



**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO**

**ESTUDIOS ELÉCTRICOS EN CALIDAD DE LA POTENCIA PARA LA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA UBICADA EN EL BLOQUE 6 DE LA
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**JUAN EDUARDO CORREA MARTÍNEZ
FREDY ALONSO ECHEVERRI MACÍAS
LUIS JAVIER LÓPEZ ATEHORTÚA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2019**

**ESTUDIOS ELÉCTRICOS EN CALIDAD DE LA POTENCIA PARA LA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA UBICADA EN EL BLOQUE 6 DE LA INSTITUCIÓN
UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

JUAN EDUARDO CORREA MARTÍNEZ

FREDY ALONSO ECHEVERRI MACÍAS

LUIS JAVIER LÓPEZ ATEHORTÚA

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electricista**

Asesor:

Jorge Julián Cañas Sánchez

Ingeniero Electricista

Especialista en Alta Gerencia con énfasis en calidad

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA

MEDELLÍN

2019

Notas de los autores

Fredy Echeverri, Juan Correa, Javier López,
Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo

El diseño realizado en el presente trabajo de grado se presenta con fines académicos como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista. No se autoriza la copia total o parcial, ni la ejecución sin contar con autorización escrita de todos los autores.

Este proyecto ha sido financiado por los autores
La correspondencia relacionada con este proyecto debe ser dirigida a Fredy Echeverri, Juan Correa, Javier López, a la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Pascual Bravo, CL 73 N° 73A - 226 Campus Robledo, Medellín – Antioquia

Contactos: f.echeverri@pascualbravo.edu.co, juane.correa@pascualbravo.edu.co,
l.lopez252@pascualbravo.edu.co

Dedicatoria

Este trabajo de grado es una dedicatoria a el día que mi madre me puso en mis manos un libro, a todas las personas, amigos, compañeros de trabajo profesores a todos gracias. El logro más grande y la dedicatoria es para mis hermanos que nunca me dejaron caer, nunca me fallaron y me enseñaron tantas cosas para continuar mi camino, gracias compañeros de clase.

Juan E. Correa Martínez.

Dedico esta tesis, a mi familia quienes fueron un gran apoyo emocional durante todo el tiempo en que he realizado mis estudios. A mi madre quien se ha encargado día a día por motivarme constantemente en terminar mis estudios. A mi hijo Daniel quien me insistía y me apoyaba para que continuara mis estudios, cuando parecía que estaba rendido. A mi esposa por su dedicación y su entendimiento por permitirme limitar su tiempo para dedicarlo a mis estudios. A mi hijo Thiago por su tiempo el cual he tenido que limitar para continuar mis estudios. A mi empresa EPM por el apoyo económico que me ha brindado. A mis sinodales quienes estudiaron mi tesis y la aprobaron. A todas las personas que me apoyaron para escribir esta Tesis Para ellos es esta dedicatoria de tesis es a ellos a quien se las debo por su apoyo incondicional muchas gracias

Luis Javier López.

Dedico este trabajo de grado a mi esposa Ana María Gallego Saldarriaga por su ayuda incondicional y por su paciencia durante estos largos años de formación; a mi hijo Cristóbal por inspirarme y motivarme aún más, a toda mi familia, especialmente a mi madre por su ánimo constante y a mi padre por darme tanto valor para afrontar nuevos retos, y a mis hermanos por su apoyo incondicional y su constante ánimo.

Fredy A. Echeverri Macías

Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a:

Jorge Julián Cañas Sánchez Docente de pregrado, Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional sede Medellín, con especialización en alta gerencia con énfasis en calidad de la Universidad de Antioquia asesor del Trabajo de Grado. Por su valiosa orientación, colaboración y retroalimentación durante el desarrollo de este trabajo.

José Ricardo Velasco Méndez, Docente y coordinador de Ingenierías, Institución Universitaria Pascual Bravo, Ingeniero Electricista, Magister en Educación. Por el seguimiento, apoyo y constante motivación.

Luis Eduardo Correa Cañas, Técnico de Mantenimiento, Institución Universitaria Pascual Bravo. Por su disposición, paciencia y colaboración durante el proceso de levantamiento de información.

Luis Giovanni Berrio Zabala, Jefe del Departamento de Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Institución Universitaria Pascual Bravo. Ingeniero Electricista, Especialista en Gestión Energética. Por su tiempo y disposición en orientarnos durante el desarrollo de nuestro programa académico.

Contenido

Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tablas.....	xiv
Lista de anexos.....	xv
Lista de abreviaturas.....	xvi
Resumen.....	xviii
Abstract.....	xix
Glosario.....	xx
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema.....	2
2. Justificación.....	5
3. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
4. Marco de referencia.....	7
4.1. Marco teórico.....	7
4.1.1. Calidad de la energía.....	7
4.1.2. Evolución de la normatividad en calidad de la energía.....	8
4.1.3. Perturbaciones en la energía eléctrica.....	10
4.2. Marco conceptual.....	16
4.2.1. Estándares de calidad de la potencia suministrada.....	17
4.2.2. Plazos para corregir las deficiencias en la calidad de la potencia suministrada.....	28
5. Metodología.....	29
5.1. Tipo de investigación.....	29
5.2. Método.....	29
5.3. Población y muestra.....	30
5.4. Instrumentos de recolección de información.....	30
5.4.1. Fuentes primarias.....	30
5.4.2. Fuentes secundarias.....	31
6. Resultados del Proyecto.....	32
6.1. Recolección de la información.....	32
6.2. Recursos disponibles.....	32
6.3. Visitas a campo.....	32

6.4.	Equipo para la medición y análisis de la calidad de la energía.....	33
6.4.1.	Descripción del equipo.....	33
	34
6.4.2.	Características del equipo.....	34
6.4.3.	Métodos de medida.....	35
6.5.	Instalación del equipo analizador de redes	36
6.6.	Análisis de la red de la subestación del bloque 6	39
6.7.	Parametrización del analizador de redes y revisión de datos	40
6.8.	Análisis de las gráficas de tendencia	41
6.8.1.	Tensión	41
6.8.2.	Corriente	42
6.8.3.	Frecuencia.....	44
6.8.4.	Desbalance	45
6.8.5.	Armónicos de voltaje	46
6.8.6.	Armónicos de corriente	48
6.8.7.	Flicker o Parpadeo	50
6.8.8.	Potencias	51
6.8.9.	Lista de eventos	54
6.8.10.	Energía consumida	61
7.	Conclusiones	62
8.	Recomendaciones	65
9.	Referencias Bibliográficas.....	67
10.	Anexos	70

Lista de Figuras

Figura 1. Comportamiento de la demanda de energía anual en Colombia- GW.h.....	3
Figura 2 Interrupción momentánea (arriba) y prolongada (abajo).....	13
Figura 3. Ruido	14
Figura 4. Distorsión armónica en la señal de voltaje.....	14
Figura 5. Impulso	15
Figura 6. DIPS o Sag	16
Figura 7. Desbalance de tensión.	19
Figura 8. Curva ITIC	20
Figura 9. Sistema con cargas desbalanceadas.....	22
Figura 10. Fluctuaciones de tensión o flickers.....	25
Figura 11. Valores límites del factor de potencia.....	26
Figura 12. Profundidad y área de muesca.....	27
Figura 13. Analizador de redes utilizado.....	33
Figura 14. Descripción del equipo.....	34
Figura 15. Características del equipo	35
Figura 16. Placa de características y transformador 800 kVA	37
Figura 17. Procedimiento de instalación del analizador	37
Figura 18. Equipo instalado y toma de datos en línea	38
Figura 19. Parametrización del software del analizador	40
Figura 20. Umbrales de los eventos	41
Figura 21. Tendencia de voltaje RMS de las tres fases	41
Figura 22. Voltaje diferencial entre el neutro y la tierra.....	42
Figura 23. Tendencia de corriente.	43
Figura 24. Tendencia de la corriente que circula por el neutro	44
Figura 25. Variación de frecuencia.	45
Figura 26. Tendencia del desbalance de tensión de la componente 0.....	45
Figura 27. Desbalance de corriente.....	46
Figura 28. Distorsión armónica total.....	47
Figura 29. Variación del THDi de voltaje en el neutro.....	48
Figura 30. Tendencia del THDi en las fases R, S y T.	48
Figura 31. Grafica de barras de los valores promedio y máximo de armónicos de corriente del 0 al 50 para el canal 1 – fase R.....	49
Figura 32. Tendencia del THDi en el neutro.	49
Figura 33. Grafica de tendencia del Flicker Pst en cada fase.....	50
Figura 34. Tendencia de demanda de potencia activa P	51
Figura 35. Factor de potencia PF.....	52
Figura 36. Tendencia de demanda de potencia P.....	53
Figura 37. Tendencia de demanda potencia S	54
Figura 38. Total de eventos registrados por día.	54
Figura 39. Evento de caída de tensión DIP. 26 de febrero.....	55
Figura 40. Forma de onda de voltaje y corriente durante el DIP.....	56
Figura 41. Eventos de desbalance de tensión, 27 de febrero.....	56
Figura 42. Formas de onda durante el desbalance de tensión	57
Figura 43. Eventos registrados el 28 de febrero.....	57

Figura 44. Eventos registrados el 01 de marzo.	58
Figura 45. Deformación de la onda de tensión durante el DIP.....	58
Figura 46. DIPs registrados el 02 de marzo.....	59
Figura 47. Eventos registrados el 03 de marzo.	59
Figura 48. Eventos registrados el 04 de marzo.	60
Figura 49. Curva ITIC	60
Figura 50. Tendencia de consumo de energía.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Evolución de la normativa	8
Tabla 2. Causas Típicas y Duración de Perturbaciones.	11
Tabla 3. Típicas Perturbaciones en Sistemas de Potencia.	12
Tabla 4 Límites de variación de tensión	17
Tabla 5 Límites de variación de tensión para equipo electrónico	18
Tabla 6 Límites de variación de frecuencia para equipo electrónico	18
Tabla 7 Porcentaje máximo de desbalance de tensión	19
Tabla 8. Límites máximos de desbalance en corriente	21
Tabla 9 Límites de distorsión armónica de tensión	23
Tabla 10 Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas con tensiones de 120 V hasta 69 kV	23
Tabla 11 Límites de referencia de Flickers	24
Tabla 12 Límites para las muescas en sistemas de baja tensión	27
Tabla 13 Fecha y hora de los registros	39
Tabla 14 Capacidad instalada en la subestación del bloque 6	39
Tabla 15. Estadísticas de las variaciones del voltaje de alimentación nominal (125V)	42
Tabla 16. Estadísticas de las variaciones de la corriente de carga	43
Tabla 17. Estadísticas de las variaciones de la corriente de neutro.	44
Tabla 18. Estadísticas del desbalance de tensión.	46
Tabla 19. Estadísticas del THD de voltaje.....	47
Tabla 20. Estadísticas del THDi que circula por el neutro.....	50
Tabla 21. Estadísticas de demanda de potencia activa	52
Tabla 22. Estadísticas del PF.....	52
Tabla 23. Estadísticas de potencia S y Q.....	53

Lista de anexos

Anexo 1. Informe extraído del analizador Hioki PW3198	70
---	----

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
ALC:	América Latina y el Caribe
AT:	Alta tensión
BT:	Baja tension
CEN:	European Committee for Standardization
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
D_h :	Distorsión armónica individual de corriente.
D_v:	Distorsión armónica Individual de tensión.
EPM:	Empresas Públicas de Medellín
EN:	European Standards
h:	Orden armónico.
IEA:	International Energy Agency
IEC:	International Electrotechnical Commission
IEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
I_h:	Magnitud de las componentes armónicas individuales de corriente (rms A).
I_L:	Corriente de demanda máxima (rms A).
I_{sc}:	Corriente de cortocircuito.
MT:	Media tensión
NEMA:	National Electrical Manufacturers Association
NTC:	Norma Técnica Colombiana
OR:	Operador de red.
P:	Potencia Activa
PCC:	Punto de conexión común.
Q:	Potencia Reactiva
S:	Potencia Aparente
SDL:	Sistema de distribución local.
SIN	Sistema Interconectado Nacional

SIP:	Sistema Eléctrico de Potencia
SPT:	Sistema de Puesta a Tierra
STN:	Sistema de transmisión nacional.
STR:	Sistema de transmisión regional.
TC:	Transformador de Corriente
TP:	Transformador de Potencial
THD:	Distorsión armónica total.
TDD:	Distorsión de demanda total.
UL:	Underwriters Laboratories
UPME:	Unidad de Planeación Minero-Energética
Vc:	Tensión declarada.
V_h:	Magnitud de las componentes armónicas individuales de tensión (rms V).
V_n	Tensión rms nominal del sistema a frecuencia fundamental.
V_{res}	Tensión residual.
VRD	Tensión de referencia deslizante.
XLPE:	Cross-Linked Polyethylene

Resumen

El presente trabajo de grado aborda la transformación y distribución eléctrica de la I. U. Pascual Bravo. El proyecto tiene como objetivo principal el estudio eléctrico en la calidad de la potencia para la subestación eléctrica ubicada en el bloque 6 de la Institución.

Considerando la normatividad aplicable en Colombia, contenida en el RETIE y NTC 2050, NTC 5001 además se realiza el levantamiento de las redes eléctricas existentes de los sistemas de distribución en la subestación del bloque 6 en la I. U. Pascual Bravo, identificando trayectorias y componentes principales; durante este proceso, queda de manifiesto falencias importantes en la subestación, acometidas eléctricas, cuartos técnicos, entre otros. Igualmente se realiza el análisis de la calidad de la energía eléctrica con los parámetros tomados con los equipos instalados en la subestación de energía y compararlos según normas mencionadas.

El estudio de la calidad de la energía eléctrica planteado en este trabajo pretende realizar un estudio para encontrar y sugerir posibles soluciones y/o estrategias que mejoren la la confiabilidad, continuidad y la calidad del servicio; disminuyendo las fallas y generando un menor índice de interrupciones. Y con la implementación de la nueva normatividad que impone el RETIE en su borrador adjunto a la página del Ministerio de Minas y Energía de Colombia del año 2018, va a tener en observación la calidad de la energía que suministran los operadores red de cada región.

Palabras Clave: Diseño eléctrico, Institución Universitaria Pascual Bravo, calidad de la energía, normatividad

Abstract

The present work of degree deals with the transformation and electrical distribution of the I. U. Pascual Bravo. The main objective of the project is the electrical study on the power quality for the electrical substation located in block 6 of the Institución.

Considering the regulations applicable in Colombia, contained in the RETIE and NTC 2050, NTC 5001, the electric networks of the distribution systems in the substation of block 6 in the I. U. Pascual Bravo are also surveyed, identifying trajectories and main components ; During this process, important faults in the substation, electrical connections, technical rooms, among others, are evident. Likewise, the analysis of the quality of the electrical energy is made with the parameters taken with the equipment installed in the facilities and compared according to the standards.

The study of the quality of the electrical energy proposed in this paper intends to carry out a study to find and suggest possible solutions and / or strategies that improve the reliability, continuity and quality of the service; reducing faults and generating a lower rate of interruptions. And with the implementation of the new regulations imposed by RETIE in its draft attached to the page on Ministerio de Minas y Energía of Colombia in 2018, it will have in view the quality of the energy supplied by the network operators of each region.

Key words: Electrical design, I. U. Pascual Bravo, energy quality, normativity

Glosario

Acometida eléctrica: De acuerdo con el RETIE se define como “Derivación de la red local del servicio respectivo que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios la acometida llega hasta el registro de corte general.” Adicionalmente, la CREG 070 de 1998 define el concepto como: “Derivación de la red local del servicio respectivo que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios y, en general, en las Unidades Inmobiliarias Cerradas de que trata la Ley 428 de 1998, la acometida llega hasta el registro de corte general”.

Armónicos característicos. Son aquellos armónicos particulares producidos por una carga no lineal en condiciones normales de operación. Por ejemplo, los armónicos característicos de un equipo convertidor semiconductor de seis pulsos son los armónicos impares no triples (de orden 5, 7, 11, 13, etc).

$$h = kq \pm 1$$

$$k = \text{cualquier número entero}$$

$$q = \text{número de pulso del convertidor.}$$

Armónicos no característicos. Son aquellos armónicos producidos por cargas no lineales, pero no en condiciones normales de operación. Por ejemplo, en un convertidor semiconductor, pueden ser un resultado de frecuencias de pulso; una demodulación de los armónicos característicos y las frecuencias fundamentales; o un desequilibrio en el sistema de alimentación, ángulo de retraso asimétrico o la operación de ciclo convertidor.

Armónicos Triplens. Son aquellos armónicos que obedecen a los múltiplos impares de la tercera armónica de la frecuencia fundamental ósea el 3°, 9°, 15°, 21°, 27°, etc., no se anulan entre sí, sino que se suman en el conductor neutro. En sistemas con muchas cargas monofásicas no lineales, la corriente del neutro puede llegar a superar el valor de las corrientes de fase. En este caso, el peligro es un excesivo calentamiento, al no existir en el conductor neutro ningún interruptor automático que limite la corriente como ocurre en los conductores de las fases. Una corriente excesiva en el conductor neutro puede provocar también caídas de tensión superiores a lo normal entre el conductor neutro y tierra en la toma de corriente a 230 V. estos armónicos

pueden producir calentamiento en el neutro del sistema y en el núcleo del transformador de alimentación. (Donoso, 2000).

Aviso de seguridad: Advertencia de prevención o actuación, fácilmente visible, utilizada con el propósito de informar, exigir, restringir o prohibir.

Baja tensión (BT). Nivel de tensión utilizado para el suministro eléctrico, cuyo valor eficaz nominales menor o igual a 1 kV. (Véase la norma VEI 151-15-03).

Barraje Puesto a Tierra: Barra en platina de cobre o de un material con capacidad de conducción equivalente de una instalación o circuito que es conectado intencionalmente al sistema de puesta a tierra. Generalmente corresponde al neutro de un sistema monofásico o de un sistema trifásico en estrella.

Barraje: Barra de cobre o conductor de sección equivalente, al cual pueden conectarse separadamente varios circuitos eléctricos.

Bóveda: Encerramiento dentro de un edificio con acceso sólo para personas calificadas, reforzado para resistir el fuego, sobre o bajo el nivel del terreno, que aloja transformadores de potencia para uso interior aislados en aceite mineral, secos de más de 112,5kVA o de tensión nominal mayor a 35kV. Posee aberturas controladas (para acceso y ventilación) y selladas (para entrada y salida de canalizaciones y conductores).

Cable Apantallado: Cable con una envoltura conductora alrededor del aislamiento que le sirve como protección electromecánica. Es lo mismo que cable blindado.

Calibración: Diagnóstico sobre las condiciones de operación de un equipo de medición y los ajustes, si son necesarios, para garantizar la precisión y exactitud de las medidas que con el mismo se generan.

Calidad de potencia. Conjunto de características de la electricidad en un punto dado de un sistema de potencia en un momento determinado, que permiten satisfacer las necesidades requeridas por el usuario de la electricidad. Estas características son evaluadas con respecto a un conjunto de parámetros técnicos de referencia.

Capacidad o potencia Instalada: También conocida como carga conectada, según RETIE, es la sumatoria de las cargas en kVA continuas y no continuas, previstas para una instalación de uso final. Igualmente, es la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de la red de distribución.

Carga no lineal. Una carga eléctrica cuya característica tensión/corriente es no lineal, es decir que la señal de corriente no sigue la misma forma de onda de la señal de tensión, de la cual se está alimentando la carga.

Algunos de los efectos adversos de cargas no lineales concentradas en un sistema eléctrico son:

- La distorsión de voltaje dentro de las instalaciones eléctricas.
- Las corrientes excesivas por el conductor de neutro.
- Altos niveles tensión entre neutro y tierra.
- Sobrecalentamiento en transformadores
- Grandes campos magnéticos irradiados desde transformadores.
- Reducción en la capacidad de distribución
- Penalización por bajo factor de potencia

Celda: Es una estructura construida para instalarse de manera auto soportada y destinada a encerrar equipo eléctrico como: transformadores de potencia, transformadores de corriente, transformadores de potencial, equipos de medición y equipos de seccionamiento de media tensión tales como interruptores o seccionadores. También se denominan cuadros, paneles, gabinetes, consolas, armarios.

Clase de exactitud: Designación asignada a transformadores de corriente y de tensión, cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados para las condiciones de uso prescritas.

Compartimento: Cada una de las partes en la que se divide un tablero o celda.

Componente armónica. Señal senoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Las componentes armónicas pueden ser evaluadas de dos:

- Individualmente, según su amplitud relativa V_h con relación a la componente fundamental V_1 , donde h representa el orden del armónico.
- Globalmente, es decir, según el valor de la tasa de distorsión armónica total THD calculada utilizando la fórmula siguiente:

$$THD = \sqrt{\left(\sum_{h=2}^{40} V_h^2 \right)}$$

NOTA Las tensiones armónicas de la red de alimentación son principalmente debidas a cargas no lineales conectadas a todos los niveles de tensión de la red de alimentación. Las corrientes armónicas que circulan a través de las impedancias del circuito dan lugar a tensiones armónicas. Las corrientes armónicas, las impedancias de la red y por consiguiente las tensiones armónicas en los puntos de suministro varían en el tiempo.

Componente Interarmónica. Componente senoidal de una cantidad periódica senoidal cuya frecuencia se sitúa entre las frecuencias de los armónicos, es decir, cuya frecuencia no es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental

NOTA Tensiones interarmónicas que tengan frecuencias muy próximas pueden aparecer al mismo tiempo formando entonces un espectro de banda ancha.

Condiciones normales de operación. Condiciones de tensión, corriente y frecuencia que permiten atender la demanda del sistema, las maniobras en la red y la eliminación de fallas, en ausencia de condiciones de fuerza mayor.

Conductor A Tierra: También llamado conductor del electrodo de puesta a tierra es aquel que conecta un sistema o circuito eléctrico intencionalmente a una puesta a tierra.

Conductor Energizado: Todo aquel que no está conectado a tierra.

Conductor Neutro: Conductor activo conectado intencionalmente al punto neutro de un transformador o instalación y que contribuye a cerrar un circuito de corriente.

Conexión Equipotencial: Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos.

Corriente de Demanda máxima. Es el valor máximo de corriente R.M.S., de todas las fases, agregada en intervalos de 10 min. En un periodo de evaluación de mínimo una semana.

Corriente de cortocircuito. Para propósito de esta norma, es la mínima corriente de corto circuito trifásica que se tenga disponible para hacer la evaluación en el punto de conexión común (amperios rms). En el caso de un usuario monofásico se debe utilizar la corriente de corto monofásica

Cuarto Eléctrico: Recinto o espacio en un edificio dedicado exclusivamente a los equipos y dispositivos eléctricos, tales como transformadores, celdas, tableros, UPS, protecciones, medidores, canalizaciones y medios para sistemas de control entre otros.

Desbalance de tensión. En un sistema polifásico, es el estado en el cual el valor eficaz de las tensiones de las fases o los ángulos entre fases consecutivas no son todos iguales.

Elevación (SWELL): aumento brusco de la tensión de alimentación a un valor situado, por encima del 110% de la tensión declarada V_c seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso. Por convenio, esta variación de corta duración dura entre medio ciclo a 1 min.

