

Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la Costa Norte de Colombia

Study and diagnosis of the quality of the energy of a university campus on the north coast of Colombia

Oscar Churio Silvera¹, Marley Vanegas Chamorro², Guillermo Valencia Ochoa³

¹Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, ochurio@mail.uniatlantico.edu.co

²Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, marleyvanegas@mail.uniatlantico.edu.co

³Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, guillermoevalencia@mail.uniatlantico.edu.co

Fecha de recepción: 07/10/2018 Fecha de aceptación: 11/28/2018



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4739>

Churio Silvera, O., Vanegas Chamorro, M. & Valencia Ochoa, G. (2018). Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la costa norte de Colombia. *AVANCES: INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA*, 15 (1), 271-285. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4739>

Resumen

La calidad de la energía eléctrica es un tema de mucha importancia en los diferentes renglones de la economía, donde se requiere contar con un servicio eléctrico que no genere daño en equipos sensibles que no toleran fluctuaciones de energía tales como tensión, corriente y frecuencia, ya que pueden sufrir daño, aunque estas fluctuaciones sean mínimas. Este artículo se enfoca en el estudio y diagnóstico de la calidad de energía de la red de distribución interna en las instalaciones de una Universidad en la región caribe colombiana, a través del análisis de parámetros tales como distorsiones de la forma de onda (Armónicos), fluctuaciones de tensión y factor de potencia, teniendo en cuenta para ello los lineamientos normativos nacionales e internacionales, con el fin de dar recomendaciones que permitan mantener una apropiada operación de los equipos eléctricos de la institución. En general, se encontró que la calidad de la energía en lo que respecta a la frecuencia y distorsión armónica de la tensión se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa vigente, mientras que el factor de potencia se presenta por debajo de los límites, con un 45% y 89% del tiempo para la subestación del bloque administrativo y el bloque de laboratorios, respectivamente,

lo cual trae como consecuencia un mayor consumo de energía y por ende un incremento en el costo del servicio.

Palabras clave: Armónicos, Calidad de la Energía, Distorsiones de la forma de onda, Factor de potencia, Fluctuaciones de tensión.

Abstract

The quality of electrical energy is a very important issue in the different lines of the economy, where it is required to have an electrical service that does not generate damage in sensitive equipment that does not tolerate fluctuations in energy such as voltage, current and frequency, since they can suffer damage even though these fluctuations are minimal. This article focuses on the study and diagnosis of the power quality of the internal distribution network in the facilities of a University in the Caribbean region of Colombia, through the analysis of parameters such as waveform distortions (harmonics), voltage fluctuations and power factor, taking into account national and international regulatory guidelines, in order to provide recommendations to maintain proper operation of electrical equipment of the institution. In general, it was found that the power quality in terms of frequency and harmonic voltage distortion are within the limits allowed by current regulations, while the power factor is presented below the limits, with 45% and 89% of the time for the substation of the administrative block and block laboratory, respectively, which results in higher power consumption and therefore an increase in the cost of service.

Keywords: Harmonics, Power Quality, Waveform Distortions, Power Factor, Voltage Fluctuations

1. Introducción

Las instalaciones eléctricas con el transcurrir del tiempo sufren daños a raíz de su exposición a la intemperie o por falta de un mantenimiento preventivo, lo cual genera que los empalmes se aflojen presentando calentamiento, deterioro del forro del conductor y pérdida de capacidad de aislamiento. El polvo, pequeñas partículas y óxido se acumulan en los interruptores, tableros y tomacorrientes provocando 'fugas' de corriente que muchas veces pueden ocasionar grave riesgo de descarga para las personas

que lo manipulan y en últimas posibles conatos en los lugares donde se encuentran estas conexiones [1][2].

