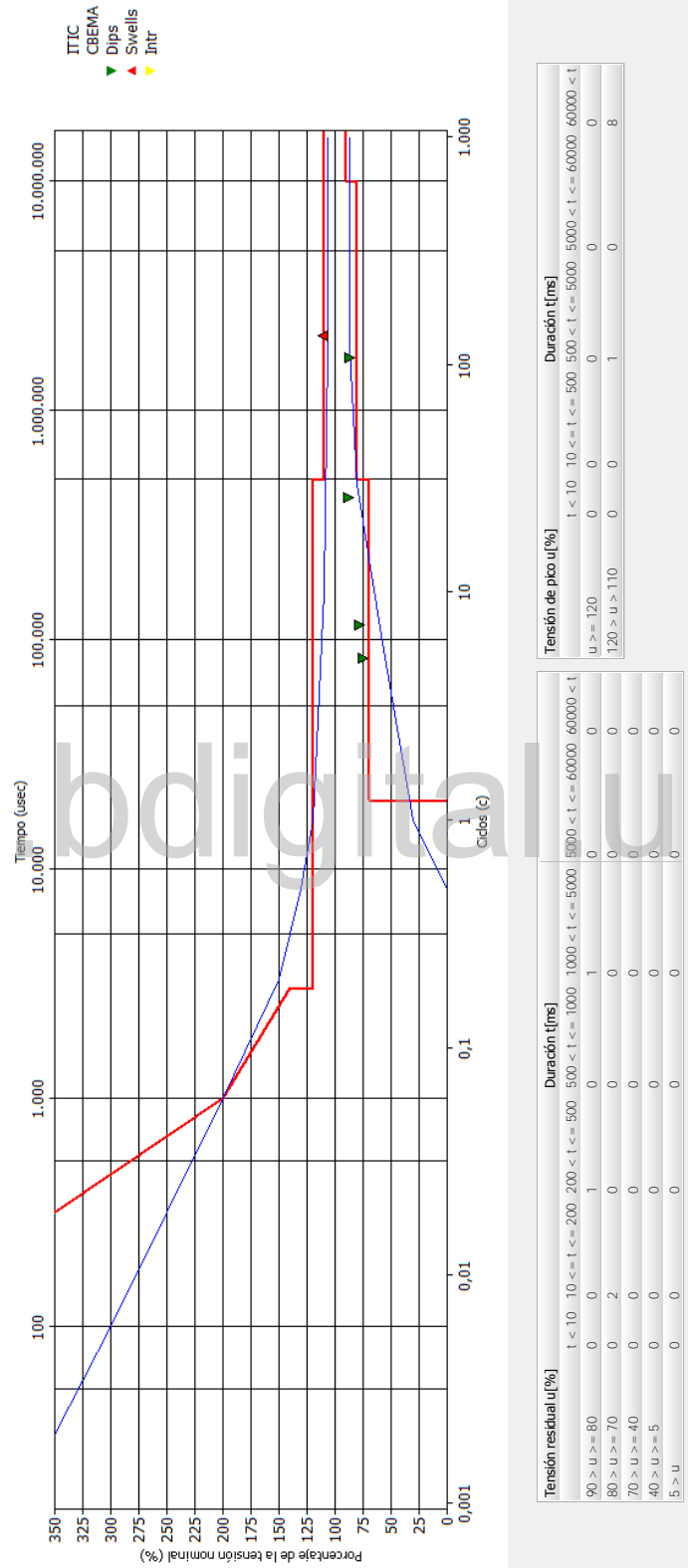


Figura 21. Gráfico de huecos y picos del transformador en la estación San Jacinto.

Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 21 muestra los huecos y picos registrado en el Transformador de Servicio Doppelmayr en la estación Domingo Peña, mediante una tabla de clasificación de gráficos de CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Association) e ITIC (Information Technology Industry Council). En la tabla de CBEMA (azul) e ITIC (rojo), están trazados los marcadores de curva de cada hueco y pico. La altura del eje vertical muestra la gravedad del hueco o del pico en relación con la tensión nominal. La posición horizontal muestra la duración del hueco o del pico. Estas curvas muestran la presencia de cuatro depresiones en el voltaje, así como una subida en el mismo que se presentaron en el periodo bajo estudio, siendo estas que son superiores a un ciclo.