Equipo de medida: Conjunto de dispositivos destinados a la medición o registro del consumo de energía.

Equipotencializar: Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados.

Flicker o Parpadeo. Impresión de inestabilidad de la percepción visual inducida por un estímulo de luz cuya luminancia o distribución espectral varía en el tiempo.

NOTA Las fluctuaciones de tensión provocan variaciones de luminancia del alumbrado, lo que produce el fenómeno ocular llamado parpadeo. Por encima de un cierto umbral el parpadeo se vuelve molesto, esta molestia aumenta rápidamente con la amplitud de la fluctuación. Para ciertas tasas de repetición, amplitudes incluso débiles pueden resultar molestas.

Fluctuación de tensión. Serie de cambios en la tensión o variaciones continuas de la tensión eficaz o en el valor pico de la tensión.

Frecuencia de la tensión de alimentación. Tasa de repetición de la componente fundamental de la tensión de alimentación, medida durante un intervalo de tiempo dado.

Frecuencia Fundamental. La frecuencia nominal del SIN en Colombia es 60 Hz y su rango de variación de operación está entre 59.8 y 60.2 Hz en condiciones normales de operación. El OR y los Usuarios deben tener en cuenta que, en estados de emergencia, fallas, déficit energético y períodos de restablecimiento, la frecuencia puede oscilar entre 57.5 y 63.0 Hz por un período de tiempo de quince (15) segundos, en concordancia con lo establecido en los numerales 2.2.5 y 5.1 del Código de Operación incluido en el Código de Redes (Resolución CREG 025 de 1995). (CREG, 1998)

Las tensiones en estado estacionario a 60 Hz y sus variaciones permisibles, son las establecidas en la norma NTC 1340, o aquella que la modifique o sustituya.

Frente muerto: Parte de un equipo accesible a las personas y sin partes activas expuestas. Debe ser del mismo material del tablero.

Hundimiento (SAG). Disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado, entre el 90 y el 10 % de la tensión declarada V_c seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso. Por convenio esta variación de corta duración dura entre medio ciclo a 1 min.

Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos eléctricos y de circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, rectificación, conversión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Interrupción de alimentación. Es un evento de caída de tensión por debajo del 10 % de la tensión declarada V_c .

Una interrupción de alimentación puede ser clasificada como:

- Programada, cuando los clientes son informados con antelación para permitir la ejecución de trabajos programados en la red de distribución.
- Accidental, cuando la interrupción es provocada por fallas permanentes o transitorias, la mayoría de las veces ligadas a sucesos externos o averías. Una interrupción accidental puede ser clasificada como:
 - Interrupción larga (mayor a un (1) min) provocada por una falla permanente, o
 - Interrupción corta (menor o igual a un (1) min) provocada por una falla transitoria.

Media tensión (MT). Nivel de tensión utilizado para el suministro eléctrico, tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV. RETIE, Artículo 12. Clasificación de los niveles de tensión, literal c.

Medida Clase A. Este tipo de medida es usada cuando se requieren tomar medidas precisas como en el caso de aplicaciones contractuales, verificación contra valores normativos o solución de reclamaciones o controversias contractuales.

Medida Clase B. Este tipo de medida es usada en aplicaciones de diagnóstico de instalaciones. para estudios estadísticos u otras aplicaciones en donde no se requiere un alto nivel de precisión.

Método de agregación. El método o algoritmo de agregación es un procedimiento que considera las variaciones de los valores medidos en un intervalo de registro correspondiente a un período de agregación (por ejemplo 10 min o 15 min). Cada intervalo de registro de 10 min está conformado por 3000 ventanas de medida de 13 ciclos cada una (@ 60Hz). La agregación de las medidas se hace calculando la raíz media cuadrática de los valores eficaces de cada ventana de medida.

Norma Técnica Colombiana (NTC): Norma técnica aprobada o adoptada como tal por el organismo nacional de normalización.

Operador de Red (OR). Es la persona o entidad encargada de la planeación, expansión, inversión, operación y mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional (STR) o Sistema de Distribución Local (SDL).

Panel de distribución: Un solo panel o grupo de paneles diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel que incluye elementos de conexión, transformadores de potencia, equipos de medición, dispositivos automáticos de protección de sobrecorriente y puede estar equipado con interruptores para accionamiento de circuitos de alumbrado, calefacción o fuerza.

Partes Vivas: Conductores, barras, terminales o componentes eléctricos sin aislar o expuestos, que crean riesgo de arco o choque eléctrico.

Percentil 95 %. El percentil 95 % es un valor estadístico extraído de una muestra de datos para el cual la probabilidad de que se presenten valores en la muestra inferiores o iguales a este estadístico es del 95 %, o visto de otra forma, se tiene una probabilidad del 95 o/o de encontrar en la muestra valores inferiores o iguales al percentil 95 %.

Período de agregación. Periodo de tiempo durante el cual se aplica el método de agregación, utilizado para registrar las diferentes variables de estado estable de calidad de potencia eléctrica. Para propósitos de esta norma el periodo de agregación será de 10 min.

Período de medida. Es el periodo de tiempo durante el cual se realizan las mediciones de los diferentes parámetros de calidad de potencia de manera ininterrumpida. Para propósitos de esta norma el período de medida será de al menos una semana.

Persona Calificada: Persona natural que demuestre su formación (capacitación y entrenamiento) en el conocimiento de la electrotecnia y los riesgos asociados a la electricidad. RETIE, artículo 3.

Persona Competente: Persona natural que demuestre su formación profesional en el conocimiento de la electrotecnia y los riesgos asociados a la electricidad y, además, cuente con matrícula profesional, certificado de inscripción profesional, o certificado de matrícula profesional, que, según la normatividad legal vigente, lo autorice o acredite para el ejercicio de la profesión. RETIE, artículo 3.

Perturbación conducida. Fenómeno electromagnético propagado a lo largo de los conductores de las líneas de una red eléctrica.

En ciertos casos, este fenómeno electromagnético se propaga a través de los arrollamientos de los transformadores y, por lo tanto, en redes de diferentes niveles de tensión. Estas perturbaciones pueden degradar las prestaciones de un aparato, de un equipo o de un sistema, o provocar daños.

Punto de conexión común (PCC). Es el punto de conexión individual entre el SOL o el STR y el usuario final (el punto de medida de energía).

Precaución: Actitud de cautela para evitar o prevenir los daños que puedan presentarse al ejecutar una acción.

Prevención: Evaluación predictiva de los riesgos y sus consecuencias. Conocimiento a priori para controlar los riesgos. Acciones para eliminar la probabilidad de un accidente.

Previsión: Anticipación y adopción de medidas ante la posible ocurrencia de un suceso, en función de los indicios observados y de la experiencia.

Puerta Cortafuego: Puerta que cumple los criterios de estabilidad, estanqueidad, no emisión de gases inflamables y aislamiento térmico cuando se encuentra sometida al fuego o incendio durante un período de tiempo determinado.

Reglamento Técnico: Documento en el que se establecen las características de un producto, servicio o los procesos y métodos de producción, con inclusión de las disposiciones administrativas aplicables y cuya observancia es obligatoria.

Relación de cortocircuito (I_{sc}/I_L). Es la relación de la corriente de cortocircuito en el punto de conexión común (PCC), a la corriente de demanda máxima.

Severidad del Flicker. Intensidad de la molestia provocada por el parpadeo definida por el método de medida que se encuentra en la norma IEC 61000 - 4 - 15 del Flicker y evaluada según las cantidades siguientes:

- Severidad de corta duración (P_{st}) medida en un periodo de 10 min,
- Severidad de larga duración (P_{lt}) calculada a partir de una secuencia de 12 valores de P_{st} en un intervalo de dos horas, según la fórmula siguiente:

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

Sistema de Distribución Local (SDL). Sistema de transporte de energía eléctrica, compuesto por redes de distribución municipales; conformado por un conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores a 115 Kv, que no pertenecen a un sistema regional por estar dedicadas al servicio de un sistema de distribución municipal, o local.

Sistema de Transmisión Regional (STR). Sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica, compuesto por redes regionales o interregionales de transmisión; conformado por un conjunto de líneas y subestaciones con sus equipos asociados, que operan a tensiones menores de 220 kV y que no pertenecen a un sistema de distribución local.

Sistema de Transmisión Nacional (STN). Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por un conjunto de líneas con sus respectivos módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

Sistema de Puesta a Tierra (SPT): Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

Sobretensión transitoria. Sobretensión oscilatoria o no oscilatoria de corta duración generalmente fuertemente amortiguada y que dura como máximo algunos milisegundos.

NOTA Las sobretensiones transitorias son generalmente debidas a descargas atmosféricas, a maniobras o a la operación de fusibles. El tiempo de subida del frente de las sobretensiones transitorias puede variar de menos de un microsegundo a algunos milisegundos.

Subestación: Conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia.

Tablero auto soportado: Se entiende por tablero auto soportado, aquel que tiene la capacidad de soportar o sostener su propio peso y se instala fijado o anclado sobre un pedestal.

Tablero: Encerramiento metálico o no metálico donde se alojan elementos tales como aparatos de corte, control, medición, dispositivos de protección, barrajes, para efectos de este reglamento es equivalente a panel, armario o cuadro.

Tablero sobrepuesto o empotrado: Gabinete o panel empotrado o sobrepuesto, el cual es fijado a la pared a través de mampostería y medios de sujeción adecuados. Es un tablero que por su tamaño no está apoyado sobre el piso.

Tableros de medida: Estructuras metálicas o no metálicas que cumplen con condiciones mecánicas y de seguridad, construidos para instalarse generalmente de manera empotrada, sobre puesta en los muros o paredes o auto soportados y destinados a encerrar equipos de baja tensión como medidores de energía, equipos de protección y transformadores de medida.

TAP de un transformador. Es un selector mecánico que le sobrepone al bobinado primario un número de espiras para que la tensión de salida sea la adecuada según la regulación de tensión que se ha de operar.

Tensión de alimentación: Valor eficaz de la tensión presente en un instante dado en el punto de suministro, y medido en un intervalo de tiempo dado.

Tensión de alimentación declarada (V_c). Es la tensión acordada entre el operador de red y el usuario para ser aplicada en el punto de conexión común. Esta tensión deber estar normalizada en Colombia (véase la NTC-1340).

Tensión de referencia deslizante (V_{RD}). Magnitud de tensión promediada sobre un intervalo de tiempo específico, el cual representa la tensión previa a la ocurrencia de un hundimiento o una elevación en tensión.

Tensión nominal de una red (V_n). Tensión que caracteriza o identifica una red y a la cual se hace referencia para ciertas características de funcionamiento.

Tensión residual (V_{res}). Es el mínimo valor eficaz de la tensión registrado durante un hundimiento en tensión o una interrupción. La tensión residual se expresa como un valor en voltios, o en porcentaje con respecto a la tensión de alimentación declarada.

Transformación: Proceso mediante el cual son modificados, los parámetros de tensión y corriente de una red eléctrica, por medio de uno o más transformadores, cuyos secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros transformación (incluye equipos de protección y seccionamiento).

Transformador de Corriente (TC): Transformador para instrumentos en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de uso, es substancialmente proporcional a la corriente primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero para una dirección apropiada de las conexiones.

Transformador de Potencia (TP): Transformador para instrumentos en el cual la tensión secundaria en las condiciones normales de uso es substancialmente proporcional a la tensión primaria y cuya diferencia de fase es aproximadamente cero, para un sentido apropiado de las conexiones.

Usuario. Entidad o persona que utilice el servicio de energía eléctrica por medio de la conexión a un STR o un SOL.

Variación de tensión. Aumento o disminución de la tensión con respecto a su valor de referencia.

Variación rápida de tensión. Una variación del valor eficaz de una tensión entre dos niveles consecutivos mantenidos durante intervalos de tiempo definidos, pero no especificados.

Valor Medio Cuadrático R.M.S. (Root-Mean-Square). Raíz cuadrada de la media aritmética de los valores instantáneos elevados al cuadrado, de una cantidad tomada sobre un intervalo de tiempo específico y con un ancho de banda determinado.

Valor eficaz de tensión y corriente. Valor medio cuadrático de la tensión o de la corriente.

Introducción.

En este proyecto se busca realizar una metodología que permita ejecutar mediciones de calidad de energía utilizando cualquier instrumento de medición (analizador de red eléctrica) que cuente con las características normativas para realizarla; con el fin de efectuar una serie de pruebas que permitan entender y analizar las perturbaciones que están afectando el sistema en análisis, tanto en fronteras comerciales como una medición enfocado al funcionamiento de un equipo en especial. Muchas de las técnicas de medición están definidos por la serie de normas IEC 61000-4 y Ia IEEE 519.

Este proyecto pretende ayudar a mejorar la calidad de la energía y por consiguiente aumentar la vida útil de los equipos utilizados en la I. U. Pascual Bravo, gracias a la comparación realizada con las normas citadas durante la ejecución del proyecto. Para la realización de estos objetivos se utilizan instrumentos, equipos o analizadores para la medición de estas perturbaciones de la calidad de energía eléctrica, se deben de redes que cumplan los métodos de medida y procedimientos de norma, así como los valores medidos deberán cumplir con estándares definidos por NTC 5000 y otras normas complementarias.

En los sistemas eléctricos de potencia se presentan perturbaciones y distorsiones de onda de tensión y corriente, debido a la implementación de cargas no lineales o dispositivos electrónicos de potencia en dichos sistemas. Estos dispositivos que de una u otra forma han contribuido a la mejora de procesos industriales y en algunos casos a nivel comercial; pero que a cambio de estos beneficios en el sistema eléctrico se presenta contaminación afectando la calidad de la energía e instalaciones eléctricas. Esta contaminación de energía eléctrica se debe a armónicos de tensión y corriente, desbalances de tensión, sobretensiones transitorias, variaciones de frecuencia entre otras perturbaciones

1. Planteamiento del problema

La demanda de energía en el año 2017 del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de Colombia, luego de una contracción de once meses continuos entre mayo de 2016 y marzo de 2017, presentó un crecimiento a partir del segundo trimestre del año por la recuperación de los hábitos del consumo en el sector residencial y pequeños negocios. La composición final del comportamiento de la demanda durante 2017 llevó a un crecimiento del 1,3% respecto al 2016, con un valor de 66.893 GW.h. Por tipos de días, se presentó crecimiento en todos los casos, obteniendo para los días comerciales un crecimiento de 1.1% con un consumo promedio de 190 GW.h-día; por su parte los sábados crecieron un 1,7% con un consumo promedio de 180,6 W.h-día, y el consumo en domingos y festivos tuvo un crecimiento del 1,6% con un consumo promedio de 162 GW.h-día. Por tipo de mercado la demanda de energía presentó un crecimiento del 1,9% para el mercado regulado (consumo residencial y pequeños negocios) y permaneció igual para el mercado no regulado (industria y comercio) respecto al 2016.

Para cubrir la demanda colombiana se generaron en el país 66.667 GW.h y se importaron 194,2 GW.h. Las importaciones decrecieron un 48,7% (equivalente a 184 GW.h) respecto a 2016, situación que se da por la mayor disponibilidad hídrica y de recursos de generación durante 2017; en contraposición el 2016 presentó escasez hídrica por el FENÓMENO DEL NIÑO y una menor disponibilidad para generación por la salida forzada de algunas plantas de generación importantes del SIN, lo que hizo necesario aumentar las importaciones desde Ecuador y causó el no crecimiento del cubrimiento de la demanda local frente al año 2015. La generación en 2017 provino principalmente de recursos renovables, representando el 87% del total generado, compuesta por generación del tipo hidráulica, eólica, solar y biomasa. (XM -Filial de ISA, 2017)

Toda esta información se puede apreciar en la siguiente grafica

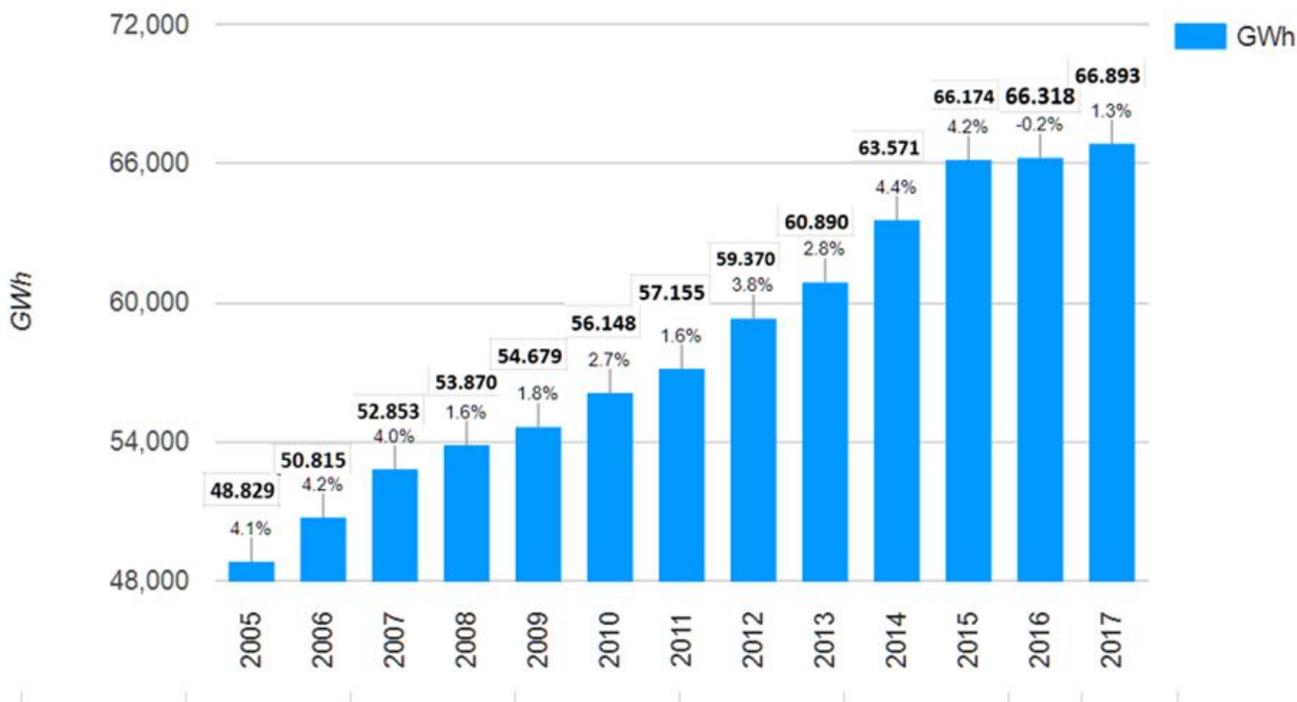


Figura 1. *Comportamiento de la demanda de energía anual en Colombia- GWh*

Fuente: Tomado de Informe de operación del SIN XM -Filial de ISA. (2017).

Con estos datos recopilados y por el aumento de la industria en el país, la unidad de planeación minero-energética UPME, ha dispuesto un plan de expansión de generación y transmisión en las diferentes regiones del país para afrontar todos los retos en la demanda de energía hasta el año 2030. Esta demanda de energía que va en ascenso ha generado agotamiento y sobrecargas en las líneas de transmisión, distribución y de los transformadores existentes en el país. Donde la construcción de líneas de transmisión y distribución van a ser protagonistas y con ello todas las ideas para optimizar recursos tanto en la construcción como en el mantenimiento. (Transmisión, 2008).

Es necesario establecer una serie de inquietudes que pueden dar claridad al planteamiento del problema para determinar los objetivos de este proyecto. A pesar de que existe una metodología para medición y análisis de calidad de la energía en Colombia pocas empresas conocen los procesos y trámites para el desarrollo de auditorías al igual que estas no son completamente estandarizadas. Lo que indica que no se cuenta con formatos de revisión, informes completos y/o registradores de datos salvo los contemplados por la experiencia en la práctica de los ingenieros a cargo.(Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2013)

La I. U. Pascual Bravo, en su campus de Robledo, tiene construidas sus redes eléctricas en combinación aérea y subterránea.

Al realizar un seguimiento de las líneas áreas se consta que la universidad solo tiene una acometida de alimentación que viene del OR (Operador de Red), en este caso EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P, siendo esto un factor de baja confiabilidad, al igual de la identificación de cargas no lineales como el Horno de inducción eléctrica, ubicado en el laboratorio de materialografía que pueden producir altos armónicos generando distorsiones en la red. Estos problemas asociados, se pueden identificar con la instalación de analizadores de redes para realizar un diagnóstico detallado.

Para realizar este estudio de los inconvenientes de las redes aéreas, una alternativa es la instalación de un analizador de redes y realizar su diagnóstico en el campus universitario. Después de realizar este análisis y posteriores correcciones se tendrían ventajas como: Un Aumento en la calidad del servicio, disminución en los casos de fallas eléctricas, facilidad en la operación de los sistemas, alto porcentaje de seguridad para los usuarios, menor índice de interrupciones, entre otros.

Los impactos positivos que tendría la implementación de este proyecto en la I. U. Pascual Bravo se evidenciarían en la mejora de la continuidad del servicio y el cumplimiento de la normatividad vigente. (Energía, 2013).

2. Justificación

La solución que se viene planteando para la Institución es la realización de estudios, mediciones y experiencias prácticas de calidad de energía, y para ello, es necesario seguir una metodología de trabajo, guiada y referencia por normas y estándares internacionales. Al desarrollar el proyecto se encontrarán resultados que se deben analizar apoyados en los documentos citados para dar posteriormente recomendaciones correspondientes.

Es de suma importancia realizar los estudios eléctricos debido al impacto que tiene hoy para el sector industrial eficiencia y confiabilidad de sus procesos para maximizar su producción sin dejar de cumplir con todas las normativas necesarias para su funcionamiento y conlleve a ser competitiva en el sector, que cada vez acoge a la tecnología como su mejor aliado. Por esta razón el sector productivo cada vez exige profesionales aptos y con habilidades para el manejo de nuevas tecnologías y competencia en las mediciones, normas y métodos de calidad de la energía eléctrica son necesarias, puesto que las futuras regulaciones nacionales e internacionales llevara a que el sector industrial tenga una alta demanda en estudios y mediciones que informen sobre los cumplimientos de normativas asociadas al sistema eléctrico evitando multas y sanciones lo que contribuirá al logro de sus metas.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Realizar estudios de calidad en la potencia de la subestación eléctrica de la Institución Universitaria Pascual Bravo (I. U. Pascual Bravo) ubicada en el Bloque 6 de su campus de Robledo, Medellín.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de las redes eléctricas de baja tensión que alimentan parte de la Institución desde la subestación de energía del Bloque 6.
- Contrastar las mediciones realizadas con en el analizador de redes con la normatividad de la calidad de la energía eléctrica vigente.
- Proponer recomendaciones y sugerencias de mejoramiento que conlleven a los estándares de calidad respecto a los valores patrones que exigen las normas actuales.