Por otro lado, los dispositivos electrónicos que hacen parte de los procesos industriales y comerciales contaminan la energía ocasionando perturbaciones tales como distorsiones de ondas de tensión y corriente que alteran los sistemas eléctricos [3]. El término de calidad de energía (calidad de potencia), varía de acuerdo con las diferentes conceptualizaciones de varios autores [4][5][6]. En el Estándar IEEE 1100 – 2005, se

entiende por calidad de la potencia eléctrica: el concepto de alimentar y poner a tierra equipo electrónico de manera que sea adecuado para la operación de dicho equipo y compatible con el sistema de alambrado del local y con otro equipo conectado.

Esta definición es demasiado corta en cuanto a tipos de dispositivos a cubrir, ya que sólo contempla equipo electrónico. Todos los dispositivos eléctricos pueden fallar o funcionar mal cuando se exponen a uno o más problemas de calidad de la potencia. El dispositivo podría ser un motor eléctrico, un transformador, un generador, una computadora, una impresora, equipo de comunicación o cualquier equipo casero [7]. Por lo anterior, es necesario abrir el concepto, obteniendo que, la calidad de la energía no es más que un conjunto de características de la electricidad en un punto dado de un sistema de potencia en un momento determinado, que permiten satisfacer las necesidades eléctricas requeridas [8].

La calidad de la energía eléctrica puede tener un impacto económico directo especialmente en consumidores industriales y comerciales [9], debido a la proliferación de equipo energéticamente eficiente, controlado electrónicamente, que es más sensitivo a desviaciones en el voltaje de alimentación de lo que eran sus predecesores electromecánicos [7]; esto se ve reflejado en el consumo energético y por consiguiente en el costo energético que de manera proporcional afecta la eficiencia de los nuevos equipos que contribuyen al ahorro energético.

El estudio de la calidad de la energía es necesario para determinar las variaciones energéticas que pueden afectar las instalaciones eléctricas, por tal motivo, el Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía han establecido directrices con diferentes exigencias y especificaciones que garanticen la adecuación en las instalaciones eléctricas, por todo esto se hace necesario realizar un estudio y diagnóstico de la calidad de la energía que es suministrada al centro educativo para garantizar la seguridad de los estudiantes, docentes, administrativos y visitantes; además, preservando el ambiente; con el fin de buscar alternativas para disminuir o mitigar cualquier tipo de perturbación eléctrica.

2. Metodología

En esta investigación la metodología a seguir está dividida en dos partes, el diagnóstico general de las instalaciones eléctricas y el estudio de la calidad de la energía de la Institución universitaria.

2.1 Diagnóstico de las Instalaciones Eléctricas

Esta investigación se inició con un diagnóstico de la institución universitaria, ubicada en la región caribe colombiana, con el fin de conocer el estado actual de las instalaciones eléctricas, identificando condiciones ambientales y operacionales que pueden causar el deterioro de las instalaciones eléctricas de la universidad; es decir que se observó el estado del Sistema de Puesta a Tierra (STP), las

Subestaciones eléctricas, los tableros principales y secundarios y los tomacorrientes e interruptores. Posteriormente se realizó un análisis de dichas instalaciones con el propósito de determinar el cumplimiento de los criterios establecidos en el basados en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE de 2013) y la norma (ICONTEC NTC 2050 de 1998).

2.2 Estudio de la Calidad de la Energía

Esta etapa de la investigación se realizó el monitoreo de calidad de la energía en sus dos tableros principales de cada una de las subestaciones de la Universidad, con el fin de determinar los sucesos externos y propios que afecten la calidad del servicio y la confiabilidad de la operación de los equipos allí presentes.

Este monitoreo se realizó con el uso de dos analizadores de redes para examinar el comportamiento de los perfiles de tensión, corriente, el factor de potencia, la potencia activa, reactiva, las distorsiones armónicas en los tableros principales según lo establecido en la normativa.

2.2.1 Analizador de Redes AEMC®

El análisis de la calidad de la energía se realizó a través del uso del analizador de redes eléctrica trifásico, AEMC® INSTRUMENTS modelo 3945-B [10] (Ver Figura 1.a), este es analizador de calidad de potencia trifásica es compacto, resistente a golpes y además presenta un sistema de medición de multitareas donde maneja simultáneamente todas

las funciones de medición y presentación de formas de ondas de las diferentes magnitudes.