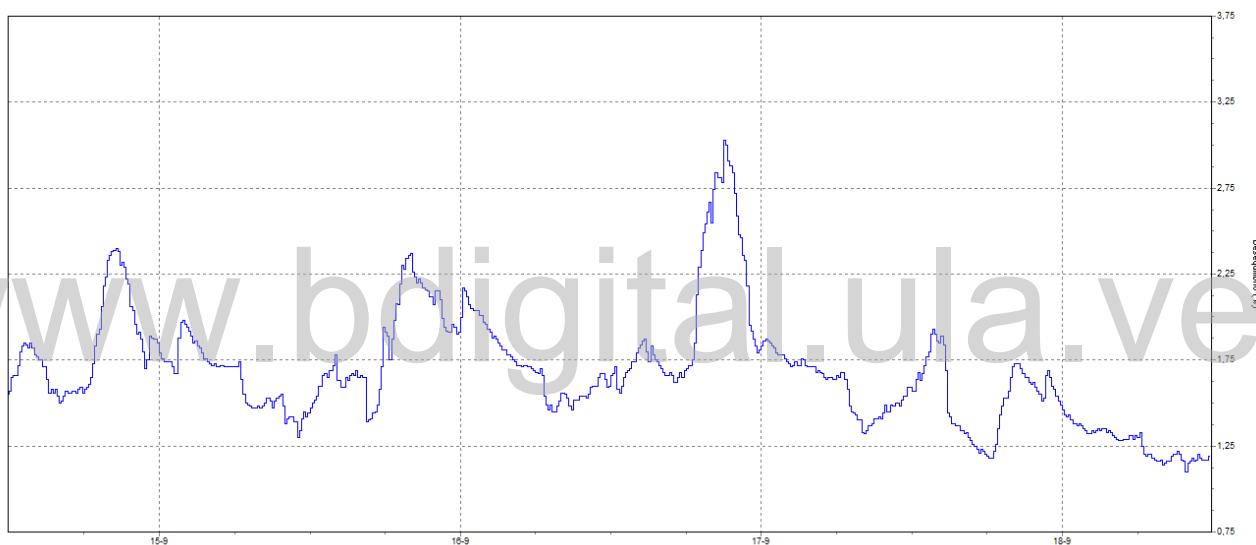


Figura 22. Gráfico de frecuencia/ desequilibrio del transformador en la estación San Jacinto.

Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

La figura 22 muestra el gráfico de frecuencia/ desequilibrio en las tensiones del sistema multifásico del transformador de la estación San Jacinto, donde se evidencia la presencia de pequeños desequilibrios entre el 1,1% y 3,03%, sin embargo, valores son inferiores al 10%, por lo que no se considera significativo para el sistema.

Norma FONDONORMA 3898:2006 de Calidad de Energía Eléctrica. Fluctuaciones Rápidas de tensión. (Flicker) se puede evaluar con 2 parámetros: Pst (corta duración evaluado sobre un

período de 10 minutos) y Plt: (larga duración evaluado sobre un período de 2 horas) no tienen dimensiones.