4. Marco de referencia

4.1. Marco teórico

4.1.1. Calidad de la energía

La Calidad de Energía Eléctrica (CEE) tiene como principal función comprobar que las magnitudes físicas en los sistemas eléctricos de potencia, como lo son la amplitud, la frecuencia, forma de onda y continuidad de las señales eléctricas que lo conforman (tensión y corriente); cumplan con la normatividad vigente, en donde estas características se expresan con criterios específicos que tienen trascendencia en el desempeño, facilidad de uso, seguridad de funcionamiento, medio ambiente, aspectos económicos y estéticos. El crecimiento de la electrónica de potencia en equipos no lineales en todo el sistema eléctricos, desde el control hasta el uso final, ha incrementado las perturbaciones de esas propiedades físicas anteriormente mencionadas; razón por la cual se han desarrollado una serie de normativa y regulación para contener este tipo de problemas que afecta a todo el sistema de potencia del Sistema Interconectado Nacional. Con respecto a la Calidad de Energía Eléctrica (CEE), las normas más relevantes y con exigencia en Colombia son: La IEC 61000-4-7 “Compatibilidad Electromagnética”, la serie IEEE 555, 1159 y 519 referentes a la calidad de potencia, guía de mediciones y control de armónicos en los sistemas de potencia eléctrica respectivamente, la NTC 5000 “Calidad de la Potencia Eléctrica”, la NTC 1340 “tensión y Frecuencia Nominales en Sistemas de Energía Eléctrica en Redes de Servicio”, NTC 152 “Límites y Metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común”; una serie de regulaciones de la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) en la que se pueden mencionar las siguientes Resoluciones: 070/1998, 096/2000, 084/2002 y 0024/2005 y finalmente el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).(Cervantes, 2014),

Mientras que para conocer a detalle el comportamiento y uso de la potencia eléctrica es necesario emplear mediciones y análisis avanzados de los parámetros eléctricos; siendo el Analizador de Redes el instrumento capaz de hacer ese tipo de mediciones específicas y registrarlas. Comercialmente se distinguen dos tipos de analizadores, SNA (Scalar Network Analyzer) y VNA (Vector Network Analyzer) siendo este último el más completo ya que mide propiedades amplitud y fase. Aunque no es de objetivos de este proyecto estudiar estos instrumentos de

medición, si lo es el registro y análisis de los parámetros que de ellos obtenemos es por eso necesario mencionar la importancia de una buena selección del instrumento de medición y su calibración para que análisis del sistema eléctrico sea lo más acertado a la realidad.

Las mediciones de las que se habla en este documento se pueden realizar en sistemas monofásicos o polifásicos de energía eléctrica dependiendo del tipo de medición, ya que puede ser necesario para medir tensiones entre conductores de fase y neutro (tensiones de fase) o entre los conductores de fase (tensiones de línea) o entre el neutro y la tierra. Las mediciones de corriente se pueden realizar en cada conductor de los sistemas de suministro, incluido el conductor neutro y el conductor de puesta a tierra. La magnitud eléctrica para medir puede tomarse de forma directa, así como en el caso de los sistemas de baja tensión, a través de transductores de medida.

4.1.2. Evolución de la normatividad en calidad de la energía

Tabla 1. *Evolución de la normativa*

Norma, estándar o guía	Año	Descripción
IEC 1000-1	1990	Establece terminología y definiciones, se puede denominar una norma general [19].
IEC 1000-2	1990	Establece el entorno electromagnético para distorsiones de baja frecuencia y señalización en sistemas de suministro de energía (Adoptado CEI / IEC 1000-2-1: 1990) [19].
IEC 1000-3	1990	Establece los límites de emisión definen los niveles permisibles de perturbaciones que pueden ser causadas por equipos conectados al sistema de energía [19].
IEC 1000-4	1990	Proporciona algunas pautas detalladas para el equipo de medida y procedimientos de prueba para asegurar el cumplimiento con las otras partes de las normas (1000-4-x) [19]
IEC 1000-5	1990	Proporciona orientación en la aplicación de equipos, tales como filtros, equipos de acondicionamiento de energía, supresores de sobretensiones, entre otros; permitiendo resolver algunos de los problemas de calidad de energía (1000-5-x) [19].

IEC 1000-6	1990	Establece los niveles de inmunidad requeridos para equipos considerados como generales, así como también para tipos específicos de equipos (1000-6-x). [19]
IEEE 519	1992	Realiza recomendaciones prácticas para el control de armónicos en sistemas eléctricos que contengan cargas no lineales, las cuales producen deformaciones de la onda de corriente, que a su vez causan disturbios en equipos sensibles, tales como equipos electrónicos y de telecomunicaciones.
EN50160	1994	Básicamente trata de las características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. Define las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión, en condiciones normales de explotación, en el punto de entrega al cliente. [20]
IEEE1159	1995	Establece el monitoreo de la CPE para sistemas monofásicos y polifásicos en CA, además de presentar recomendaciones para el desarrollo de técnicas de monitoreo e interpretación de estudios. Posteriormente tiene una actualización en el 2009. [8]
IEC 61000-4-7	2002	Establece técnicas de ensayo y medición, además de ser una guía general sobre mediciones e instrumentación de armónicos e interarmónicos, para sistemas de alimentación y equipos conectados a este [20].
IEEE1250 [21]	2011	Establece la descripción de los fenómenos o disturbios asociados a la onda de tensión, así como también de su identificación, efecto y posibles correcciones, enmarcados en los sistemas de distribución Establece límites de distorsión armónica y consideraciones acerca del entorno operativo de equipos sensibles.
IEC 61000-4-15	2013	Establece la compatibilidad electromagnética (CEM), además de establecer las técnicas de medida del parpadeo (flicker). Expone las especificaciones funcionales y de diseño para cumplir con los niveles de percepción de fluctuación luminosa [20].

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Perturbaciones en la energía eléctrica

Las perturbaciones en la energía suministrada de C.A. pueden ser clasificadas como las desviaciones en uno o más de los siguientes aspectos relacionados con el voltaje ([1] ANSI/IEEE Std. 399-1980, IEEE Recommended Practice For Power System Analysis.):

- a) Amplitud de la onda
- b) Forma de la onda
- c) Valor de la frecuencia
- d) Relación de fase

De éstos, las desviaciones frecuentemente encontradas ocurren en el voltaje como sigue:

- Valores del estado-estable (valores promedio), incluso el desbalance
- Interrupciones (prolongadas y de corta duración)
- Elevaciones y depresiones de voltaje (momentáneas)
- Impulsos y ruido

Nota: el término transitorio se aplica solo marginalmente a los puntos (c) y (d).

La mayoría de las perturbaciones involucra: impulsos en el voltaje de línea, ruido, transitorios, cambio en la magnitud de voltaje en estado-estable, o alguna combinación de éstos, y la mayoría son de duración corta.

La fluctuación de voltaje es una variación sistemática de la envolvente del voltaje o una serie de cambios aleatorios en el voltaje, cuya magnitud normalmente no excede los rangos de voltaje especificados por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) C84.1-198210 de 0,9 a 1,1 p.u.

Tabla 2. Causas Típicas y Duración de Perturbaciones.

Duración	Causas típicas
1s-1min	Estas perturbaciones son normalmente atribuidas a las fallas acompañadas por un decremento en el voltaje de 50-100% en una o más fases, a menudo producen interrupciones prolongadas en alguna parte del sistema. Si la carga está en el lado donde se liberó la falla, la perturbación se vuelve una interrupción en el suministro de energía. Si está en el lado de fuente o antes del dispositivo de protección que libera la falla, el voltaje puede restaurarse a su valor inicial.
10-40 ciclos*	Estas perturbaciones son elevaciones y depresiones de voltaje debido al funcionamiento de interruptores de baja velocidad, recierres después de liberar fallas en los circuitos adyacentes, cambio de TAP en transformadores bajo carga, reguladores, o arranque de grandes motores, solo por mencionar algunas causas.
0-8 ciclos	Las perturbaciones de esta duración son elevaciones en el voltaje, pero más a menudo depresiones de voltaje, causadas por una falla y la subsiguiente acción de los dispositivos de protección o la operación de interruptores de alta velocidad en circuitos adyacentes. Las cargas monofásicas crean las elevaciones de voltaje en las fases sin carga y mientras que en las fases con carga causan depresiones en la magnitud de voltaje.
0,001-1 ciclos	Estas perturbaciones son elevaciones y depresiones de voltaje de corta duración causadas por DPS (Dispositivo de protección contra sobretensiones) o apartarrayos, suicheo de carga o capacitores, y fallas de corta-duración. Cualquier perturbación cuya duración sea menor de 1 ciclo puede ser difícil de comparar directamente con aquellas que duran mucho más tiempo.
Menor a 0,0001 Ciclos	Estas perturbaciones generalmente se clasifican como impulsos. (Se originan durante operaciones de suicheo, pero pueden asociarse con otras perturbaciones transitorias). Los impulsos pueden tener cualquier polaridad, en un evento puede haber un incremento y decremento rápido en el tiempo, o pueden ser oscilatoriamente-amortiguados. También puede haber impulsos múltiples. Pueden sincronizarse con la frecuencia del sistema de potencia, o pueden ocurrir en forma aleatoria.

*Un ciclo equivale a 16,67 ms, porque frecuencia $[f] = 1 / \text{período [T]}$, importante anotar que en Colombia la $f = 60 \text{ Hz} = 60 \text{ ciclos/s}$, luego $T = 1 / f = 1/60 \text{ Hz} = 0,01667 \text{ s} = 16,67 \text{ ms}$.

Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

Tabla 3. Típicas Perturbaciones en Sistemas de Potencia.

Tipo de Perturbación	Nivel de Voltaje	Duración de Perturbación
Interrupción	Menor del 85% Vrms	Más de 10 s
Bajo y sobre voltajes momentáneos (elevaciones y depresiones de voltaje)	Debajo de 85% Vrms y arriba de 105% Vrms	De 16,7 ms (1ciclo) a 10 s
Sobrevoltajes transitorios (impulsos o picos)	100% Vrms o superior (medido como el voltaje instantáneo sobre o debajo del Vrms de línea)	Menos de 16,7 ms (1ciclo)

Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

La distorsión en la forma de onda es una desviación de estado-estable de una onda senoidal ideal a la frecuencia del sistema caracterizada principalmente por una desviación en el contenido espectral, el cual es a menudo encontrado en inspecciones de la calidad de la energía. Puede caracterizarse en forma general en fenómenos síncronos o asíncronos. El término síncrono se refiere al sincronismo con la forma de onda de C.A. (es decir, en sincronismo con la "frecuencia del sistema" la cual usualmente es 60 Hz en Norte América y en Colombia y 50 Hz en otros países).

4.1.3.1. Interrupciones momentáneas y de larga duración:

La definición de una interrupción "momentánea" está sujeta a gran controversia. Ciertamente una interrupción de muchos ciclos no es momentánea, las interrupciones momentáneas son clasificadas como interrupciones en el rango de 0,1 a 1,0 ciclos. Las interrupciones de menor duración son llamadas recortes. Las interrupciones de mayor duración ocurren cuando el voltaje de suministro o de la carga se colapsa por un período de tiempo que no excede 1 minuto; estas son llamadas interrupciones de corta duración, en la **figura 2** se muestran estas perturbaciones en la señal de voltaje Vs tiempo.

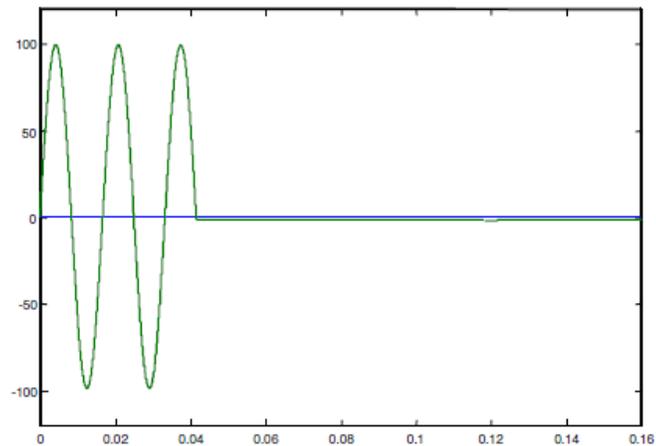
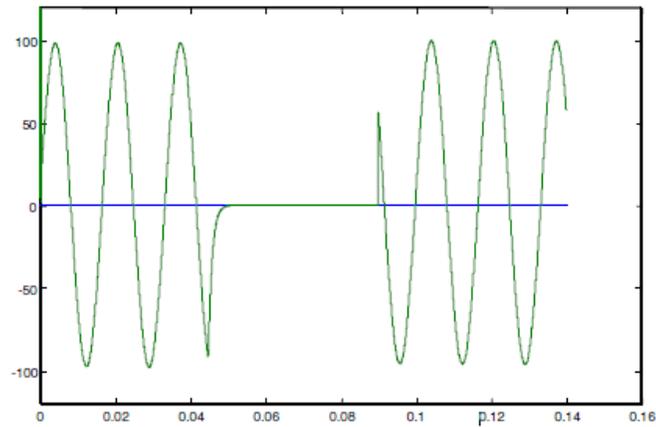


Figura 2 Interrupción momentánea (arriba) y prolongada (abajo).
 Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

4.1.3.2. Ruido

El ruido también llamado Noise, son señales eléctricas no deseadas, ver la **figura 3** donde se muestra la señal de ruido presente en el voltaje Vs tiempo, con un contenido espectral abajo de los 200 kHz sobrepuesto en la onda de voltaje o corriente. El ruido puede ser provocado por conexiones defectuosas en el sistema de transmisión o distribución. También puede ser el resultado de la operación de hornos de arco u otros mecanismos en donde la conducción es estocástica.

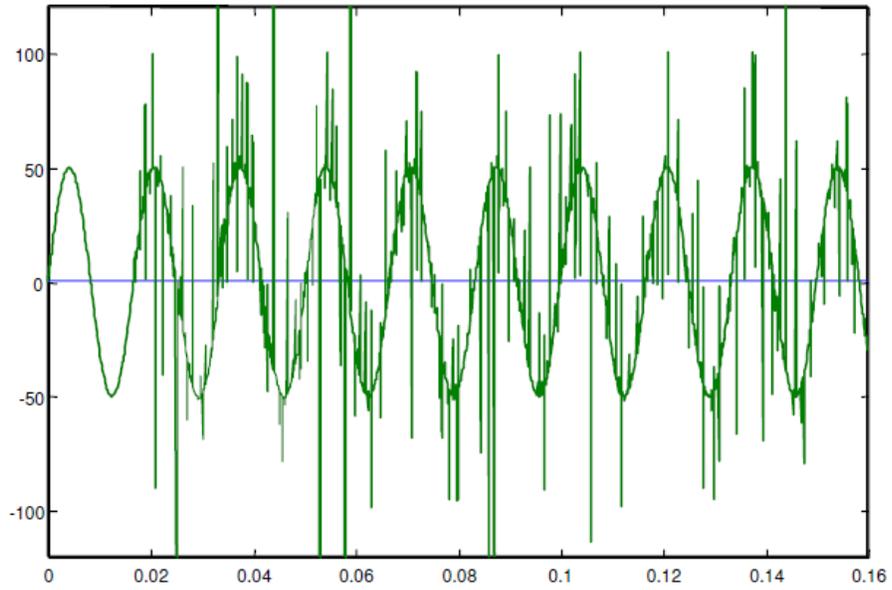


Figura 3. Ruido

Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

4.1.3.3. Distorsión armónica

La distorsión armónica consiste en voltajes o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la Frecuencia fundamental, que en Colombia es de 60 Hz, ver la **figura 4**, donde se muestra una señal de voltaje distorsionada por un tercer armónico Vs tiempo.

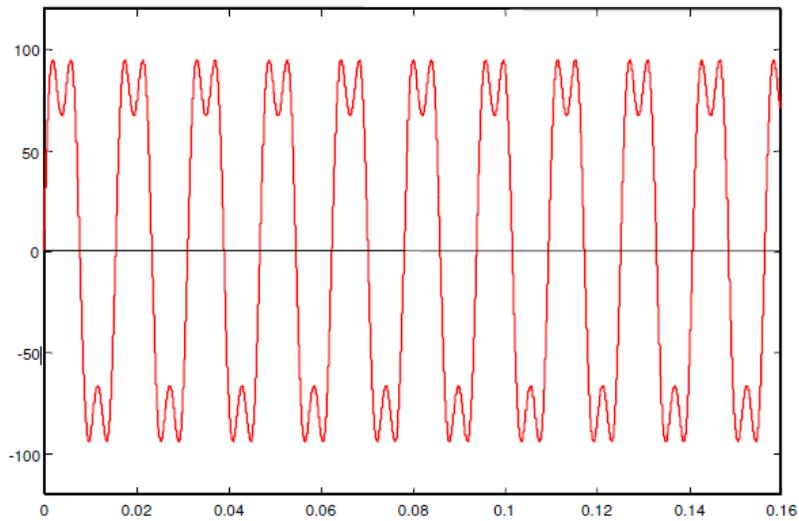


Figura 4. Distorsión armónica en la señal de voltaje

Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

Las inter-armónicas son voltajes o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la que el sistema del suministro se diseñó para operar.

4.1.3.4. Impulsos

En la categoría de impulsos asíncronos uno encuentra ciertas elevaciones de voltaje debido a conexión o desconexión de cargas o debidos a descargas atmosféricas. La corriente de magnetización de ciertas cargas puede contener cierto tipo de impulsos.

El término impulso se refiere a un voltaje transitorio desarrollado en una prueba de laboratorio. Se distingue del término elevación de voltaje que es un transitorio que se desarrolla en la naturaleza.

El impulso transitorio se refiere a un cambio súbito en la condición del estado-estable del voltaje, corriente, o ambos, es unidireccional en polaridad; ver **figura 5**, donde se muestra una señal de impulso sobre una de voltaje Vs tiempo.

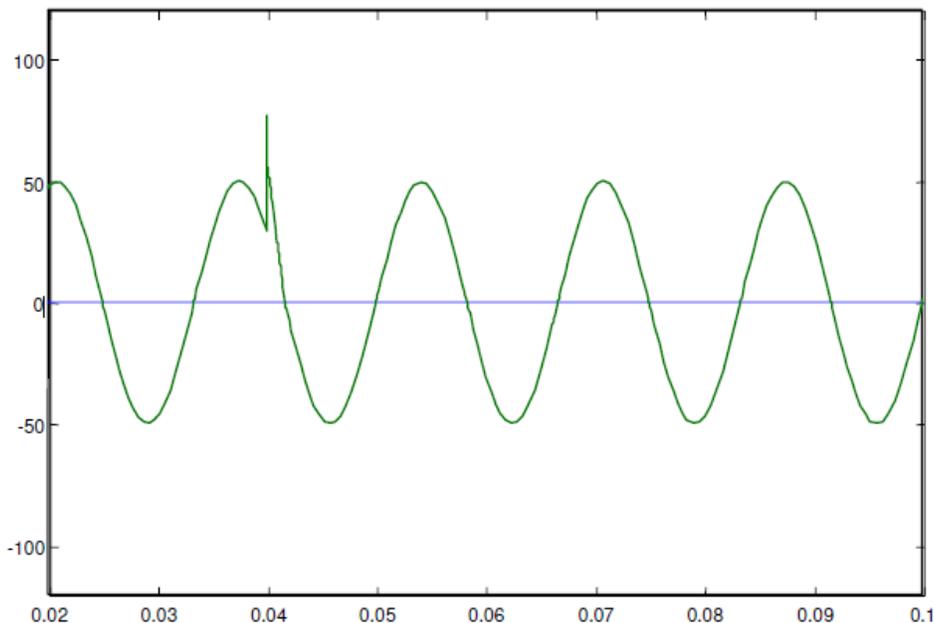


Figura 5. Impulso

Fuente: Tomada de Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

4.1.3.5. Ranuras

Es una variación de los impulsos asíncronos discutida anteriormente. Estas ranuras, son perturbaciones periódicas en el voltaje causadas por el funcionamiento normal de dispositivos con

electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Se caracterizan por una disminución en la forma de onda de voltaje (o corriente). (Arizpe, Santiago, Rosales, & Escamilla, 2013)

4.1.3.6. Caída momentánea de tensión (Sag –DIPS)

Es una reducción en la tensión RMS por debajo de lo permitido a frecuencia industrial o fundamental con una duración mayor a medio ciclo, pero menor a 2 minutos (ver **Figura 6**). Puede ser causada por fallas en sistemas de transmisión o distribución, o por suicheo de corrientes elevadas, causar emplazamiento de cargas sensibles y mala operación.

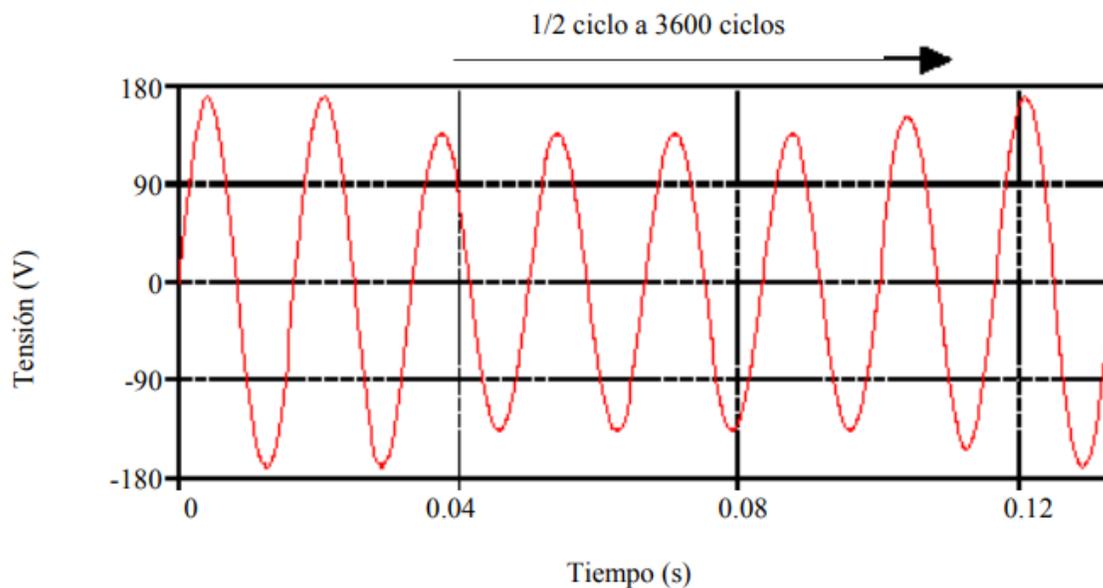


Figura 6. DIPS o Sag

Fuente: Tomada de (Ramírez Castaño & Cano Plata, 2003)

4.2. Marco conceptual

Se menciona el **artículo 1** de la resolución 096 del 2000 de la CREG, que define y concreta los valores para tener en cuenta en los estándares la calidad de la potencia suministrada.

4.2.1. Estándares de calidad de la potencia suministrada

Los siguientes indicadores miden la calidad de la potencia suministrada por un OR:

4.2.1.1. Frecuencia y Tensión

La frecuencia nominal del SIN y su rango de variación de operación son las establecidas en el Código de Operación incluido en el Código de Redes (Resolución CREG 025 de 1995 y aquellas que la modifiquen, complementen o sustituyan). Los Operadores de Red no son agentes responsables por el control de la frecuencia en el SIN, el responsable es XM de ISA, con el Centro Nacional de Despacho (CND) que es el encargado de la planeación, la supervisión y el control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional, teniendo como objetivo una operación segura, confiable y económica. (ISA, n.d.)