2.2.2 Analizador de Redes DRANETZ®

El otro equipo utilizado en el estudio fue el DRANETZ-BMI [11] (Ver Figura 1.b). Este analizador de redes es de CLASE A según la IEC 61000-4-30 el cual está diseñado para analizar la calidad del suministro en instalaciones eléctricas. Permite analizar las características de la tensión suministrada en redes públicas de distribución de acuerdo con la norma UNE-EN 50160. Dispone de 8 canales de medida simultáneos, 4 canales de tensión diferenciales y 4 canales de intensidad, que le permite realizar medidas de gran exactitud y fiabilidad tanto en continua, como en redes de alterna monofásicas y trifásicas 50/60Hz. DRANETZ cuenta con un software basado en Windows (DRANVIEW) que permite clasificar, visualizar y analizar los eventos registrados, así como preparar informes configurables según las necesidades de cada usuario [11].

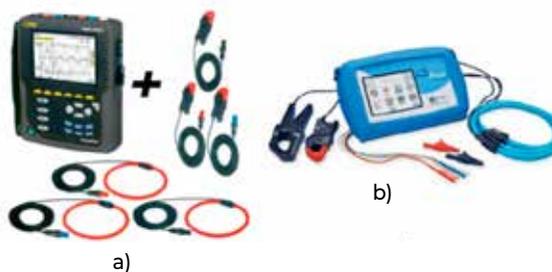


Figura 1. Analizador a) AEMC® 3945-B
b) DRANETZ-BMI

Fuente: aemc.com - dranetz.com

Tabla 1. Identificación de las Subestaciones Principales.

Tipo de Tablero	Ubicación	#Contador	Frecuencia de monitoreo
Principal	Subestación Bloque Administrativo	NIC 201148	10 minutos
Principal	Subestación Bloque de laboratorios	NIC 2011948	1 minuto

Fuente: los autores.

2.2.3. Periodo de Monitoreo

Luego de la instalación de los analizadores de redes Dranetz y AEMC, se programaron para tomar registros durante 8 días con frecuencia de registro de 1 y 10 minutos respectivamente. Los analizadores se ubicaron en la subestación cercana al bloque administrativo y la subestación cerca al bloque de laboratorios (Ver Tabla 1).

Finalmente, con los registros se realizaron los análisis de cada uno de los parámetros necesarios para el estudio de la calidad de la energía en la institución de educación superior.

3. Resultados

3.1 Diagnóstico de las Instalaciones Eléctricas

De acuerdo con la revisión que se realizó a las instalaciones eléctricas de la institución de educación superior y comparando con los lineamientos normativos se obtuvieron los siguientes resultados:

3.1.1 Sistema de Puesta a Tierra

Se evidencia que, para las dos subestaciones principales de la universidad, existe conexión a un Sistema Puesta a Tierra (SPT) acorde con los requisitos

y normas de diseño enumerados en el artículo 15 del reglamento RETIE [2]. Adicionalmente, en los tableros principales identificados se evidencia una conexión a un SPT identificado con alambre conductor de color verde.

Cabe resaltar que a todas las instalaciones eléctricas a las que se le aplica el RETIE deben disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), con el propósito de evitar que personas en contacto con las instalaciones eléctricas queden sometidas a tensiones de paso o sobre tensiones que superen los límites de resistencia eléctrica máxima soportados por el ser humano [2] [12].

Las exigencias de puesta a tierra para instalaciones eléctricas cubren el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras metálicas que, ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente en los niveles de frecuencia de la energía [13].

3.1.2 Subestaciones Eléctricas

Una subestación eléctrica es un conjunto de equipos utilizados para transferir el flujo de energía eléctrica en un sistema de potencia, garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección y redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternas durante contingencias [2] [14].