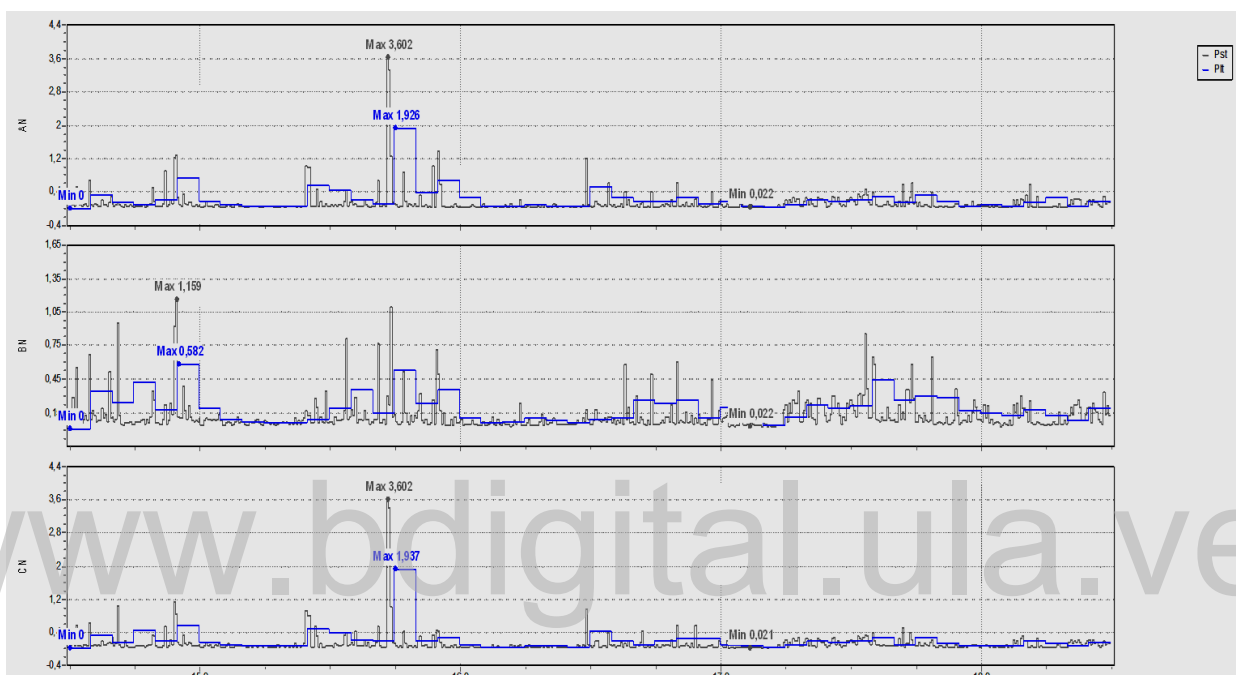


Figura 23. Detalle Evolución temporal FLIKER (Pst y Plt) del Transformador en la estación San Jacinto. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

De acuerdo con las normas se analiza y encuentran los valores en las 3 líneas, el Pst tienen un promedio de valor mínimo de 0.022 y el Plt = 0, estos valores se encuentran dentro de la norma establecida por CODELECTRA, pero cabe aclarar que existen valores máximos para Pst y Plt que son los de Pst de las tres líneas son LA=3.6, LB=1.2 y LC=3.6 y los Plt de las líneas LA= 1.93, LB= 0.582 y LC= 1.93, estos valores se muestran en la figura 23, los cuales se encuentran fuera del rango que rige la Norma, donde se observan algunas fluctuaciones en la luminancia, aunque solo una de ellas fue significativa, al superar el umbral de irritabilidad, con un valor de 3.602 en dos de las tres fases.

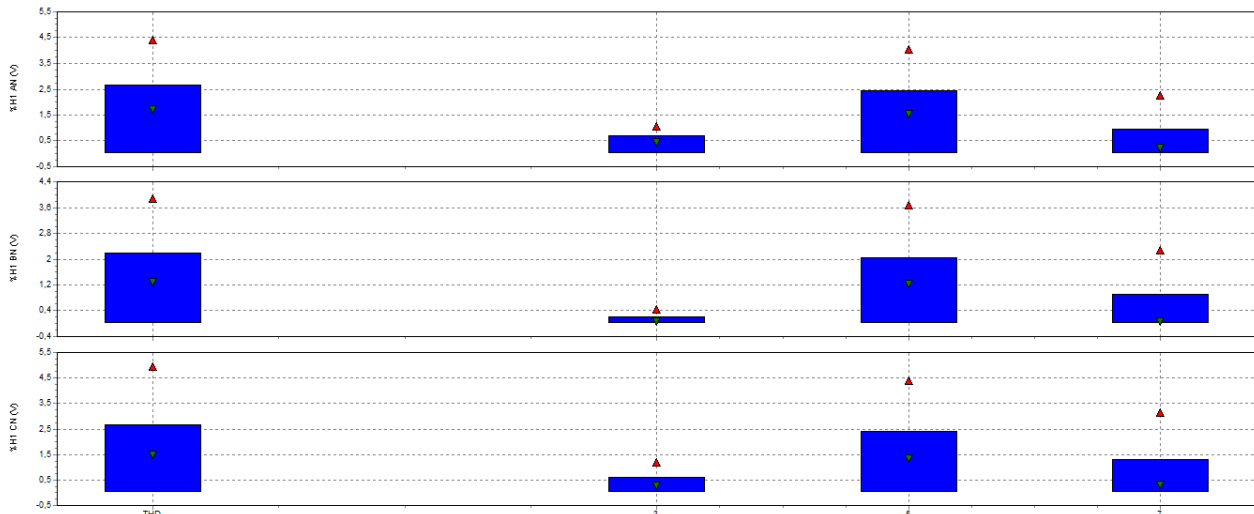


Figura 24. Histograma de armónicos del transformador de la estación San Jacinto.

Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

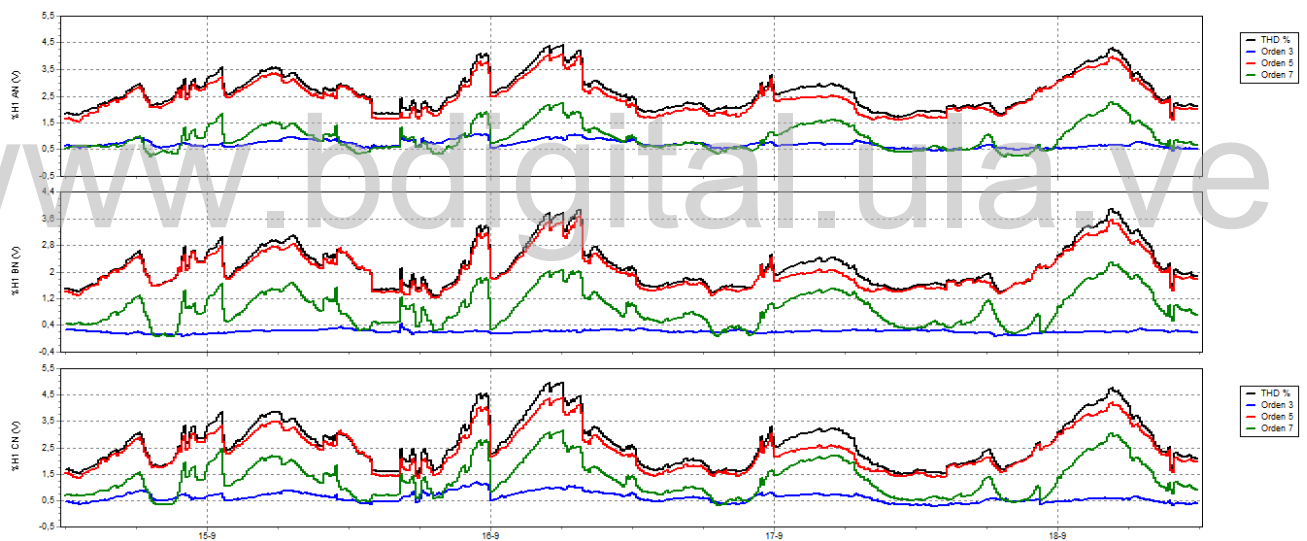


Figura 25. Evolución temporal de los armónicos de potencia del transformador de la estación San

Jacinto. Fuente: FLUKE 430 serie II - Power Log

3.3 Análisis de los Resultados y Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos en las mediciones de los parámetros eléctricos, correspondientes a los tres transformadores estudiados en el Sistema de transporte Trolcable

durante el periodo bajo estudio, se obtuvieron los siguientes resultados y recomendaciones correctivas para mejorar el sistema eléctrico y la calidad de la energía suministrada:

- Se evidenció que los resultados de los valores de tensión V_{rms} se encontraban fuera de los límites establecidos por la normativa eléctrica. Registrándose en los tres transformadores caídas o subidas de tensión sostenidas, y en consecuencia parámetros extremos que se alejaban de los valores nominales en proporciones superiores al 10%.

- La forma de la onda de tensión y corriente indica la presencia de armónicos en el sistema, además la distribución de los datos no es normal, debido a la presencia de valores extremos que se alejan de la media, por lo que los datos tienden a ubicarse a la derecha del valor promedio.

- Las tensiones de los sistemas presentan pequeños desequilibrios pero que no sobrepasan los límites establecidos en la normativa. También fue evidente en los tres transformadores la presencia de flicker, generando variaciones en la luminancia en el sistema.

- Se recomienda tener un control del consumo efectuando lecturas periódicas en el tablero principal, en las acometidas principales y preferiblemente al iniciar los ciclos de mayor demanda.

- Este control se puede realizar de manera diaria, semanal, mensual o anual, esta información se puede almacenar e ir comparar con el nivel de consumo de energía del suministro eléctrico en el sistema de transporte Trolcable ir realizándolas periódicamente en los distintos transformadores seleccionados.

- Se recomienda la instalación de filtros de armónicos con el propósito de compensar el flujo de potencia reactiva.