Las tensiones en estado estacionario a 60 Hz y sus variaciones permisibles, son las establecidas en la norma NTC 1340, o aquella que la modifique o sustituya.

Los perfiles de tensión en el sistema son analizados de acuerdo con las recomendaciones de la norma NTC 5001 “Calidad de la Potencia Eléctrica. Límites y Metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común”, en la cual se establecen los valores de referencia para las variaciones de tensión de estado estable, tal como se indica en la Tabla siguiente.

Tabla 4 *Límites de variación de tensión*

Tipo de sistema	Tolerancia de variación de tensión
General	+10%, -10%

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008), 7.1.5 valores de referencia

Las variaciones de tensión en el sistema son analizadas de acuerdo con las recomendaciones de la norma IEEE std. 1100 “IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding

Sensitive Electronic Equipment” en la cual se distingue entre equipos de inmunidad normal y equipos de inmunidad crítica ante variaciones de tensión, tal como se indica en la Tabla siguiente.

Tabla 5 *Límites de variación de tensión para equipo electrónico*

Inmunidad del equipo	Tolerancia de variación de tensión
Normal	+ 10%, 15%
Crítica	± 5%

Fuente: extraído de (Douglas et al., 2005) 4.3 (Voltage disturbances—subtractive)

4.2.1.2. Análisis de frecuencia

Este análisis se realiza orientado a detectar la variación de frecuencia que se presenta en la red que alimenta las cargas. En la norma NTC 5001 establece los límites tolerables de variación de frecuencia para los tipos de redes contemplados, tal como se indica en la Tabla siguiente.

Tabla 6 *Límites de variación de frecuencia para equipo electrónico*

Tipo de red	Frecuencia aceptable durante el 95% de los datos tomados de una semana	Frecuencia aceptable durante el 100% de los datos tomados de una semana
Redes acopladas por enlaces síncronos a un sistema interconectado	Todos mayores a 59,8 Hz y todos menores a 60,2 Hz	Todos mayores a 57,5 Hz y todos menores a 63 Hz
Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de distribución en regiones no interconectadas e islas)	Todos mayores a 59,8 Hz y todos menores a 60,2 Hz	Todos mayores a 51 Hz y todos menores a 69 Hz

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

4.2.1.3. Desbalance de tensión

De acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común”, para circuitos urbanos, el

99% de los valores de desbalance de tensión evaluados deben estar dentro de los valores de referencia; y para para circuitos rurales, el 95% de los valores de desbalance de tensión evaluados deben estar dentro de los valores de referencia, tal como se indica en la Tabla siguiente.

Tabla 7 Porcentaje máximo de desbalance de tensión

Rango de Tensión	Valor de Referencia
$V_n < 69 \text{ kV}$	2,0%
$V_n \geq 69 \text{ kV}$	1,5%

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

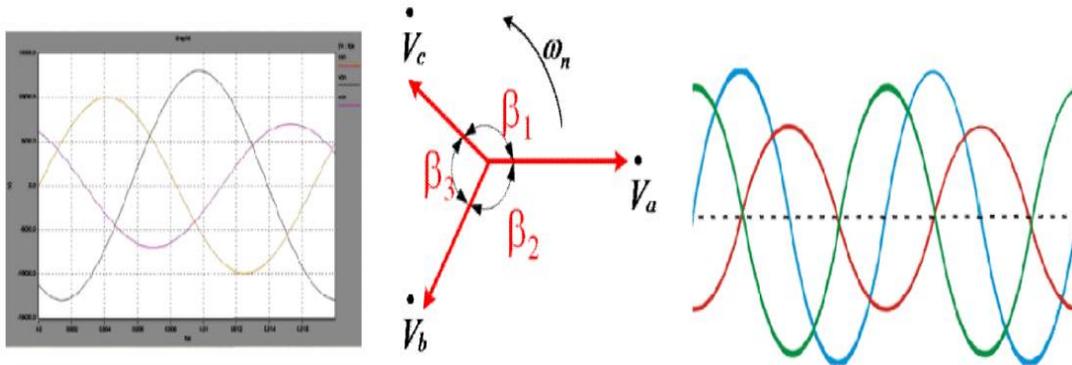


Figura 7. Desbalance de tensión.
Fuente: extraído de (Armónico, 2008)

4.2.1.4. Curva ITIC-CBEMA

La curva ITIC (Information Technology Industry Council), también conocida como la curva CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association), mostrada en la **Figura 8** describe la tolerancia que puedan soportar los equipos a los diferentes cambios de la tensión. Esta tabla es de especial importancia a la hora de proteger los equipos de control, se creó para ofrecer pautas de protección a los diseñadores de equipos frente a cualquier tipo de perturbación que afecte a los niveles de tensión. La curva es aplicable solamente para tensiones monofásicas de 120 voltios nominales de valor eficaz y 60 Hz y no está definida para servir como especificación en el diseño de equipos o de sistemas de distribución de corriente alterna.

Fuera de esta región de tolerancia se definen dos regiones desfavorables. La región de funcionamiento sin deterioro incluye huecos e interrupciones de tensión más severas que las especificadas anteriormente y que aplican tensiones inferiores al límite mínimo de la tolerancia en el estado estacionario. En esta región no se espera que los equipos funcionen correctamente, pero, en cambio, no es de esperar ningún daño sobre ellos. En la región restante, denominada región prohibida, incluye sobretensiones que superan el límite superior de la curva y es una región para evitar, ya que si se somete a los equipos a tensiones con estas condiciones se puede esperar que se produzca su avería.

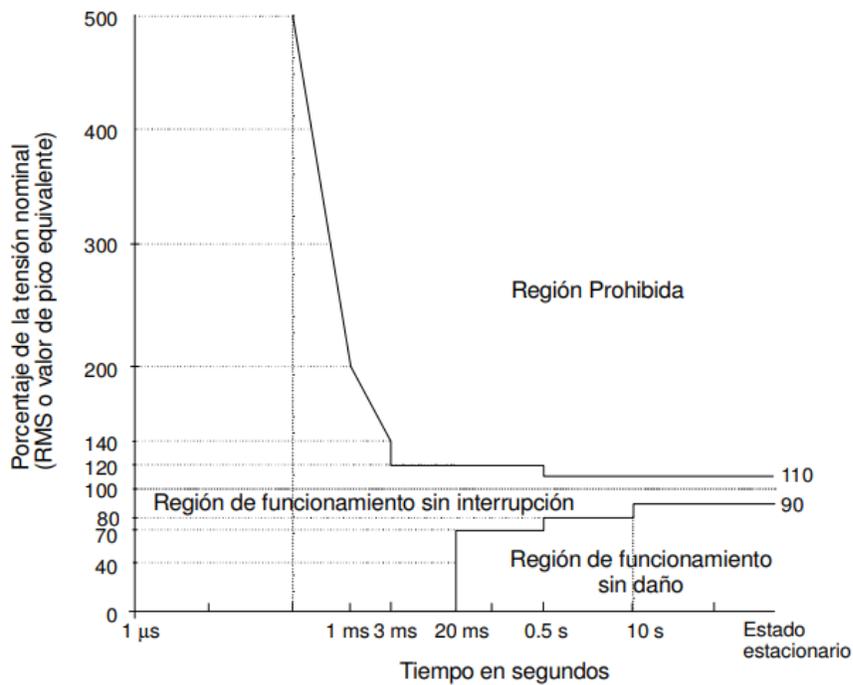


Figura 8. Curva ITIC

Fuente: extraído de (Perez Fernandez, 2006)

4.2.1.5. Desbalance en corriente

Este índice caracteriza la magnitud y asimetría del ángulo de fase de las corrientes trifásicas en operación de estado estable.

El factor de desbalance en corriente es definido usando la teoría de componentes simétricas, como la relación entre la componente de secuencia negativa de la corriente y la componente de secuencia positiva.

Las causas de este fenómeno se deben a: una carga desbalanceada en instalaciones eléctricas de usuarios. Desbalances en tensión en la red de distribución, fuentes de generación en el usuario con características desbalanceadas o con funcionamiento anormal, asimetrías en las impedancias de línea. Presencia de armónicos en corriente.

Entre los principales efectos del desbalance en corriente se tienen: Desbalances en tensión que puedan afectar el suministro a otro usuario en la red de distribución, descompensación en la cargabilidad de circuitos, mayores pérdidas en los circuitos al exceder capacidades de conductores, elevación del potencial de neutro, debido al aumento de corriente por este conductor.

Valor de referencia

Bajo condiciones de operación normal, se recomienda que el desbalance en corriente debe cumpla con los valores objetivo, dados a continuación durante el 95 % del tiempo:

Tabla 8. *Límites máximos de desbalance en corriente*

Rango de Tensión	Valor de Referencia
$V_n > 62 \text{ kV}$	Desbalance en corriente $> 5 \%$.
$V_n \leq 62 \text{ kV}$	Desbalance en corriente $\leq 20 \%$ (IEEE 446 1995 Orange Book)

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

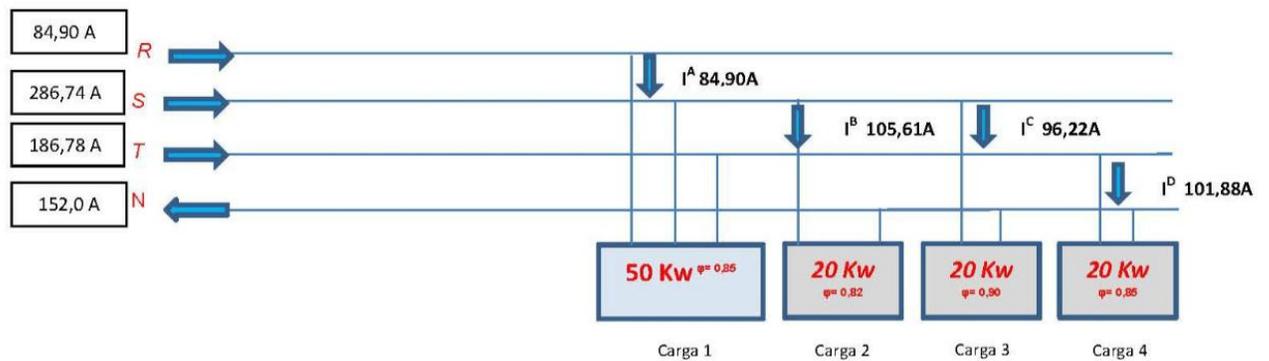


Figura 9. Sistema con cargas desbalanceadas
Fuente: extraído de (“Equilibrio Trifásico,” n.d.)

4.2.1.6. Contenido de Armónicos de las Ondas de Tensión y Corriente

Son el contenido de ondas con frecuencias que son múltiplos de la frecuencia normal de suministro (60 Hz) y son el resultado de cargas no lineales en el STR y/o SDL. Tanto el OR como los Usuarios conectados a su red podrán seguir las recomendaciones establecidas en la guía IEEE 519 - [1992] o la que la modifique o sustituya.

Los armónicos son analizados con base en la norma la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común”, mediante el cálculo de los índices de distorsión de las variables eléctricas.

4.2.1.6.1. Índices para armónicos de tensión

En condiciones normales de operación, se deben calcular los percentiles al 95% de los valores de distorsión armónica individual y la distorsión armónica total (THDV) de tensión, en porcentaje de la tensión nominal a frecuencia fundamental. La siguiente Tabla establece estos límites.

Tabla 9 Límites de distorsión armónica de tensión

Rango de tensión [kV]	Distorsión armónica individual de tensión DV [%]	Distorsión armónica total de tensión THDV [%]
$1 < V_n \leq 69$	3,0	5,0
$69 < V_n \leq 161$	1,5	2,5
$V_n > 161$	1,0	1,5

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

4.2.1.6.2. Índices para armónicos de corriente

En la siguiente Tabla 10 se muestran los límites para el contenido de armónicos de corriente en sistemas con tensiones entre 120 V y 69 kV.

Tabla 10 Límites de distorsión armónica de corriente para sistemas con tensiones de 120 V hasta 69 kV

Isc/IL	Armónicos individuales (%)					TDD (%)
	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

h: Orden del armónico.

TDD: Distorsión armónica total en porcentaje de la corriente de demanda máxima.

ISC: Máxima corriente de cortocircuito en el punto de conexión común (PCC).

IL: Promedio de la máxima corriente de carga demandada (componente fundamental) en el PCC o en el punto de medida.

4.2.1.7. ANÁLISIS DE CARGA

En los transformadores de potencia se evalúa el porcentaje máximo de carga admisible de acuerdo con la presencia de armónicos, como lo recomienda la norma ANSI/IEEE C57. 110 “Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents”.

4.2.1.8. “Flicker” o Parpadeo

Es el encargado de medir las variaciones de tensión causadas fundamentalmente por cargas tales como hornos de arco, acerías y otros equipos de gran consumo, que usualmente se traducen en la distorsión de la onda de tensión. En lo referente a este estándar, tanto el OR como los Usuarios conectados a su sistema podrán seguir las recomendaciones establecidas en la guía IEEE-519 [1992] o la que la modifique o sustituya.

Los flickers se derivan de las variaciones de tensión y es percibido por la visión humana por una emisión cambiante de la iluminación. El nivel de severidad de los flickers se analiza de acuerdo con la duración del flicker, clasificados como: de larga duración (Plt) y son evaluados únicamente en el punto de conexión común. En la siguiente Tabla se presentan los límites de referencia de la Norma Técnica Colombiana NTC 5001.

Tabla 11 *Límites de referencia de Flickers*

Tensión nominal [kV]	Límite de referencia Plt95% [p.u]
$V_n < 69 \text{ kV}$	1,0 p.u
$V_n \geq 69 \text{ kV}$	0,8 p.u

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

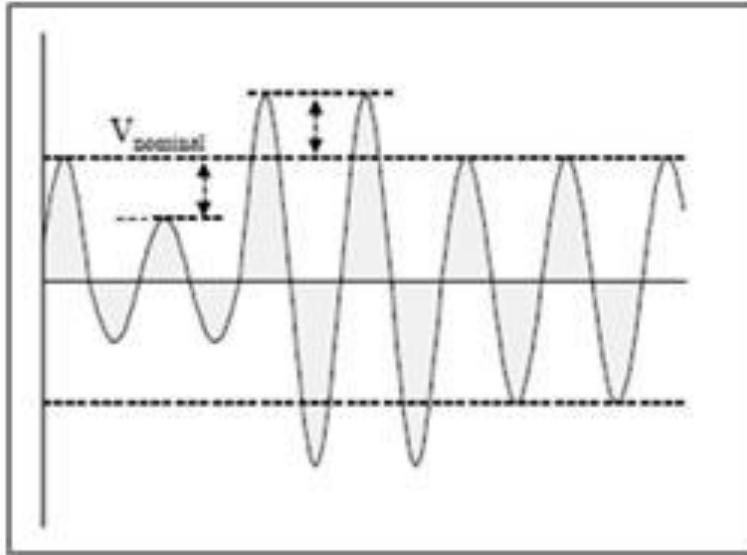


Figura 10. Fluctuaciones de tensión o flickers
Fuente: extraído de (Puello, 2012)

4.2.1.9. Factor de Potencia (F.P.)

El factor de potencia mínimo permisible es el establecido en el Artículo 25 de la Resolución CREG 108 de 1997 o posteriores que la modifiquen o sustituyan.

Se tiene en cuenta también los parámetros establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común; debe permanecer durante el 95% del periodo de registro entre 0,9 y 1; conjuntamente para el factor de potencia inductivo como capacitivo. Aclarando que según la resolución de la CREG 019 de 2017 se le cobrará a un usuario final un reactiva inductiva superior al 50% de la energía activa, o cuando la energía activa sea cero y halla consumo de reactiva inductiva se cobrará la cantidad consumida de esta última energía; y en el caso de la energía Reactiva capacitiva se le facturará independientemente del valor de energía activa, se cobrará el costo de transporte de energía reactiva capacitiva sobre la totalidad de energía reactiva registrada. De tal forma que el ángulo **theta** o θ del diagrama de potencias se encuentre durante 95% del tiempo entre -25° y 25°

F.P. $\cos \theta$
Valores límite: $-25^\circ < \theta < 25^\circ$

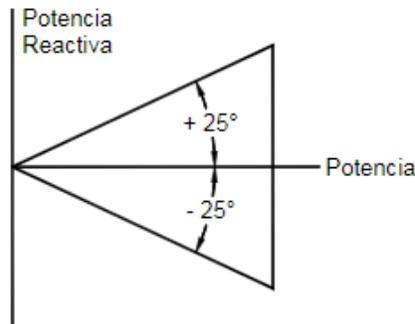


Figura 11. Valores límites del factor de potencia

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

4.2.1.10. Transitorios Electromagnéticos Rápidos y Fluctuaciones de Tensión

Es todo fenómeno que origine distorsiones transitorias de las ondas de tensión y corriente respecto a su forma y frecuencia permisibles.

Cuando se detecten fenómenos electromagnéticos que perjudiquen a Usuarios conectados a un STR y/o SDL, el OR juntamente con el Usuario afectado deberán buscar la causa del fenómeno y solucionarlo siguiendo las disposiciones contenidas en el numeral 6.2.2 de esta Resolución. Sin embargo, cuando el problema causado por un Usuario sea grave e involucre a otro(s) usuario(s), el OR deberá desconectar el equipo causante del problema o en su defecto al Usuario respectivo, inmediatamente se identifique que el problema está en sus instalaciones. Para el análisis de este tipo de fenómenos se podrán seguir las recomendaciones de la guía IEEE-1159 [1995] o la que la modifique o sustituya.”

Igualmente se tendrá en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común”. Los parámetros para evaluar los efectos de las muestas en onda de tensión se, son la profundidad en porcentaje de la tensión media durante la muesca y el área total de la muesca. En la siguiente Tabla se establecen los límites para estos dos parámetros.

Tabla 12 Límites para las muescas en sistemas de baja tensión

Parámetro	Aplicaciones	Sistemas	Sistema
	Especiales*	Generales	Dedicado**
Profundidad de la muesca	10 %	20 %	50 %
Área de la muesca ($\mu\text{s} \cdot \text{V}$) para sistemas a 480 V	16,400	22,800	36,500

* Hospitales y aeropuertos

** Sistema dedicado al rectificado de la carga

Nota: El valor del área de muesca de tensión de línea, para sistemas diferentes a 480 V debe ser multiplicada por $V/480$

Fuente: extraído de (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008)

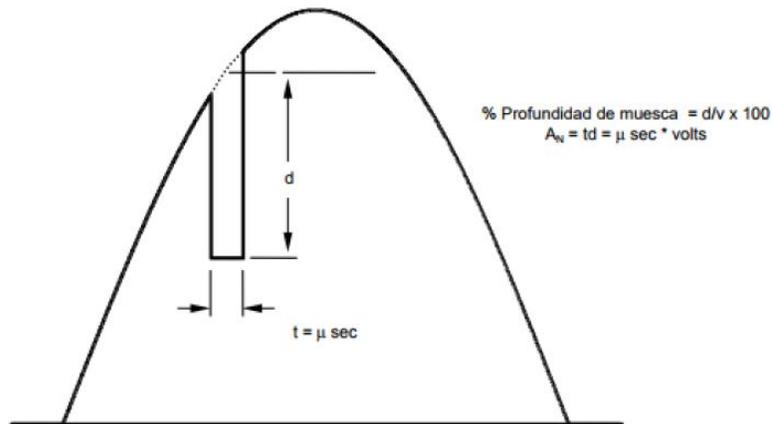


Figura 12. Profundidad y área de muesca

Fuente: extraído de (Tierny, Vandeborre, & Daoudi, 2008)

4.2.1.11. ANÁLISIS DE EVENTOS

Los eventos registrados en los puntos de instalación del equipo son analizados con base en la curva ITIC, aplicable a equipos electrónicos, a fin de establecer su grado de riesgo en comparación con estándares de calidad de la potencia eléctrica requeridos por equipos electrónicos y de cómputo.

4.2.2. Plazos para corregir las deficiencias en la calidad de la potencia suministrada

El OR tendrá un plazo máximo de treinta (30) días hábiles para corregir las deficiencias en la Calidad de la Potencia Suministrada de acuerdo con lo establecido en los numerales 6.2.1.1 al 6.2.1.5 de la Resolución 096 del 2000 de la CREG.

Cuando las deficiencias se deban a la carga de un Usuario conectado al STR y/o SDL, el OR, como responsable de la Calidad de la Potencia, una vez identifique al Usuario responsable deberá establecer juntamente con este último, un plazo máximo razonable para la corrección de la deficiencia. Si transcurrido el plazo fijado no se ha efectuado la corrección pertinente, el OR deberá desconectar el equipo causante de la deficiencia o en su defecto al Usuario respectivo, informando a la SSPD con dos (2) días hábiles de anticipación al corte.

5. Metodología

5.1. Tipo de investigación

Esta propuesta se desarrolla con el método de la investigación aplicada, se busca adaptar las teorías de la tecnología eléctrica vistas principalmente en las asignaturas de Análisis de circuitos II, Transporte de energía y calidad de la energía.

El estudio se realiza con ayuda gracias a la investigación y profundización en las asignaturas mencionadas aplicadas al montaje de equipos de mediciones y todos los elementos que lo conforman. El proyecto comienza principalmente en la búsqueda de información de temas referentes a la calidad de energía eléctrica para sistemas eléctricos enfocada en medición y sus normas; en bibliotecas, artículos y publicaciones utilizando diversas bases de datos especializados.

5.2. Método

El método con el cual se obtendrá la información se basa en la obtención de conclusiones a partir de la observación, visitas técnicas a campo, mediciones con equipos especiales, simulación, análisis de hechos y análisis de síntesis basadas en la normatividad vigente que exige para la calidad de la energía eléctrica. Al finalizar se obtiene un Proyecto prototípico con los siguientes entregables:

- Levantamiento de datos que se consultará en la I. U. Pascual Bravo como planos eléctricos, placas nominales de los equipos eléctricos instalados para el suministro de energía y las principales necesidades que se tienen por parte de la calidad de la energía suministrada en la subestación eléctrica. De igual forma se instalará y se parametrizará el analizador de redes en la subestación para capturar datos según lo recomiendan las normas vigentes.
- Evaluar los datos tomados por el analizador, las mediciones realizadas con el cumplimiento de la normatividad que hay actualmente en la calidad de la energía eléctrica.

- Aportar observaciones, propuestas y recomendaciones arrojadas después del análisis para el mejoramiento que conlleven a los estándares de calidad respecto a los valores patrones que exigen las normas actuales.

5.3. Población y muestra

El prototipo de análisis se desarrolló a partir de la subestación del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, en razón de que no se tienen estudios anteriores a la calidad de la energía eléctrica, lo cual indica un índice de probabilidad de exposición ante daños en la sistemas y/o circuitos eléctricos o en otros casos en tener penalizaciones ante el operador de red, por bajar los estándares de calidad de la energía a la red que lo suministra. Con este análisis entonces, se minimizaría el riesgo de tener daños en los equipos eléctricos, una buena utilización de la energía eléctrica y una estandarización de la calidad para evitar multas futuras que se puedan presentar.

5.4. Instrumentos de recolección de información

5.4.1. Fuentes primarias.

En el desarrollo del trabajo de grado se usaron los conceptos técnicos aplicados a la calidad de la energía eléctrica, para lo cual se consultaron las siguientes normas técnicas:

IEEE std. 1100 “IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment

Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en el punto de conexión común. 2008 – 05 – 28.

IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power system. ANSI/IEEE - Std. 519 – 2014.

IEE Recommended practice for establishing liquid-filled and dry-type power and distribution transformer capability when supplying nonsinusoidal load currents. ANSI/IEEE C57.110 - 2008.

IEEE recommended practice for practice of powering and grounding electronic equipment.
ANSI/IEEE Std. 1100 - 2005.

IEEE recommended practice for the analysis of fluctuating installations on power systems. IEEE Std 1453 2015.

Convenciones de dibujo y diagramación de planos.

5.4.2. Fuentes secundarias

Los recursos requeridos para desarrollar el análisis de la calidad de la energía son los siguientes:

Equipo analizador de redes clase A con su respectivo manual como lo recomienda la norma CREG 024 de 2005, que nos habla también de un plan para instalar el sistema de medición y registro.

Plano eléctrico con su debido diagrama unifilar y cuadro de cargas del bloque 6 de la I.U.
Pascual Bravo.

6. Resultados del Proyecto

El presente trabajo de grado se desarrolló a partir de lo planteado en los objetivos específicos y, de esta manera, encontrándonos en el camino sin ningún tipo de información de datos anteriores de calidad de la energía eléctrica del bloque 6 de la I.U. Pascual Bravo, para lo cual fue necesario tener mayor disponibilidad y poder lograr el objetivo general para la propuesta de los estudios en calidad de la energía para la subestación del bloque 6 de la I. U. Pascual Bravo.

6.1. Recolección de la información

La información se recolectó con ayuda de un analizador de redes, que se instaló durante una semana, el cual tomó los registros de las variables eléctricas de la subestación de energía, además de eventos que perturben la calidad de la energía eléctrica en la Institución. Esto se realizó con ayuda de planeación de la Institución para la logística y verificación de su instalación.

6.2. Recursos disponibles

Para el registro de variables eléctricas se utilizó un analizador de redes PW3198 marca HIOKI con sus respectivas pinzas de tensión y corriente, y los elementos de protección personal para cada integrante del grupo. Estas especificaciones se encontrarán más adelante en el desarrollo del trabajo

6.3. Visitas a campo

Se realizan varias visitas a la subestación con el fin de instalar el analizador y realizar la verificación de planos que tiene la Institución, estas fechas fueron: octubre y noviembre del 2018 en este tiempo se tuvieron varias dificultades con la parametrización del equipo, con la obligación de realizar otras mediciones en febrero y marzo del 2019.

6.4. Equipo para la medición y análisis de la calidad de la energía.

El analizador utilizado para la captación de información para su posterior análisis es el analizador de calidad de la energía PW3198 marca HIOKI



Figura 13. Analizador de redes utilizado
Fuente: Registro fotográfico propio

6.4.1. Descripción del equipo

El analizador de Calidad de Energía PW3198 es un instrumento analítico para el monitoreo y grabación de anomalías en el suministro de energía, permitiendo investigar rápidamente las causas. Se puede usar el instrumento para evaluar problemas en el suministro de energía (caídas de voltaje, fluctuaciones, armónicos etc.)

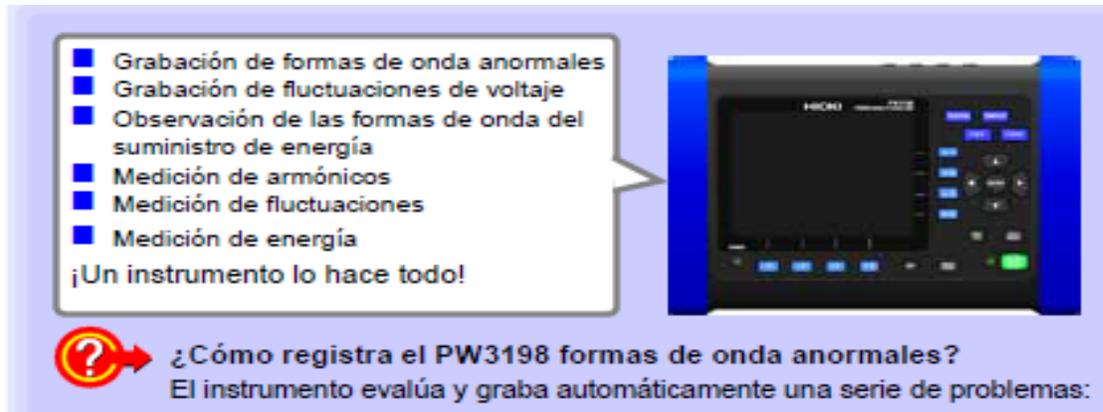


Figura 14. Descripción del equipo
Fuente: (Calidad, 2014)

6.4.2. Características del equipo

Capaz de aceptar suministros de energía monofásicos 2 cables, monofásicos 3 cables, trifásicos 3 cables y trifásicos 4 cables.

Tiene canales aislados para análisis de equipo, medición de fallas a tierra en el neutro y medición de líneas de suministro de energía desde equipos separados.

Permite seleccionar voltaje de línea o voltaje de fase. Incluye la funcionalidad de conversión Δ -Y y Y- Δ .

Pantalla TFT LCD a color fácilmente visible en ambientes luminosos u oscuros.

Capacidad para medidas reales simultáneas con operación sin espacios vacíos, asegurando su capacidad de capturar fenómenos objetivo en forma confiable.

Capaz de evaluar con precisión la hora en que ocurren los fenómenos. La opción GPS permite corrección a la hora.

Se puede operar con confianza durante un período largo sin suministro gracias a un generoso tiempo de 180 minutos de operación a batería.

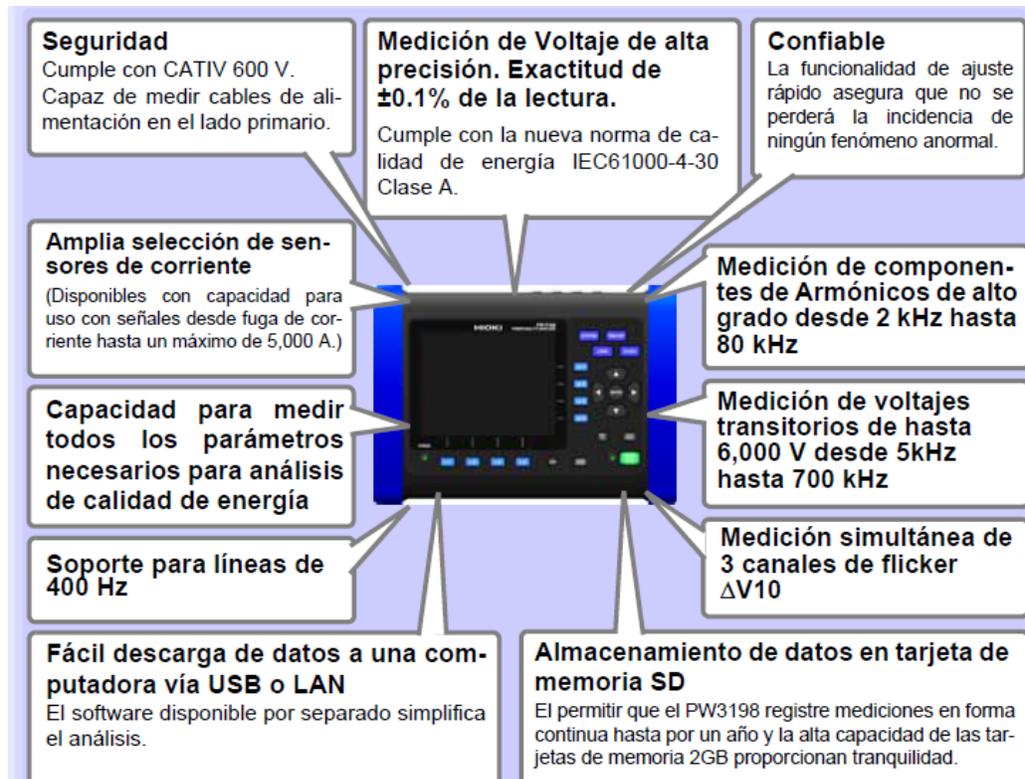


Figura 15. Características del equipo
Fuente: (Calidad, 2014)

6.4.3. Métodos de medida

Para la medición de cada una de las perturbaciones de calidad de potencia eléctrica establecidos en esta norma, los instrumentos, equipos o analizadores de redes a utilizar deben estar acordes con los métodos y procedimientos establecidos en la última versión de la norma NTC-IEC 61000-4-30 Técnicas de medida y ensayo- Métodos de medida de calidad de la potencia eléctrica. (Testing and Measurement Techniques -Power quality Measurement Methods)

6.4.3.1. Medidas clase A

Deben emplearse medidores Clase A de acuerdo a la norma IEC 61000-4-30, cuando se requiere de medidas precisas para efectos de aplicaciones contractuales, verificación del

cumplimiento de los valores de referencia estipulados en esta norma o en el caso de resolver reclamaciones o disputas entre un operador de red y un cliente.

Cualquier medida de las perturbaciones de calidad de potencia definidas en esta norma y llevadas a cabo con dos diferentes instrumentos que cumplan con los requerimientos para Clase A, al medir las mismas señales producirán resultados similares dentro de la incertidumbre especificada. Cabe resaltar que este método es el utilizado en este trabajo.

6.4.3.2. Medidas clase B

Medidores Clase B podrán emplearse para investigaciones estadísticas, estudios de diagnóstico en instalaciones y otras aplicaciones donde no se requiere una alta precisión o baja incertidumbre.

El método de medición sugerido será indicado en la norma IEC 61000-4-30 Técnicas de medida y ensayo- Métodos de medida de calidad de la potencia eléctrica. (Testíng and Measurement Techníques -Power quafíty Measurement Methods).

6.5. Instalación del equipo analizador de redes

Contando con acompañamiento del personal de mantenimiento de la Institución y con el fin de registrar los aspectos más relevantes de calidad de potencia eléctrica, se conectó un analizador de redes durante siete días a la salida del transformador de 800 kVA. Se buscó efectuar mediciones de potencia, voltaje, desbalances de voltajes, corriente, desbalances de corriente, registros de perturbaciones, interrupciones y variaciones de frecuencia, armónicos y otras variables que puedan afectar la calidad en el suministro eléctrico y funcionamiento de los equipos asociados a la subestación.

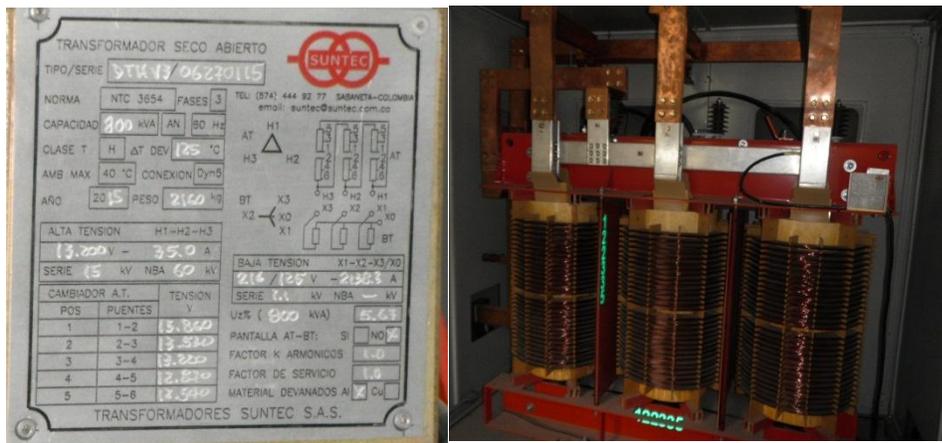


Figura 16. Placa de características y transformador 800 kVA
Fuente: Elaboración Propia



Figura 17. Procedimiento de instalación del analizador
Fuente: Elaboración Propia

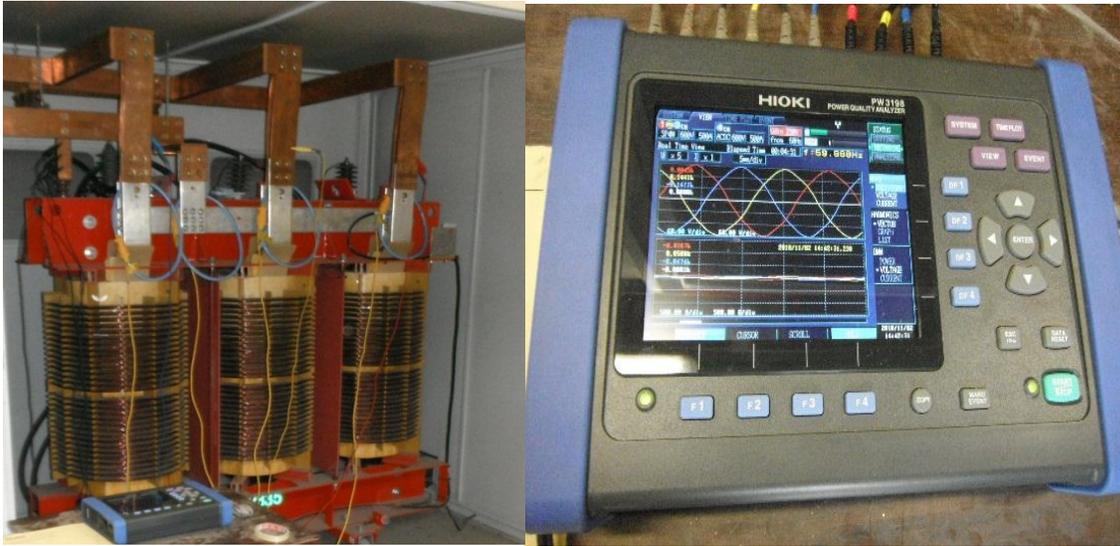


Figura 18. Equipo instalado y toma de datos en línea
Fuente: Elaboración Propia

El registro de las variables eléctricas se realizó durante una semana para la I. U. Pascual Bravo.

. El analizador de redes fue programado con los siguientes parámetros:

- A. Tensión, corriente, potencia activa y potencia reactiva para cada fase.
- B. Factor de potencia y frecuencia.
- C. Armónicos de corriente y tensión.
- D. Anomalías en las formas de onda.
- E. Flickers PLT

El equipo fue instalado en un transformador trifásico tipo seco trifásico con una potencia nominal de 800 kVA, tensión en el barraje secundario de 216/125V y corriente nominal secundaria de 2.138,3 A, en la **Figura 16** se indican el transformador y su placa de características.

Tabla 13 Fecha y hora de los registros

Punto de registro	Equipo de Medición	Fecha y hora inicio [dd.mm.aaaa /hh:mm:ss]	Fecha y hora Final [dd.mm.aaaa /hh:mm:ss]
Subestación bloque 6	Hioki	26/02/2019	03/05/2019

Fuente: Elaboración Propia

6.6. Análisis de la red de la subestación del bloque 6

Tabla 14 Capacidad instalada en la subestación del bloque 6

Capacidad Total Actual subestación bloque 6			
Trafo N°	kVA	Bloque	Nombre instalación
123335	800	1	I.E Instituto Técnico Industrial Pascual Bravo - Cafetería
		2	Académico
		3	Complejo acuático
		4	Laboratorio de investigación y diagnóstico automotriz Lida
		5	Cientic
		6	Académico
		7	Bienestar
		8	Académico
		9	Laboratorio de dibujo técnico y diseño asistido por computador
		10	Procesos eléctricos
		11	Taller de mecánica automotriz
		12	Centro de investigación y desarrollo en procesos de energía eléctrica
		13	Escuela pública de diseño
		14	Laboratorio textil
		15	Laboratorio de desarrollo e investigación en procesos de manufactura avanzada Dipma
		16	Laboratorios de Logística Integral, Química y Física - Imprenta
		17	Centro de investigación y desarrollo en soldadura Cides
		18	Taller de Máquinas y Herramientas Convencionales Mec
		21	Coliseo cubierto
		22	Gimnasio

Fuente: Tomado de (Cardona, Gómez, & Sánchez, 2018)

6.7. Parametrización del analizador de redes y revisión de datos

El informe se divide en dos partes, el primero corresponde a un análisis sobre las gráficas de tendencias tomadas en intervalos de 1 minuto para un total de 7 días, desde el 02/26/2019 17:16 hasta el 05/03/2019 16:56. La segunda parte trata sobre las anomalías (eventos) registradas por el instrumento. Los umbrales de los eventos establecidos fueron ajustados de acuerdo con la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015. En la siguiente grafica se presenta los parámetros de configuración del instrumento con relación a los valores nominales de alimentación, que para este caso corresponde al voltaje nominal $U_{din} = 125$ V línea-neutro para un circuito trifásico con conexión en Y.

Measure		Voltage	Current /Power /Others	Hamonics
Hardware				
Model	PW3198			
Serial No.	110824133			
Version	1.08			
Measured Line				
	CH123	CH4		
Wiring	3P4W	ACDC		
Frequency	60Hz			
Voltage Range	600V	600V		
VT(PT) Ratio	1	1		
U _{din}	125V			
Current Sensor	CT9667(5000A)	CT9667(5000A)		
Current Range (Applied CT ratio)	5000A	5000A		
CT Ratio	1	1		
Sync Source	U1			
Event Threshold				
U _{ms}	Line - Neutral			
PF	PF			
THD	THD_F			
Hamonics	U, I, P All Level			
Flicker				
Flicker	Plt, Pst / 120V Ed1			
Recording				
Recording Items	All Data (Power, Harm, iHam)			
Trend Interval	1min			
Disp COPY Interval	OFF			
Repeat Record	OFF			
Record Time				

Figura 19. Parametrización del software del analizador

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la siguiente tabla se presenta los umbrales de los eventos de calidad de energía establecido en la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015

		CH123	CH4			CH123	CH4
Frequency	Freq	1.00Hz		U RMS High	Urms	OFF	OFF
Frequency 1 Wave	Freq_wav	1.00Hz		Low	Urms	OFF	OFF
U Swell	Swell	110.00%		SENSE	Urms	OFF	OFF
U Dip	Dip	90.00%		U Peak	Upk	OFF	OFF
Swell/Dip Slide		ON		U DC Change			OFF
U Interrupt	Intrpt	10.00%		U THD	Uthd	5.00%	5.00%
U Transient	Tran	70.0V	70.0V	Hham U Component	UhamH	OFF	OFF
				RevPhase Unbalance	Uunb	3.00%	
				0-Phase Unbalance	Uunb0	3.00%	
Hysteresis		1%		Compare U Wave	Wave	5.0%	

Figura 20. Umbrales de los eventos
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8. Análisis de las gráficas de tendencia

6.8.1. Tensión

La Figura 21;Error! No se encuentra el origen de la referencia. y la Tabla 15 la ;Error! No se encuentra el origen de la referencia. muestran el comportamiento del voltaje a lo largo de una semana.

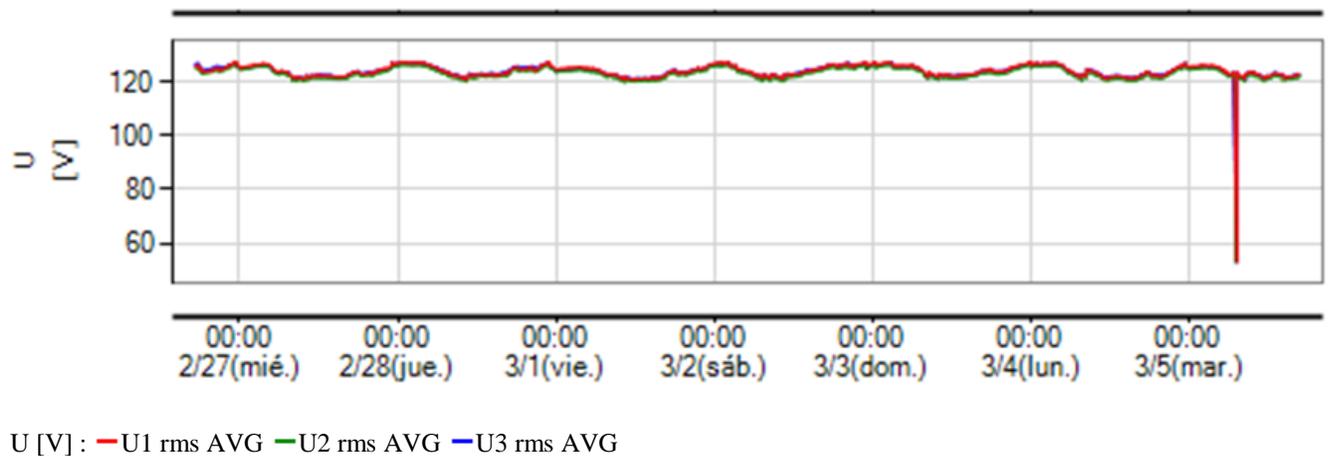


Figura 21. Tendencia de voltaje RMS de las tres fases
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Tabla 15. Estadísticas de las variaciones del voltaje de alimentación nominal (125V)

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
U1 rms AVG [V]	10060	53,08 - 127,75	124,27	1,96	121,61	124,18	127,20
U2 rms AVG [V]	10060	52,77 - 126,94	123,34	1,92	120,73	123,25	126,18
U3 rms AVG [V]	10060	52,99 - 127,66	124,28	1,85	121,76	124,22	126,99

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El umbral permitido en la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 para tendencias de voltajes es de $\pm 10\%$ del voltaje U_{din} , de las gráficas se aprecia que el voltaje se mantiene en el umbral permisible, que para $U_{din} = 125 \text{ V}$ son: 137,5 V y 99,5 V. Los valores más bajos indicados en la **Tabla 15** corresponden a la caída de tensión que se presentó el 03/05/2019 a las 15:00. La **Figura 22** muestra el voltaje entre el neutro y la tierra, por norma debe tender a cero.

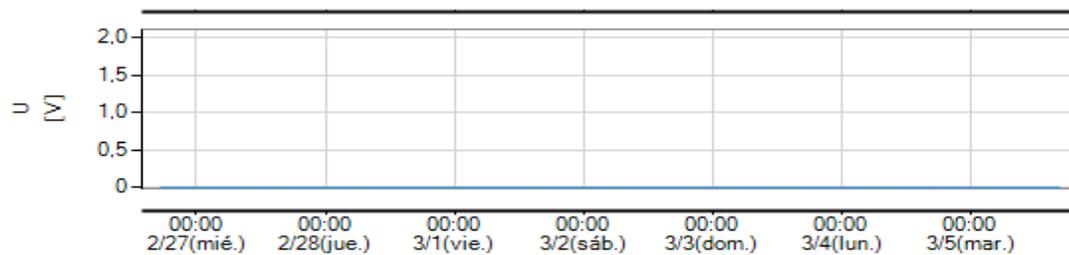
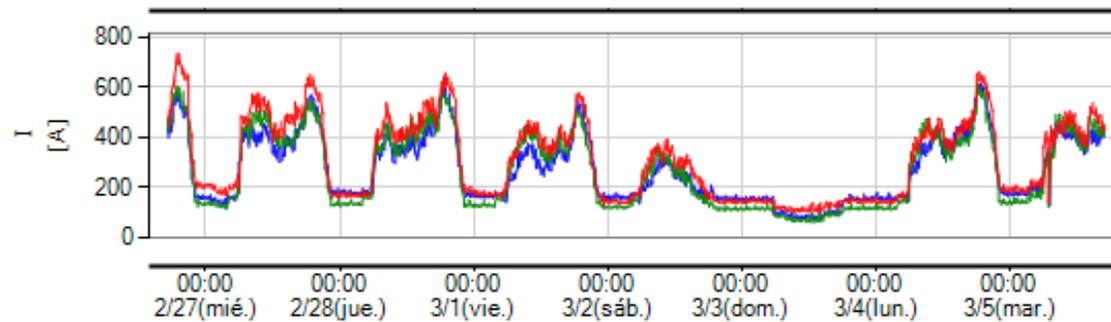


Figura 22. Voltaje diferencial entre el neutro y la tierra.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.2. Corriente

La **Figura 23** y la **Tabla 16** muestran el comportamiento de la corriente durante una semana.