La subestación puede estar asociada con una central de generación [14], controlando directamente el flujo de potencial al sistema, con transformadores de potencia convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o más bajos, o en el caso de la sede universitaria, donde las dos subestaciones se conectan a diferentes rutas al mismo nivel de tensión. Las Subestaciones eléctricas ubicadas en la universidad según clasificación establecida en el RETIE, están catalogadas en Nivel II de distribución primaria [2], con potencia contratada de 1500 kVA.

Ambas subestaciones cumplen con los criterios establecidos en los numerales del RETIE 23.1 - 24.2, para los requisitos generales y específicos para subestaciones eléctricas de media tensión en interiores. Así mismo, observando los criterios de condición de los tableros eléctricos y código de colores establecidos en el RETIE 20.23.1 y en el numeral 310-12C de la Norma NTC 2050, las subestaciones analizadas cumplen con esta normativa (Ver Figura 2) [15].

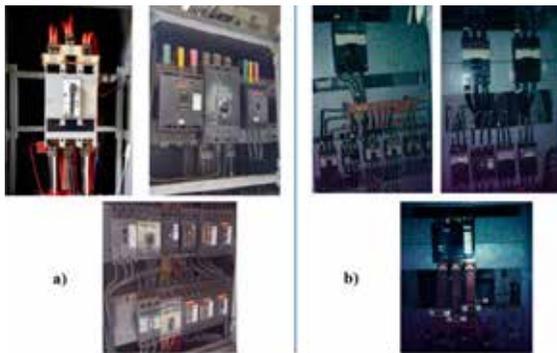


Figura 2. Subestación a) Bloque Administrativo
b) Bloque de laboratorios

Fuente: los autores

Estas subestaciones se encuentran en lugares de fácil acceso para realizar labores de mantenimiento además de que cuenta con las medidas necesarias de un SPT para evitar flashover (combustión súbita generalizada) de corriente eléctrica a través del aire expuesto con conductor vivo a otro o a tierra [16].

3.1.3 Tableros de Distribución, Tomacorrientes e interruptores

La Sede Universitaria cuenta con 20 tableros principales de distribución identificados física y visualmente, en diferentes lugares.

Los tableros de distribución se conectan directamente a las subestaciones eléctricas principales las cuales cuentan con los barrajes para conexión, distribución y tableros secundarios. Adicionalmente, presentan conexión a SPT identificado con color verde, e identificación de las fases y circuitos de distribución con diferentes colores en los conductores de acuerdo con lo establecido en el RETIE



Figura 3. Tableros Principales del Bloque Administrativo

Fuente: los autores

20.23.1 (a – h) y en la Norma NTC 2050 310-12C [2] [15] (Ver Figura 3).

En la Sede universitaria, hay un total de 54 tableros de distribución secundarios, ubicados estratégicamente para controlar los circuitos independientes de un bloque o área específica sin afectar las demás áreas de la sede. Dichos tableros no cumplen con el apartado de la norma NTC 2050 373-3. 373-4, debido a que los gabinetes en las paredes deben estar a nivel con la superficie terminada, a menos que las superficies sean combustibles a no más de 6 mm de la superficie terminada [15], es decir que los tableros se encuentran mal instalados; además, al menos 20 tableros presentan aberturas en las ranuras que no son ocupadas por circuitos (Ver Figura 4).

Verificando los requisitos que exige el RETIE [2], los tableros en su mayoría no cuentan con identificación de colores de las fases o circuitos presentes, y tampoco