- Para diseñar este filtro es necesario simular por medio de un software la característica principal de consumo; el objetivo del proceso es determinar el filtro mínimo que desempeñe la labor de eliminación de armónicos que requerida.

CONCLUSIONES

Luego del desarrollo de la investigación, se obtuvo que los objetivos propuestos para la elaboración y desarrollo del presente proyecto de grado se cumplieron plenamente. Esto debido a que el análisis de los parámetros para la medición de la calidad del suministro eléctrico permitió determinar que los valores obtenidos en algunos casos se encuentran fuera de los límites establecidos por la normativa aplicable, los cuales se detallan a continuación:

Los niveles de tensión de los tres transformadores seleccionados, se encuentran dentro de los límites admisibles por CODELECTRA, basada en la propuesta de norma venezolana COVENIN, variación de tensión en los rangos +5% y 10%, por consiguiente, son aceptables. De acuerdo a los niveles de tensión el desbalance de tensión es aceptable.

Los armónicos son creados por cargas no lineales que absorben corrientes en impulsos bruscos en vez de hacerlo suavemente en forma sinusoidal. Estos impulsos crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

El análisis THD de voltajes y corrientes (representa el porcentaje de distorsión del voltaje y corriente RMS del neutro de este sistema) los valores se encuentran por encima de la norma CODELECTRA el porcentaje de la distorsión armónica máxima para el voltaje y corriente es de 8%, esto se debe a que el sistema cuenta con una mala conexión a tierra provocando fugas de corrientes parasitas que afectan al sistema interno de la red.

Las mediciones de Flicker que no son más que parpadeos de tensiones de corta y larga duración se encuentran fuera de la norma para un Pst y un Plt.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Contreras, E. (2003) Evolución y aplicación de los equipos de registro de calidad de suministro eléctrico (CSE). Tesis de Pregrado, Universidad de Los Andes. Mérida.
- [2] Calleja, F. (2015) Sistema de control de calidad de suministro eléctrico. Tesis de pregrado. Universidad de Cantabria. España.
- [3] Agencia Venezolana de Noticias (14 de diciembre de 2012) Inaugurada línea 3 del Trolcable en Mérida para movilizar 22.000 personas al día. Disponible online: <https://www.aporrea.org/actualidad/n219968.html>
- [4] Zúñiga, N. (2012) Estudio sobre la prestación y calidad del servicio técnico de distribución de electricidad. Caso de estudio: CORPOELEC – edo. Cojedes. Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- [5] Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2011). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales 6ª Edición. Editorial FEDUPEL. Caracas.
- [6] Arias, F. (2012) El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorial Episteme (6a. ed.).
- [7] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2002). Metodología de la Investigación. Colombia: Editorial: McGraw-Hill
- [8] Tamayo y Tamayo, M. (2002) El proceso de la investigación científica. Limusa Noriega Editores, cuarta edición.
- [9] Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorial Episteme (5a. ed.).
- [10] Montesino, M. (2008) Evaluación de la Calidad de la Energía Eléctrica de un Sistema de Distribución de Electricidad. Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Caracas.

[11] Asociación Colombiana de Ingenieros ACIEN (2001) Calidad de la Energía Eléctrica - CEL. Bogotá: ACIEN. Cundinamarca.

[12] Llamas, A. y Reyes, J. de los (S/F). “Instrumentación para determinar la calidad del suministro eléctrico”. [Documento en línea]. Disponible online:

http://www.mty.itesm.mx/tiedeptosieprofesoresallamasjdelosreyescursosCEEarticulos01_PQεtINST.pdf.pdf

[13] Porras, R. y Mejías, D. (2018) Análisis de Calidad de Energía en la Industria Textil SACSA con la finalidad de conocer el comportamiento actual del Sistema Eléctrico y recomendar soluciones a los problemas de calidad de energía” Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Nicaragua. Disponible online: <http://ribuni.uni.edu.ni/2301/1/92125.pdf>

[14] Ley Orgánica del Sistema y Servicio Eléctrico (2010) Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela 39.573, diciembre 14, 2010.

[15] Reglamento de Servicio (2003). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial 37.825, noviembre 25, 2003.

[16] Norma Venezolana Servicios Eléctricos: Indicadores de calidad de servicio técnico (2004)

[17] FODONORMA 159:2008. Tensiones normalizadas del servicio eléctrico.

www.bdigital.ula.ve