I [A] : — I1 rms AVG — I2 rms AVG — I3 rms AVG

Figura 23. Tendencia de corriente.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Tabla 16. Estadísticas de las variaciones de la corriente de carga

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
I1 rms AVG [A]	10060	98,4 – 738,5	310,8	158,6	121,6	293,1	584,2
I2 rms AVG [A]	10060	61,2 – 613,6	268,3	149,4	86,2	248,5	502,5
I3 rms AVG [A]	10060	73,3 – 615,3	272,8	131,2	96,2	238,4	513,5

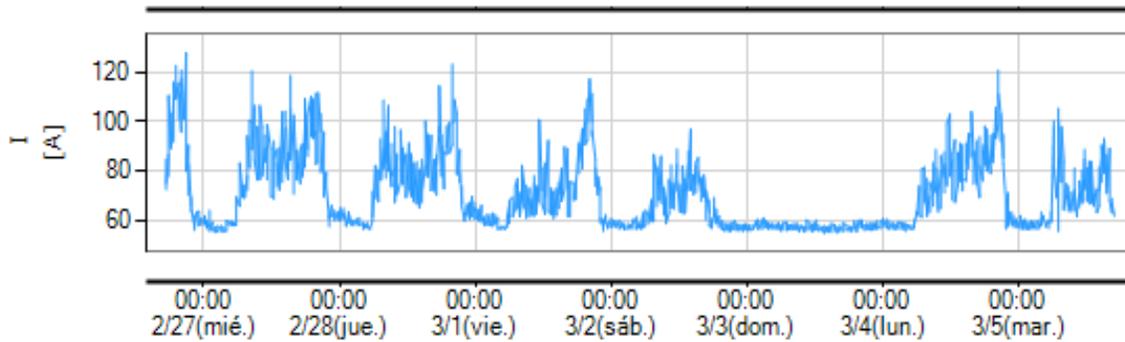
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Se puede observar que la fase R (I1 color rojo) tiene mayores valores que la fase 2 (S) y fase 3 (T) lo que representa un desbalance en el consumo de corriente, lo ideal es que circulen corrientes por cada fase con valores muy próximos entre sí. En sentido contrario, tenemos que por la fase 2 se tiene el menor consumo, por lo tanto, se recomienda hacer una redistribución de las cargas, eliminando algunas de la fase 1 y agregándolas a la fase 2 hasta encontrar un relativo equilibrio en el consumo de la corriente.

También se observa que la hora de mayor consumo de corriente estuvo en el día 26/02/2019 entre las 17:18 y las 22: 00 alcanzando valores máximos de 738 A para la fase 1. Es importante conocer que carga en particular puede estar consumiendo mayor corriente para evaluar los efectos que tienen sobre el mal suministro de calidad de la energía. Los días de mayor consumo, en general, de corriente fueron de lunes a viernes de 6:00 a 22:00 que claramente son producto del horario de asistencias a clases.

Se puede observar que en ese mismo momento cuando la corriente fue de 738 A, la máxima obtenida durante el tiempo de medición, lo cual ayuda a concluir que la cargabilidad máxima que puede tener el transformador es de aproximadamente del 34,5% siendo el 100% 2.138 A como lo indica nominalmente la placa.

En la **Figura 24** se muestra el comportamiento de la corriente que circula por el neutro, los valores van desde 54,7 A hasta 128.2 con promedio de 70,2 A, **Tabla 17**. Comparado con la corriente promedio que circula por la fase 1, 310 A, la In representa el 22,6%, **tener presente que en un sistema trifásico la corriente que circula por el neutro debe tender a cero, 0 A.**



I [A] : — I4 rms AVG

Figura 24. Tendencia de la corriente que circula por el neutro

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Tabla 17. Estadísticas de las variaciones de la corriente de neutro.

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
I4 rms AVG [A]	10060	54,7 - 128,2	70,2	14,4	56,3	65,1	99,2

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.3. Frecuencia

Las variaciones de frecuencia estuvieron dentro de los márgenes definidos en la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 como normales, que corresponde al 1% de 60 Hz, es decir variaciones de $60 \pm 0.6 \text{ Hz}$, ver **Figura 25**

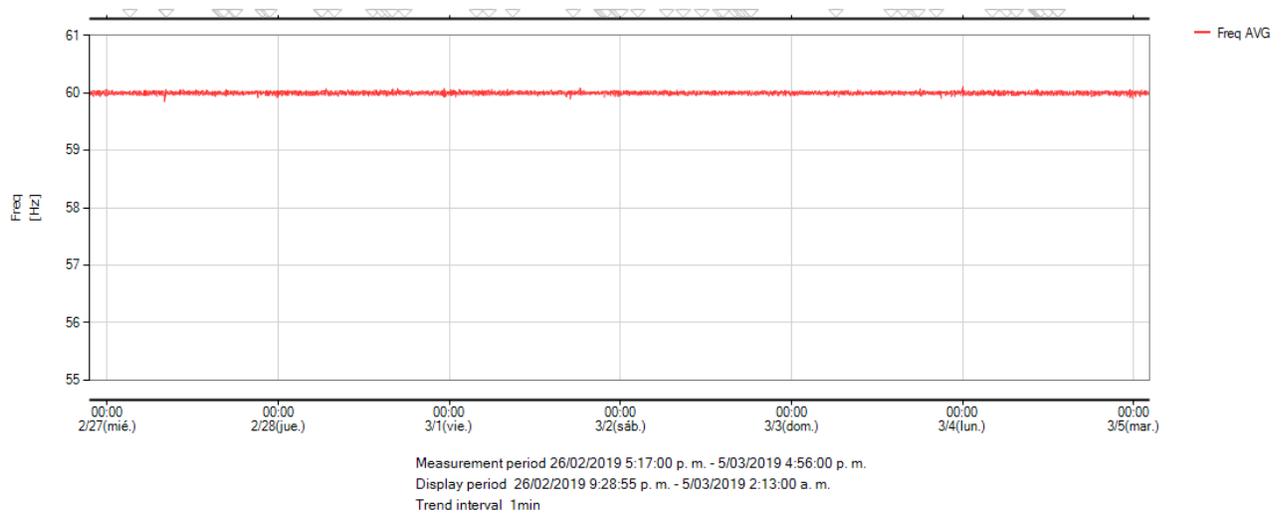
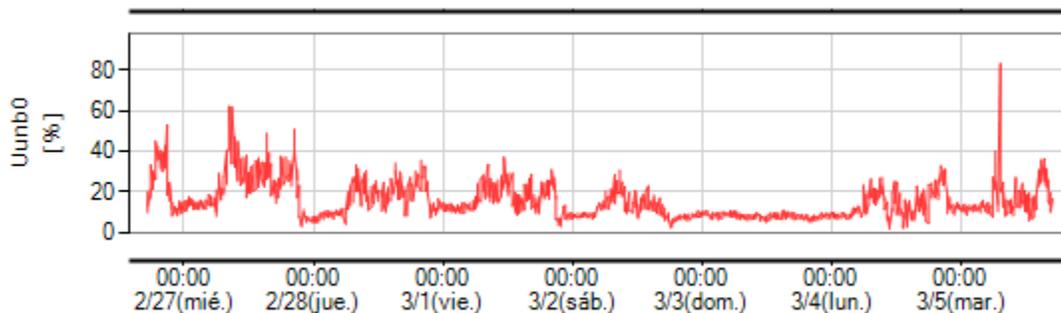


Figura 25. Variación de frecuencia.
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.4. Desbalance

En un sistema trifásico balanceado, las tensiones deben tener igual magnitud y estar separadas 120° entre sí. En calidad de la energía, se usa la descomposición vectorial de las señales para medir el desbalance, en concreto, se usa el vector con secuencia negativa U_{unb} y el vector con secuencia cero U_{unb0} . Ambos vectores representan un % de desviación con respecto al vector ideal, para la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 los umbrales permisibles no deben superar 2% tanto en U_{unb} y U_{unb0} .



Uunb0 [%] : — Uunb0 AVG

Figura 26. Tendencia del desbalance de tensión de la componente 0.
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Tabla 18. Estadísticas del desbalance de tensión.

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
Uunb0 AVG [%]	10060	1,87 - 83,09	15,52	8,28	6,88	13,12	31,67

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El desbalance de tensión está muy alejado de los valores permitidos por la norma, ver **Figura 26**. Con valores que van desde 1,87% hasta 89,09%, **Tabla 18**. Hay que recordar que el umbral permisible es del 2% en la norma NTC 5001.

Realizando una comparación del desbalance de corriente con el de tensión es más alto, en la **Figura 27** se muestran valores que superan el 100% de desbalance. El desbalance afecta considerablemente la vida útil de las maquinas eléctricas trifásicas como transformadores y motores, que, por su diseño, se deben alimentar con tensiones balanceadas.

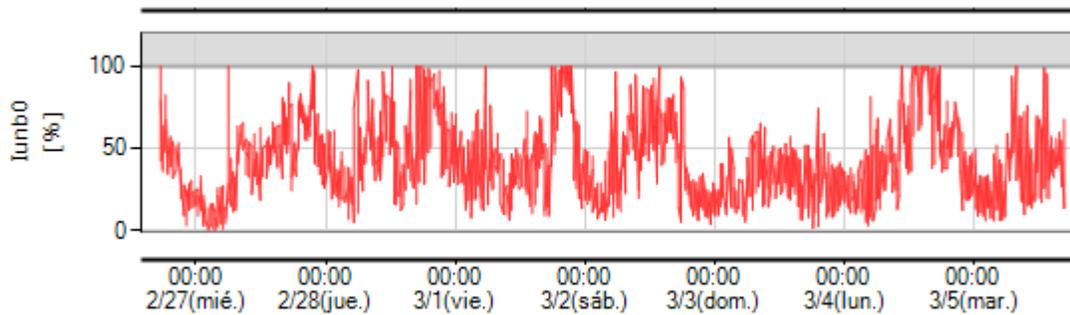
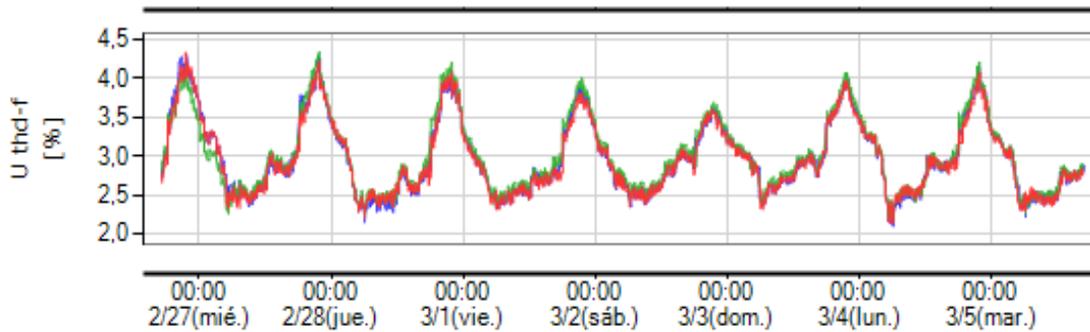


Figura 27. Desbalance de corriente
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.5. Armónicos de voltaje

Los armónicos son señales de voltaje y corriente cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental. Generalmente ocasionado por cargas no lineales (semiconductores), por ejemplo: equipos de cómputo, variadores de velocidad de motores, inversores, rectificadores, etc.



U thd-f [%] : — U1 thd_f AVG — U2 thd_f AVG — U3 thd_f AVG

Figura 28. Distorsión armónica total

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Tabla 19. Estadísticas del THD de voltaje

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
U1 thd_f AVG [%]	10060	2,14 - 4,33	2,97	0,46	2,41	2,87	3,87
U2 thd_f AVG [%]	10060	2,19 - 4,34	3,02	0,47	2,44	2,92	3,93
U3 thd_f AVG [%]	10060	2,10 - 4,32	2,98	0,48	2,39	2,88	3,89

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 28** se observa que el THD de voltaje en ninguna de las fases (fases 1, 2 y 3) supero el umbral del 5 %. Las variaciones estuvieron desde 2,10 % hasta 4,33%, **Tabla 19**.

Por otro lado, el THD en el neutro (Ch 4) fue bastante alto, con un promedio de 49,77 % llegando a un valor máximo de 75,4 %, **Figura 29**, que refleja problemas de desbalance y la presencia de armónicos triplens (múltiplos de 3) que tienden a circular por el neutro y que afectan considerablemente el funcionamiento y vida útil de las maquinas.

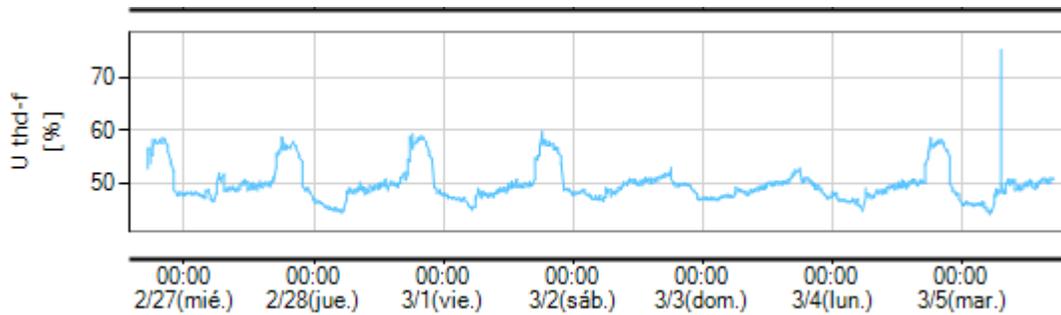


Figura 29. Variación del THD de voltaje en el neutro
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.6. Armónicos de corriente

Armónicos de corriente: La norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 no habla sobre el umbral permisible para el THD de corriente, sin embargo, Hioki recomienda tener valores $THD_i \leq 20\%$.

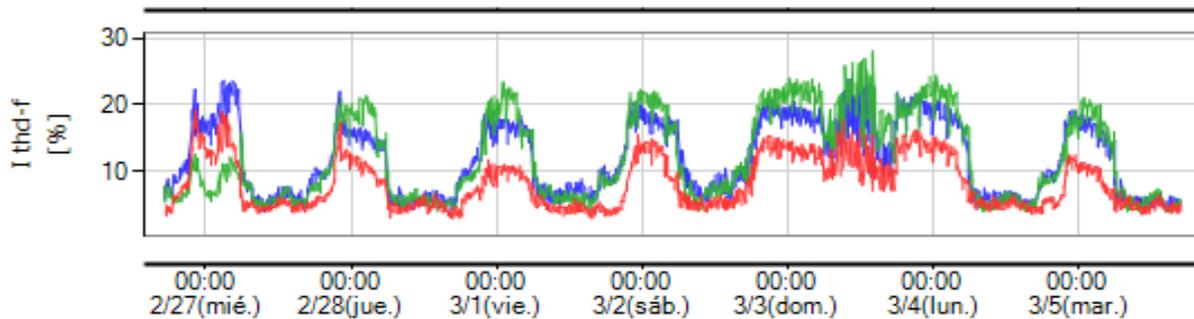


Figura 30. Tendencia del THDi en las fases R, S y T.
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 30** está la tendencia del THD de corriente a lo largo de la semana donde se puede observar que el lunes es donde más alto está el valor de THD para la fase 2 (verde).

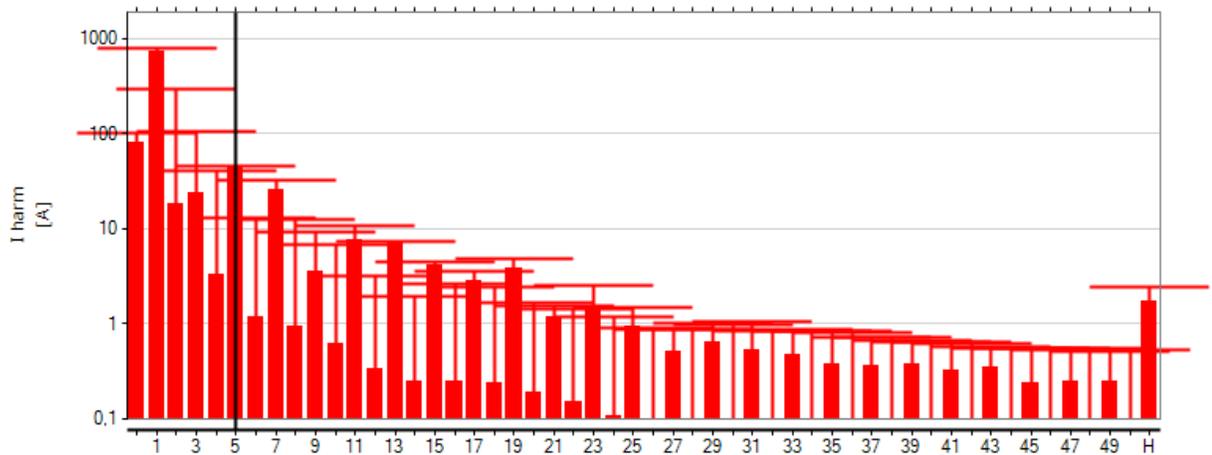


Figura 31. Grafica de barras de los valores promedio y máximo de armónicos de corriente del 0 al 50 para el canal 1 – fase R.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 31** están los valores de corriente de los armónicos del 0 al 50 y H corresponde a armónicos de alto orden de 2 kHz a 80 kHz. La corriente fundamental (60 Hz) I_1 tiene un valor de 732,8 A, los valores más representativos de armónicos encontrados son: $I_0 = -81,5 A$ que son armónicos de baja frecuencia, cercana a 0 Hz, $I_5 = 44,2 A$, $I_7 = 26,1 A$ y $I_3 = 23,6 A$. Claramente estos armónicos al circular por las fases afectan considerablemente el equipamiento, especialmente los que son más sensibles como equipos de oficina, PLC, variadores y dispositivos de control, por lo que se recomienda detectar las fuentes de armónicos y tomar medidas para aminorar sus efectos.

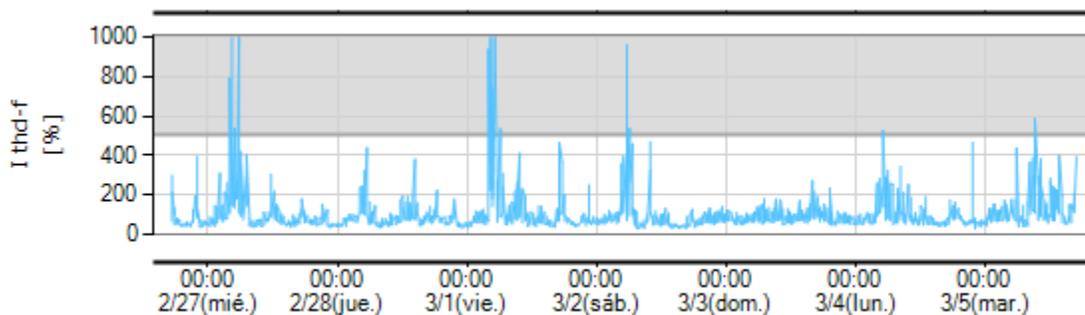


Figura 32. Tendencia del THDi en el neutro.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 32** se muestra el THD de corriente que circula por el neutro, con valores promedio de 90% y valores mínimos y máximos de 25,71 % y 493,32 % respectivamente. Esto demuestra que la corriente que circula por el neutro tiene alto contenido de armónicos, **Tabla 20**.

Tabla 20. Estadísticas del THDi que circula por el neutro.

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
I4 thd_f AVG [%]	10012	25,71 - 493,32	90,06	53,86	42,83	75,94	190,64

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

6.8.7. Flicker o Parpadeo

El Flicker es una medición que se usa para determinar si las luminarias presentan el fenómeno de parpadeo que ocasiona irritación en los ojos, dolor de cabeza y en el peor de los casos, náuseas y vomito. Es ocasionado por una variación rápida en el voltaje nominal, del orden del 5% del voltaje nominal. En la norma IEC61000-4-15 establece dos tipos de medición de Flicker, el Pst o Flicker de corta duración, que se mide cada 10 min, y el Plt o Flicker de larga duración que se mide cada 2 horas. Ambos valores son adimensionales, y de acuerdo con la norma, los umbrales permisibles son: $Pst \leq 1$ y $Plt \leq 0.8$.

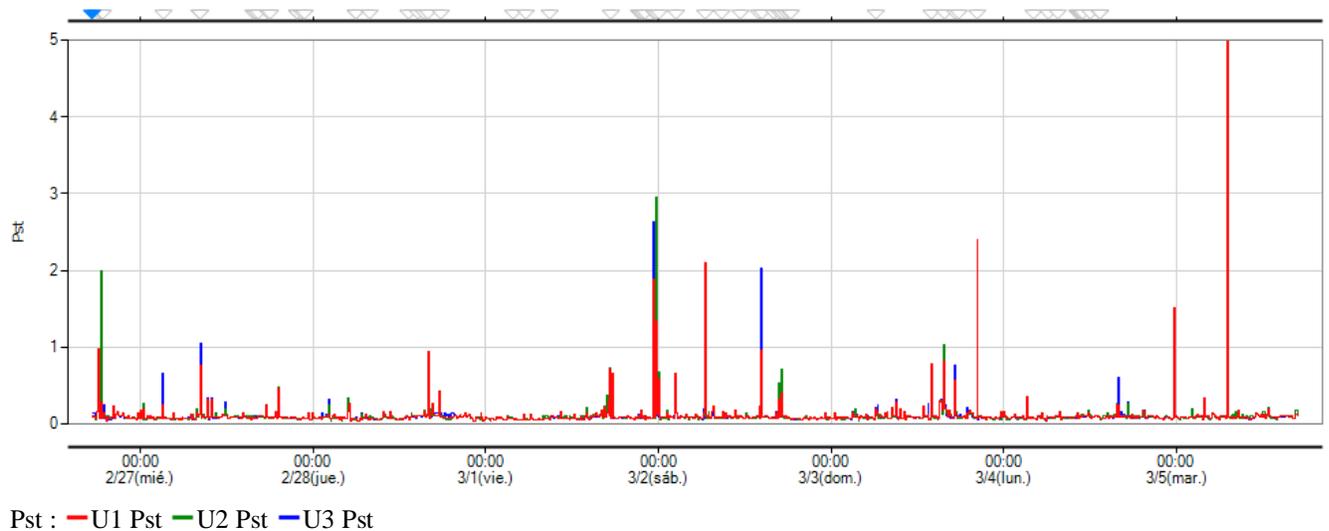
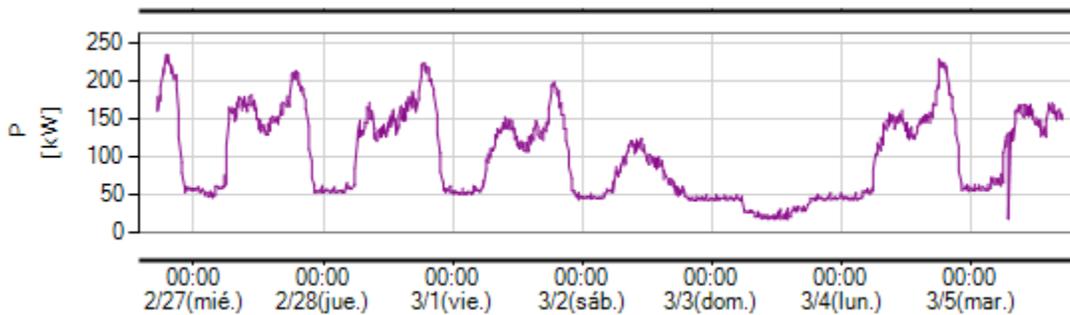


Figura 33. Grafica de tendencia del Flicker Pst en cada fase

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 33** se presenta la gráfica de tendencia del Flicker Pst. Si bien, la mayor parte del tiempo no supera el umbral de 1; y se pueden observar que, en determinadas horas hay picos que sobrepasan el umbral. El tiempo de incremento de los picos no tiene un valor concurrente. Los picos máximos se presentaron el 03-01-2019 a las 23:36 con valor máximo de 3 y el 03-05-2019 a las 07:16 con valor máximo de 20. La recomendación en este caso es tratar de encontrar la fuente de generación de Flicker para reducir sus efectos.

6.8.8. Potencias



P [kW] : — P Sum AVG

Figura 34. Tendencia de demanda de potencia activa P

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

A continuación, se presentan los resultados relacionados con la potencia. Son 4 parámetros: Potencia activa P [W] que representa la potencia consumida en forma de trabajo útil, la potencia aparente S [VA] que es la potencia total entregada a un sistema, la potencia reactiva Q[VAR] que representa la potencia no útil, y el factor de potencia PF que es la relación entre la potencia activa y la aparente, idealmente tiene un valor de 1 o 100%.

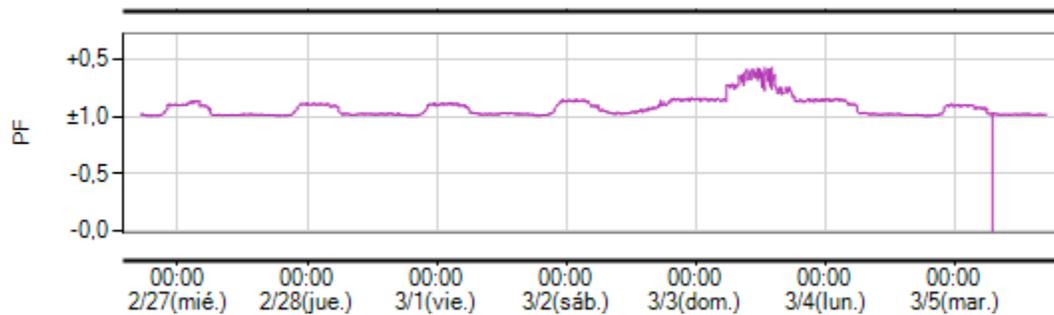
En la **Figura 34** se observa que P tiene mayores valores en el horario de clases, que inicia desde las 6 AM hasta las 10 PM y que por ende son valores normales relacionados con la demanda. También se observa que, en horas de baja demanda, se tiene un promedio de 50 kW, se recomienda analizar que equipos generan esta demanda mínima para tratar de disminuir.

Tabla 21. Estadísticas de demanda de potencia activa

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
P Sum AVG [kW]	10060	16,7 - 234,1	99,8	55,3	27,9	92,2	195,2

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

La P total demandada tiene un valor promedio de 100 kW con valores mínimos desde 16,7 kW (domingos) y un pico máximo de 234,1 kW (miércoles).



PF: — PF Sum AVG

Figura 35. Factor de potencia PF.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El PF estuvo bastante bien, en la **Figura 35** se puede observar que la tendencia se aproxima con mucha frecuencia a 1 que es el valor ideal, en las horas de mayor consumo de energía, el PF cae hasta valores de 0,86, y, por el contrario, el día de menor consumo (domingos) cae a un valor de 0,59 muy probablemente porque las cargas son las luminarias con alto componente reactivo.

Tabla 22. Estadísticas del PF.

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
PF Sum AVG	10060	0,0000 - 0,9911	0,9166	0,0832	0,7396	0,9535	0,9866

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El valor promedio del PF durante una semana fue de 0,917, que está muy ajustado al 0,9 permitido por la CREG (documento 018 de 2005) sin generar multa.

Tabla 23. Estadísticas de potencia S y Q.

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
S Sum AVG [kVA]	10060	18,2 - 236,5	105,1	53,2	37,8	96,7	197,9
Q Sum AVG [kvar]	10060	5,3 - 47,0	28,1	3,5	23,7	27,9	32,9

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Los valores de potencia S y Q se presentan en la **Tabla 23** S tiene un valor de 105 kVA muy próximo a 100 kW que corresponde a P y cuyos valores ideales deben ser cercanos. Q tiene un valor promedio de 28,1 kVAR que representa el 28% del valor total de P, y que está lejos del umbral establecido por la CREG, del 50% del valor P, sin generar cobro extra por consumo de reactiva.

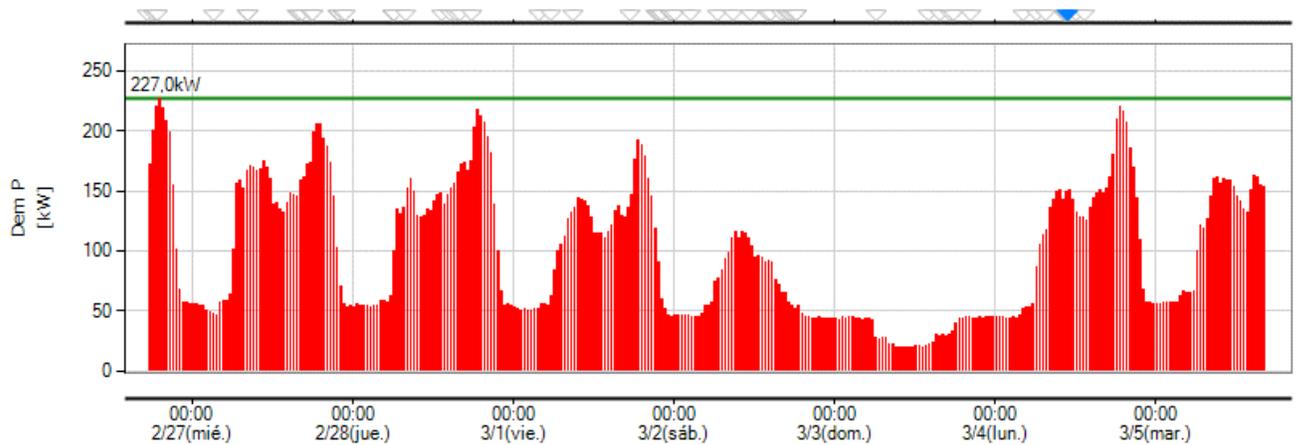
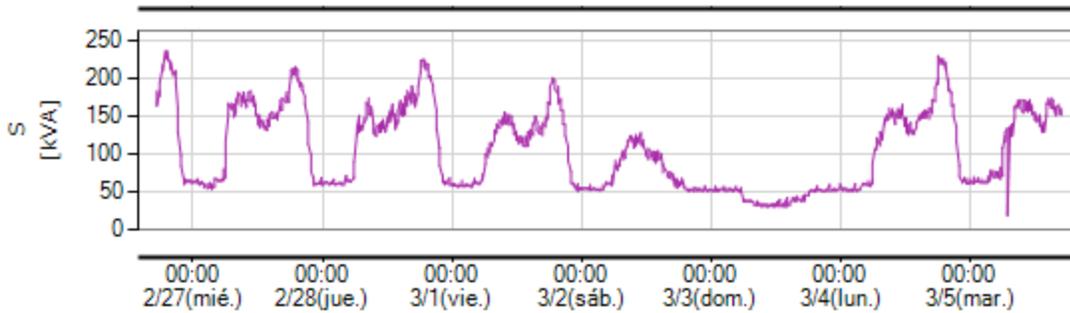


Figura 36. Tendencia de demanda de potencia P.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

La **Figura 36**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la tendencia de la demanda de potencia P en intervalos de 30 minutos, el mayor pico de demanda se registró el martes 26 de febrero de 19:00 a 19:30 con un valor de 227 kW.



S [kVA] : — S Sum AVG

Figura 37. Tendencia de demanda potencia S

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 37** Se puede observar que en ese mismo momento que registro el martes 26 de febrero de 19:00 a 19:30 al igual que la potencia P, la potencia aparente fue de 231,2 KVA, la máxima obtenida durante el tiempo de medición, lo cual ayuda a concluir que la cargabilidad máxima que puede tener el transformador es de aproximadamente del 29% siendo el 100% 800 KVA como lo indica nominalmente la placa.

6.8.9. Lista de eventos

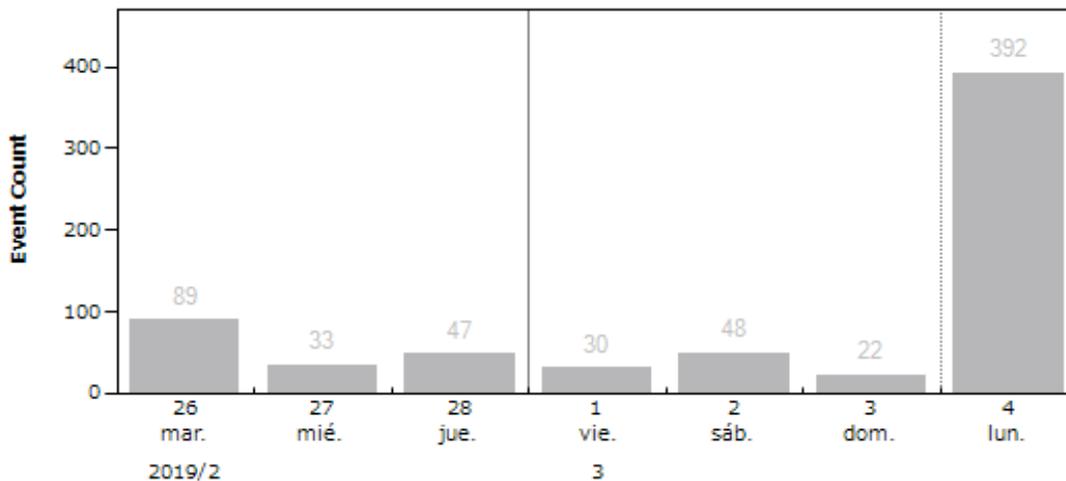


Figura 38. Total de eventos registrados por día.

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El total de eventos (anomalías) registrados se muestran en la **Figura 38**, vale aclarar, que dentro de la configuración del medidor de calidad de energía Hioki PW3198 se dejó habilitado el

evento de comparación de forma de onda, llamado WAVE, que se usa para comparar cuando una onda de tensión se deforma con respecto a una onda patrón, en este caso no es un parámetro relevante.

El día 26 de febrero, el evento más relevante detectado fue un DIP (caída de tensión por debajo del 90% del voltaje nominal), ver **Figura 39**.

No.	Time	Event	I/O	CH	Level
1	17:16:00.171	Start			
2	18:09:49.516	Wave		CH1	
3	18:35:16.869	!Dip	IN	CH2	109,27V
3	18:35:16.919	Dip	OUT	CH2	115,12V
3	18:35:16.866	Wave		CH1	
3	18:35:16.866	Wave		CH2	
3	18:35:16.866	Wave		CH3	
4	18:45:11.044	Wave		CH1	

Event:Dip Threshold:90,00%			
	No.	Time	Level
IN	3	2/26 18:35:16.869	109,27V
Worst		18:35:16.894	104,99V
OUT	3	18:35:16.919	115,12V

Figura 39. Evento de caída de tensión DIP. 26 de febrero

Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El DIP ocurrió a las 18:35 y tuvo una duración de unos cuantos ms con una caída de tensión hasta 105 V. El DIP es ocasionado por cortocircuitos, conexión de Cargas de alta potencia, fallas cercanas, en general demanda de altas corrientes. Los efectos son: problemas de operación y accionamiento en motores, reinicio equipos, errores de sincronización, etc.

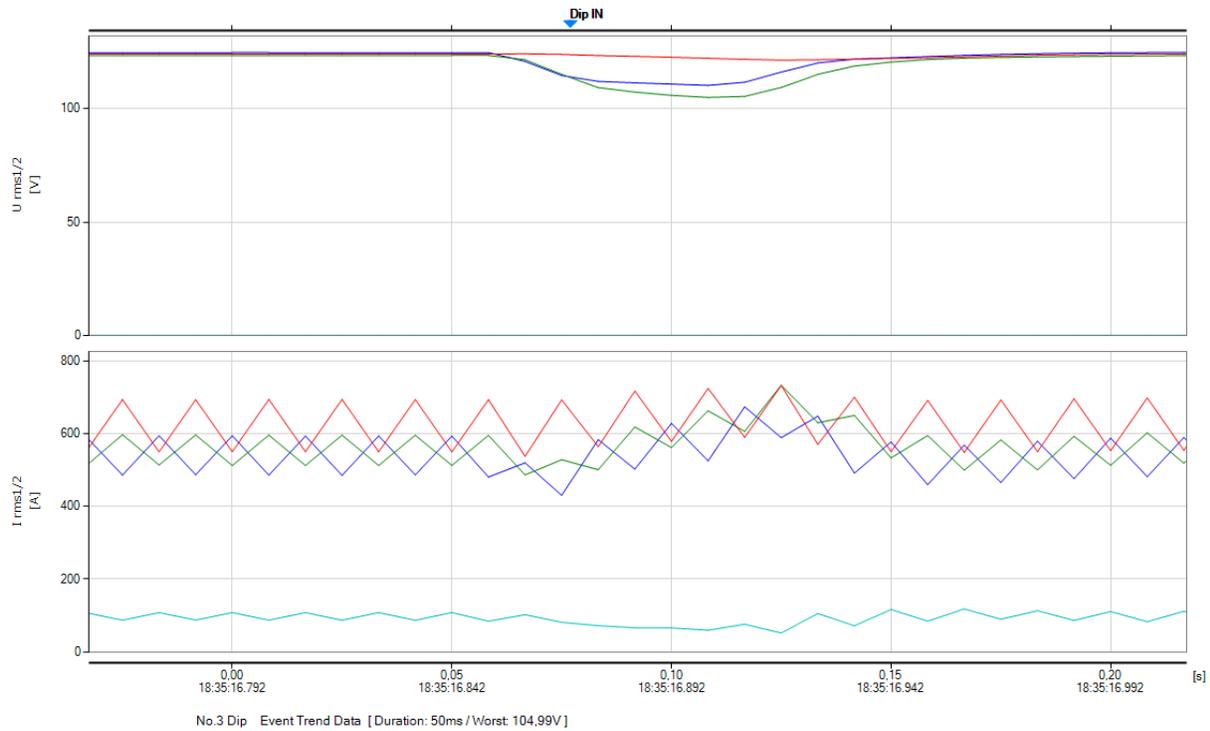


Figura 40. Forma de onda de voltaje y corriente durante el DIP
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 40** se aprecia cómo se cae el voltaje RMS, empezando por la fase 2 (verde) y rápidamente recupera su valor normal. La hora de los eventos es importante para determinar si la entra en operación de algún equipo, puede ser el culpable de la anomalía y de esta forma tomar los correctivos.

02/27				
No.	Time	Event	I/O	CH
21	21:46:24.598	Uunb0	IN	
22	21:46:55.386	Uunb0	OUT	
23	21:46:55.786	Uunb0	IN	
24	21:47:16.977	Uunb0	OUT	
25	21:47:17.177	Uunb0	IN	
26	21:47:17.377	Uunb0	OUT	
27	21:47:17.776	Uunb0	IN	
28	21:47:18.176	Uunb0	OUT	
29	21:47:18.376	Uunb0	IN	
30	21:47:18.975	Uunb0	OUT	
31	21:47:19.175	Uunb0	IN	
32	21:47:21.373	Uunb0	OUT	

Event:Uunb0 Threshold:3,00%			
	No.	Time	Level
IN	23	2/27 21:46:55.786	3,14%
Worst		21:47:03.989	4,46%
OUT	24	21:47:16.977	2,97%

Figura 41. Eventos de desbalance de tensión, 27 de febrero.
 Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El día 27 de febrero, se registraron varios eventos relacionados con desbalance de tensión de fase cero, cuyo umbral permitido por la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 es de 3%. Ocurrieron desde las 21:46 hasta el siguiente día, 28 de febrero, a las 06:01 con un valor máximo de desbalance de 20,31%, **Figura 41**. Se recomienda investigar que equipos fueron apagados o puestos en marcha a esa hora para determinar la causa del desbalance.

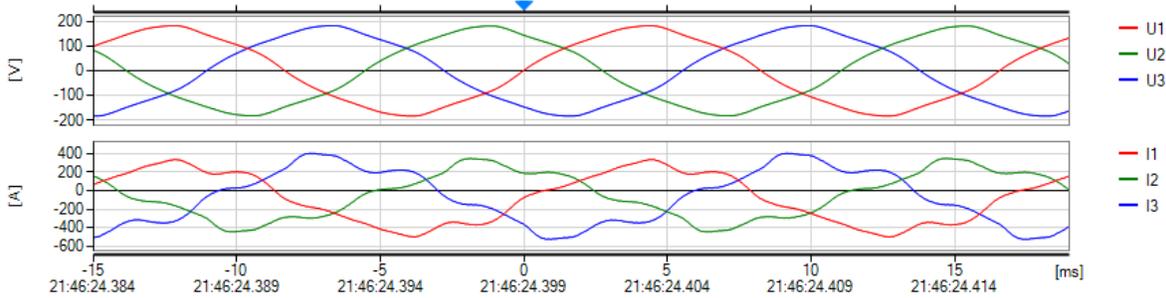


Figura 42. Formas de onda durante el desbalance de tensión
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El desbalance es ocasionado por cargas grandes monofásicas, generado por el incremento o decremento de las cargas conectadas a cada fase, distorsión de la forma de onda, caídas de voltaje, etc. Los efectos pueden ser generación de secuencias negativas que afectan a motores, generación de Triplens que traen problemas en neutro-tierra, calentamiento de transformadores y aumento de ruido. En la **Figura 42** se observa las formas de onda en el desbalance.

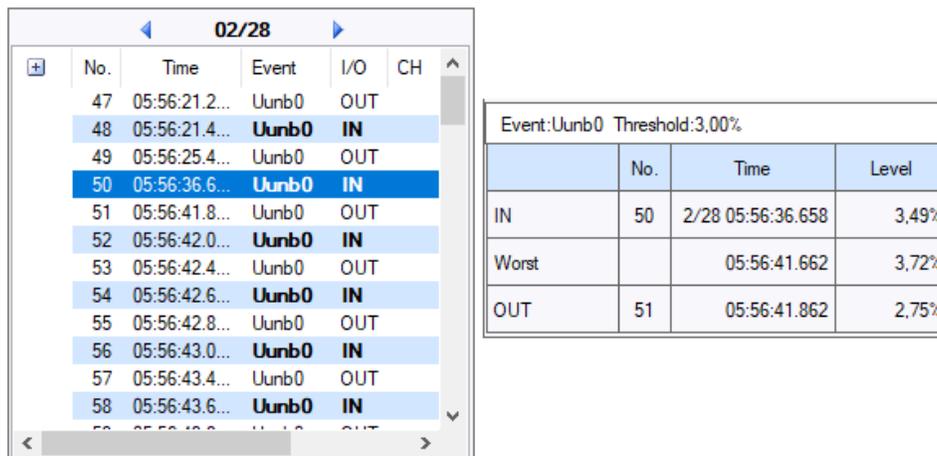


Figura 43. Eventos registrados el 28 de febrero
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Los eventos encontrados el 28 de febrero, corresponden a desbalances de fase cero, **Figura 43**. El desbalance se presentó, de forma continua, desde las 05:56 hasta las 22:23 del siguiente día (01 de marzo) con un valor máximo de desbalance de 75,47%. Por la hora de ocurrencia, parece ser que, al iniciar las horas de clase de la mañana, se encienden gran cantidad de equipos de cómputo que podrían desbalancear el sistema, se recomienda verificar que esta pueda ser la posible causa.

El 01 de marzo se detectaron eventos de desbalance desde las 21:16 hasta las 18:24 del siguiente día, con un valor máximo 41,79%; y dos eventos de caída de tensión DIP, uno a las 23:22 que inicio en la fase 3, y el segundo a las 23:37 en la fase 2, ver **Figura 44**.

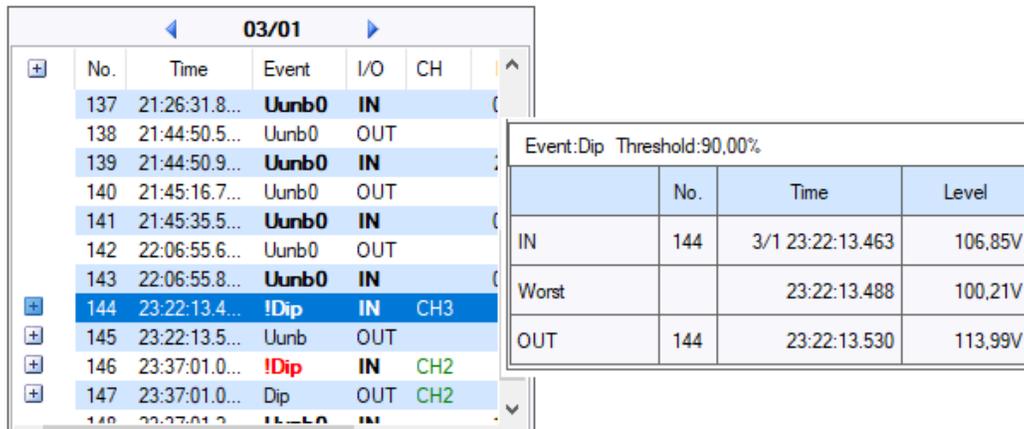


Figura 44. Eventos registrados el 01 de marzo.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 45** se aprecia cómo disminuye la amplitud de la fase 3 (azul).

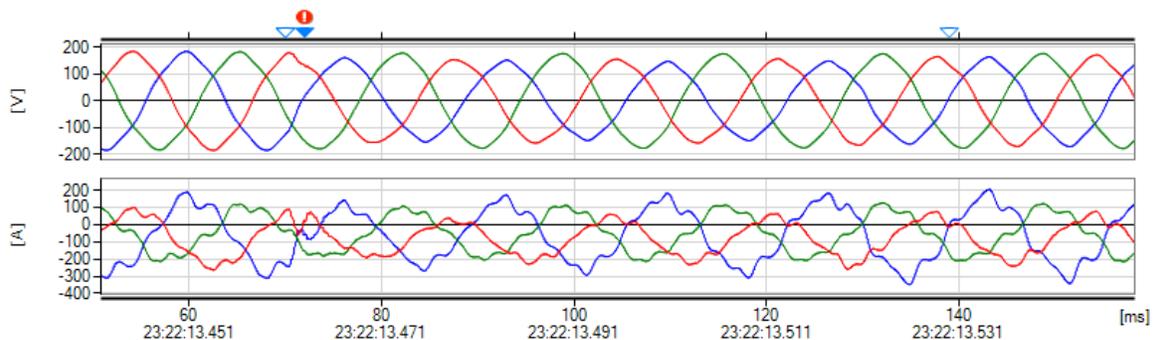


Figura 45. Deformación de la onda de tensión durante el DIP.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Marzo 02 se registraron eventos de desbalance desde las 18:12 hasta las 20:17 del siguiente día con valor máximo de 25,13%. De igual forma, se registraron dos caídas de tensión DIP, **Figura 46**; Error! No se encuentra el origen de la referencia.. El primer DIP (No. 151) ocurrió a las 06:28 con una caída de tensión en la fase 1 hasta 103,85 V, el segundo ocurrió a las 14:22 con una caída de tensión en la fase 3 hasta 105,62 V. En ambos eventos la duración fue de unos cuantos ms.

Event:Dip Threshold:90,00%				Event:Dip Threshold:90,00%			
	No.	Time	Level		No.	Time	Level
IN	151	3/2 06:28:13.290	111,66V	IN	156	3/2 14:22:45.642	108,21V
Worst		06:28:13.323	103,85V	Worst		14:22:45.667	105,62V
OUT	152	06:28:13.340	117,33V	OUT	156	14:22:45.684	117,11V

Figura 46. DIPs registrados el 02 de marzo.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

Marzo 03 se registró desbalance desde las 13:56 hasta las 10:11 del siguiente día con un valor máximo de 33,66%, **Figura 47**. También se registró un DIP a las 20:17 con duración de ms y un valor de caída de tensión de 102,97 V.

Event:Uunb0 Threshold:3,00%			
	No.	Time	Level
IN	221	3/3 20:17:38.729	6,64%
Worst		3/4 07:19:27.042	33,66%
OUT	225	3/4 10:11:14.042	2,62%

Figura 47. Eventos registrados el 03 de marzo.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

El lunes 04 de marzo fue el día que más anomalías relacionadas con desbalance se registró, prácticamente hubo eventos de desbalance hasta el término del registro a las 16:56.

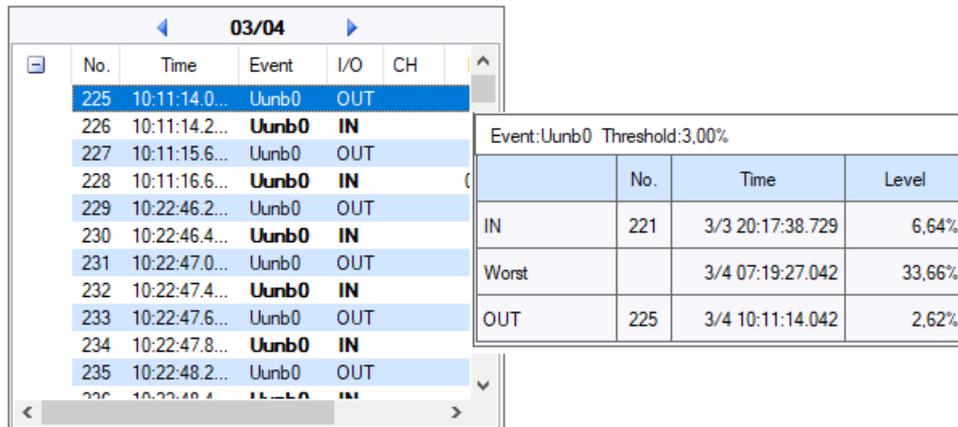


Figura 48. Eventos registrados el 04 de marzo.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

En la **Figura 48** se puede ver el peor valor desbalance registrado durante ese día con un valor de 33,66%.

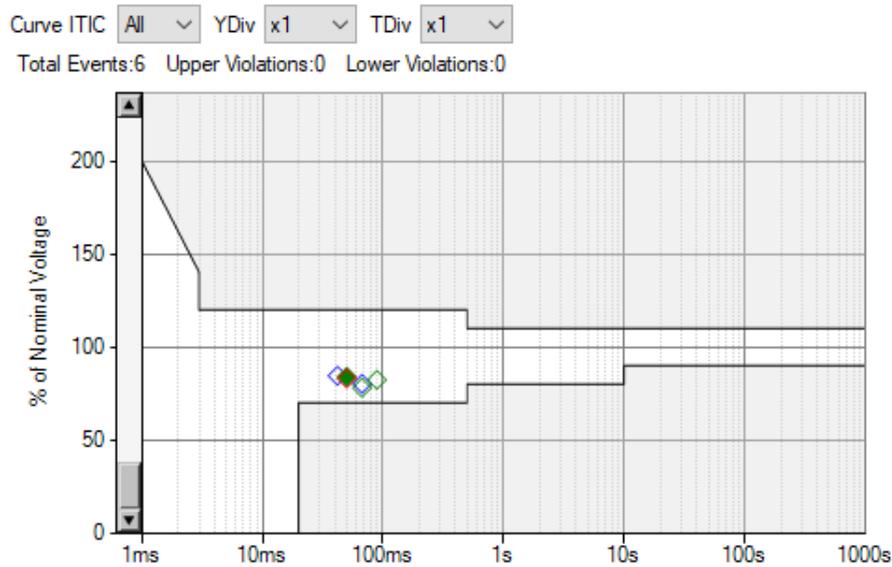


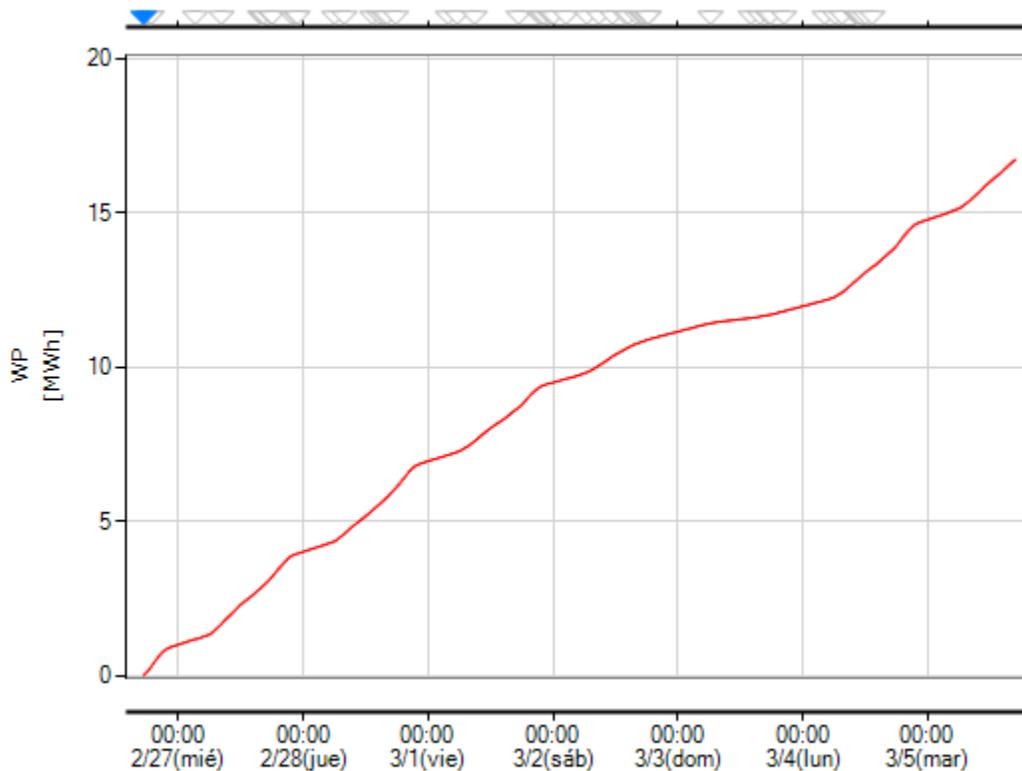
Figura 49. Curva ITIC
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

La curva ITIC indica la severidad en la afectación del equipamiento eléctrico alimentado con el suministro al cual se hizo las mediciones de calidad de energía. Relaciona los eventos de DIP (Caída de tensión entre 90 y 10 % del voltaje nominal), Swell (Subidas de tensión por encima del

110% del voltaje nominal) y las interrupciones (caídas de tensión por debajo del 10% del voltaje nominal) con la duración y el valor de subida o caída de la tensión. Si los 3 eventos están dentro del área blanca de la curva ITIC, **Figura 49; Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, indican que el equipamiento no sufrirá afectaciones considerables. Si por el contrario están por fuera del área blanca, las anomalías del suministro eléctrico afectaran el desempeño del equipamiento. Para este caso, los DIP's están dentro del área blanca indicando que el equipamiento eléctrico no se verá afectado.

6.8.10. Energía consumida

En el periodo en que se tomaron los datos con el analizador, se logra obtener un total de consumo energético de 14,7411 MW.h consumidos durante aproximadamente una semana. En la **Figura 50** podemos ver la tendencia en aumento durante el tiempo de adquisición de datos.



WP [MW.h] : - WP+

Figura 50. Tendencia de consumo de energía.
Fuente: Informe Analizador Hioki PW3198 (2019)

7. Conclusiones

Al principio del trabajo se contempla la posibilidad de realizar el análisis de la calidad de la energía en la subestación del bloque 6 de la I. U. Pascual Bravo encendiendo el Horno de inducción eléctrica, ubicado en el laboratorio de materialografía para ver sus efectos en la calidad de la energía del suministro eléctrico, no se realiza por que en el transcurso de la ejecución del trabajo de grado, el horno no se enciende por falta de un repuesto para su correcto funcionamiento, esta información la comenta el encargado del laboratorio de materiología.

Con respecto a las gráficas de tendencia de tensión, la anomalía más significativa fue la registrada el 05 de marzo a las 07:15, que corresponde a una caída de tensión hasta 53 V rms en las 3 fases, desde que el voltaje se empieza a caer, hasta su recuperación, pasan 3 minutos, **Figura 21**. Esta anomalía puede ser ocasionada por agentes internos o externos. Los agentes internos pueden ser entrada en operación de cargas que demanden mucha potencia o un cortocircuito, en este caso se recomienda investigar si se activó una carga pesada en ese horario o se reportó algún incidente de cortocircuito. En caso de ser la entrada de una carga pesada.

La tendencia registrada en corriente indicó uno de los más serios problemas encontrados en este estudio, y es el desbalance. En la **Tabla 16** se ve que la fase 1 demanda mayor consumo de corriente, 310,8 A promedio comparado con 268,3 A en la fase 2 y 272,8 A en la fase 3. Hay que recordar que, en un sistema balanceado, las 3 fases de tensión deben estar separadas 120° entre sí y tener una magnitud igual o aproximada entre sí, de igual forma para la corriente. El desbalance es ocasionado por cargas grandes monofásicas. Generado por el incremento o decremento de las cargas conectadas a cada fase, distorsión de la forma de onda, caídas de voltaje, etc. Y sus efectos son generación de secuencias negativas que afectan a motores, generación de triplens que traen problemas en neutro-tierra, calentamiento de transformadores y aumento de ruido.

Otra anomalía detectada con la tendencia de corriente fue la gran cantidad de amperaje que está circulando por el neutro. En sistemas trifásicos balanceados (ideal) la corriente que circula

por el neutro debe ser 0 A, aunque en la práctica es imposible, lo ideal es que este valor sea lo más próximo a cero. La circulación de altas corrientes por el neutro representa un riesgo para la vida humana y para el desempeño y la vida útil del equipamiento en sí. Esta corriente por el neutro genera un diferencial de potencial entre el sistema de puesta a tierra y el mismo neutro que puede ocasionar un accidente de electrocución. De igual forma, esta corriente genera problemas de calentamiento en el mismo neutro y por el sistema de puesta a tierra, deteriorando el cableado y los sistemas de puesta a tierra que son la base del mantenimiento, desencadenando una serie de daños muchos más graves. En la **Tabla 17** se encuentran los valores de corriente por el neutro, van desde 54,7 A hasta 128,2 con promedio de 70,2 A, comparado con la corriente promedio que circula por la fase 1, 310 A, la I_n (corriente neutro) representa el 2,6%.

El THD de voltaje en las tres fases estuvo dentro de los límites permitidos por la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 con un umbral máximo de 5%. Caso contrario al THD en el neutro (Ch 4) fue bastante alto, con un promedio de 49,77 % llegando a un valor máximo de 75,4 %, **Figura 29**, que refleja problemas de desbalance y la presencia de armónicos triplens (múltiplos de 3) que tienden a circular por el neutro y que afectan considerablemente el funcionamiento y vida útil de las maquinas. Con respecto a los armónicos de corriente, la norma UNE-EN 50160:2011/A1:2015 no habla sobre el umbral permisible para el THD de corriente, sin embargo, Hioki recomienda tener valores $THD_i \leq 20\%$. En este análisis se encontraron valores de THD de corriente que superan ese umbral, especialmente la fase 2 (verde), **Figura 30**. El THD de corriente en el neutro es aún más preocupante con valores que alcanzan el 1000 %, muy probablemente ocasionado por el desbalance de fases producto de las cargas monofásicas, que, a su vez, al ser cargas no lineales como equipos de cómputo y luminarias, introducen alto contenido de armónicos.

Lo relacionado con la potencia estuvo en general bien, el PF no tuvo valores prolongados por debajo del 90 % que establece la CREG como umbral mínimo sin generar sobre cargos.

Durante el periodo de medición, los eventos y/o anomalías registrados corresponden en su mayoría a desbalances de tensión y corriente que ya previamente se explicó qué correctivos tomar. Otro evento recurrente fue el de los DIP's que es ocasionado por cortocircuitos, conexión

de cargas de alta potencia, fallas cercanas y en general demanda de altas corrientes. Los tiempos de duración de los DIP's fueron de del orden de milisegundos, y como se corrobora en la gráfica ITIC, **Figura 49**, no representan un problema que afecte considerablemente las cargas eléctricas.

Finalmente, se debe recordar que un solo estudio de calidad de la energía no es suficiente para determinar con gran exactitud cuáles son las causas de las anomalías presentes en la red.

8. Recomendaciones

Se recomienda para proyectos futuros en el análisis de la calidad de la energía tener en cuenta factores que la alteren como el Horno de inducción eléctrica, ubicado en el laboratorio de materialografía que no se realizaron en este trabajo por razones ya comentadas. Sería un valor adicional a un nuevo trabajo este análisis para determinar en qué porcentaje (si la hay) se ve afectada la calidad de la energía con este equipo encendido.

Al observar que no hay ningún equipo monitoreando y registrando en la subestación los eventos y variables eléctricas, se recomienda llevar los eventos registrados en una bitácora interna, para investigar aproximadamente las horas en que fueron registrados los eventos que afectan la calidad de la energía en la Institución.

Se recomienda activar las cargas pesadas en horario de bajo consumo o aumentar la potencia del transformador de subestación (difícil) para que la potencia no se caiga cuando haya mayor demanda, en cortocircuito, se deben verificar y mejorar los sistemas de protección. Para los agentes externos, se debe verificar con la empresa prestadora del servicio de distribución eléctrica, en este caso, EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, de ser muy repetitivo, se debe presentar un reclamo formal usando como soporte los datos registrados con el analizador de calidad de la energía.

Identificar qué cargas monofásicas están alimentadas por la fase 1 y redistribuirlas por igual en la fase 2 y 3 hasta que los consumos de corriente en las tres fases sean aproximadamente iguales. También se observa que la hora de mayor consumo de corriente estuvo en el día 26/02/2019 entre las 17:18 y las 22: 00 alcanzando valores máximos de 738 A para la fase 1. Es importante conocer que carga en particular puede estar consumiendo mayor corriente para evaluar los efectos que tienen sobre el mal suministro de calidad de la energía.

La corriente por el neutro es ocasionada por varios factores, uno de ellos es el desbalance de corriente, por tal motivo, corregir el desbalance debe ayudar a disminuir la corriente que circula por el neutro. También se recomienda hacer una verificación de los sistemas de puesta a tierra, la

verificación debe incluir la revisión del cableado de tierra, los valores de resistencia de puesta a tierra, los conectores y todo lo reglamentado en la norma RETIE artículo 15 sobre puestas a tierras.

Como se mencionó en el punto anterior, se debe hacer una redistribución de la carga. También se recomienda hacer mediciones de calidad de energía sectorizadas, empezando por las cargas monofásicas para evaluar la severidad de los armónicos generados y determinar si justifica la instalación de filtros, que son costosos, para disminuir la presencia de estos.

Revisar la potencia en horas de bajo consumo, todos los días de 22:00 a 06:00, ver **Figura 34**, ya que, en este horario, donde no debería haber grandes cargas alimentadas, el consumo de potencia es bastante significativo con un valor promedio de 50 kW. Identificando adecuadamente que genera este consumo y haciendo políticas de eficiencia energética, la Institución se ahorraría un monto considerable en la facturación de electricidad, al igual que se haría un aporte al cuidado del medio ambiente reduciendo su consumo de electricidad.

Realizar estudios sectorizados, iniciando por el transformador de subestación he ir avanzando aguas abajo cubriendo panales de distribución y las cargas más representativas del sistema para identificar las fuentes y causas de las anomalías. También, tener presente que los estudios de calidad de energía tienen un carácter de mantenimiento preventivo / predictivo y que no solo se debe hacer cuando haya fallas en el suministro eléctrico, sino que, por el contrario, se deben hacer con bastante frecuencia para poder adelantarse a una posible falla. Estos estudios deben ir complementados con mantenimiento de sistemas de puesta a tierra y estudios de termografía.

9. Referencias Bibliográficas

- Arizpe, J. L., Santiago, I., Rosales, N., & Escamilla, A. L. (2013). Calidad De Energía Y Sistemas Eléctricos De Potencia, (01), 29–54. Retrieved from [http://eprints.uanl.mx/7968/1/Calidad de energía y sistemas electricos de potencia.pdf](http://eprints.uanl.mx/7968/1/Calidad%20de%20energía%20y%20sistemas%20electricos%20de%20potencia.pdf)
- Armónico, Q. (2008). Diferencia entre Cos Phi y PF, 50–61.
- Calidad, A. D. E. (2014). Analizador de calidad de energía, 00.
- Camacho Puig, R. (2016). Ingeniería mecánica.
- Cardona, E., Gómez, C., & Sánchez, A. (2018). *Diseño de Redes de Distribución Eléctrica Subterránea y Subestación para la Institución Universitaria Pascual Bravo*. Institución Universitaria Pascual Bravo.
- C.Castell23. (2015). Cómo funciona un Drone. Retrieved April 1, 2017, from <https://www.profesionalreview.com/2015/04/21/como-funciona-un-drone-conoce-la-tecnologia-detras-de-estos-robots/>
- Cervantes, O. (2014). Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa - CUC, 102. Retrieved from [http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/234/Proyecto de grado %28final%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/234/Proyecto%20de%20grado%20final%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- CREG. (1998). Resolución CREG 070 de 1998, 63.
- CREG. (2000). CREG 096 DE 2000
- CREG Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2005). Gestión Del Flujo De Potencia Reactiva, 43. Retrieved from [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8f0d46ae7d55f6640525785a007a6b74/\\$FILE/D-018 GESTIÓN DEL FLUJO DE POTENCIA REACTIVA.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8f0d46ae7d55f6640525785a007a6b74/$FILE/D-018%20GESTI%C3%93N%20DEL%20FLUJO%20DE%20POTENCIA%20REACTIVA.pdf)
- CREG. (2017). Resolución 019 de 2017. Retrieved from [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/432f91ab604ed99b052580df0051e4a8/\\$FILE/Creg019-2017.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/432f91ab604ed99b052580df0051e4a8/$FILE/Creg019-2017.pdf)
- Dane. (2008). Departamento Administrativo Nacional de Estadística. *Encuesta de Calidad de La Gestión Estatal Para El Desarrollo Empresarial: Informe de Resultados*. <https://doi.org/10.18263/dane.2008>. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [Internet]. [cited 2015 Mar 5]. Available from: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>.
- Donoso, F. A. (2000). Componentes Armónicas En Redes De Distribución Eléctricas.
- Douglas, S. D., Carl, E. B., Christopher, J. M., Robert, J. S., Kenneth, M. M., Thomas, M. G., ... Mark, W. (2005). *IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment* (Vol. 2005). Retrieved from http://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/Std1100-2005_Part1.pdf

ENERGÍA, M. D. (2013). REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE). BOGOTA D.C.

Equilibrio Trifásico. (n.d.). Retrieved May 16, 2019, from <http://mecfi.es/equilibrio-trifasico>

IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power system. ANSI/IEEE - Std. 519 – 2014.

IEE Recommended practice for establishing liquid-filled and dry-type power and distribution transformer capability when supplying nonsinusoidal load currents. ANSI/IEEE C57.110 - 2008.

IEEE recommended practice for the analysis of fluctuating installations on power systems. IEEE Std 1453 2015.

IEEE std. 1100 “IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment

Ingeniería, Investigación y Tecnología. (enero-marzo 2014). Programación óptima del mantenimiento de la vegetación bajo redes aéreas de distribución usando una técnica de optimización multiobjetivo. Ingeniería, Investigación y Tecnología: Arias-Londoño Andrés. Hincapié-Isaza Ricardo Alberto. Granada-Echeverri Mauricio., Volumen XV (Número 1): 139-150.

Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). (2008). NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5001, 60.

ISA. (n.d.). Qué hacemos. Retrieved May 16, 2019, from <https://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Nuestra-empresa/que-hacemos.aspx>

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2013). Energía Eléctrica en Colombia. *Memorias Del Congreso de La República*.

Norma Técnica Colombiana NTC 5001 “Calidad de la potencia eléctrica, límites y metodología de evaluación en el punto de conexión común. 2008 – 05 – 28.

Norma Española UNE-EN 50160:2011/A1:2015. Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. 2015-06-03

Perez Fernandez, E. (Universidad de C. (2006). *Universidad de Cantabria Departamento de Electrónica y Computadores, Capítulo 4*. Universidad de Cantabria.

Puello, J. (2012). Aspectos Regulatorios Sobre La Calidad De La Energía Eléctrica En Colombia, 50. Retrieved from <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0063137.pdf>

Ramírez Castaño, S., & Cano Plata, E. A. (2003). *Calidad del servicio de energía eléctrica*. Universidad Nacional de Colombia.

Tierny, J., Vandeborre, J., & Daoudi, M. (2008). [No Title]. *The Visual Computer*, 24(3), 155–172.

XM -Filial de ISA. (2017). Informe de operación del SIN y Administración del Mercado - Cifras relevantes, 323.

10. Anexos

Anexo 1. Informe extraído del analizador Hioki PW3198



Informe Hioki
PW3198 part2.docx