Figura 4. Tableros Secundarios del Bloque académico

Fuente: los autores

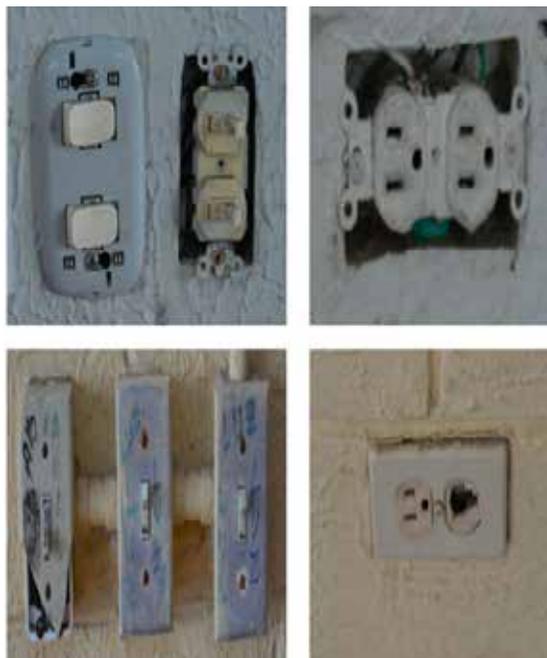


Figura 5. Tomacorriente e interruptores con inconvenientes

Fuente: los autores

se evidencia identificación de los circuitos en las cubiertas de los tableros. Sin embargo, estos tableros cuentan con conexiones a SPT y los circuitos cableados dentro de los tableros están bien sujetos y asegurados.

Teniendo en cuenta los criterios establecidos en los apartados 20.10.1 y 20.10.2, para tomacorriente y el apartado 20.16.3 respecto a interruptores manuales de baja tensión del reglamento RETIE [2], se determinó que el 70% de los tomacorrientes no se encuentran instalados apropiadamente y por ende no cumplen con los requisitos generales, representando riesgos de seguridad y fallas eléctricas. De igual forma el 80 % de los interruptores no cumple con los requisitos establecidos en el RETIE (Ver Figura 5).

3.2 Análisis de la Calidad de la Energía

Con el monitoreo de 8 días de las Subestaciones eléctricas con los analizadores de redes, se pudo determinar el comportamiento de la energía, de la siguiente manera:

3.2.1 Factor de Potencia

El Factor de Potencia es una medida de qué tan eficiente es el consumo de energía en una instalación eléctrica [17], es decir que es la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación [18].

En las Figuras 6 y 7, se puede observar la variación del factor de potencia en los tableros donde se realizó el monitoreo de la calidad de la energía. En el tablero de la subestación del bloque administrativo se observa que el 44,93% del tiempo, los datos se encuentran por debajo del límite permitido por las normas IEEE-1192 y NTC-5001 (Ver Figura 7).

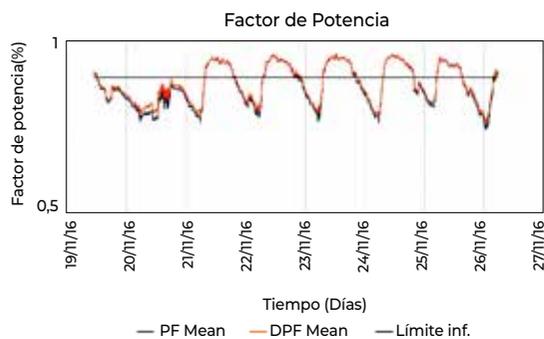


Figura 6. Comportamiento del Factor de potencia registrado en el Tablero de la subestación Bloque Administrativo
Fuente: los autores

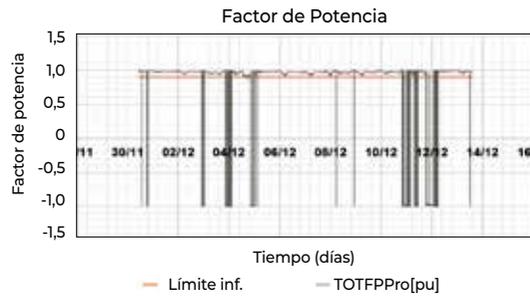


Figura 7. Comportamiento del Factor de potencia registrado en el Tablero de la subestación Bloque de laboratorios

Fuente: los autores

En la Figura 7, se puede observar en lo que respecta al factor de potencia medido en el Bloque de laboratorio, que el 89,77% del tiempo los datos se encuentran por debajo del límite permitido por las normas IEEE-1192 y NTC-5001. El factor de potencia por debajo del valor permitido aumenta el costo a la compañía de energía eléctrica de suministro de la potencia activa, porque tiene que ser transmitida más corriente. Este costo más alto se cobra directamente al consumidor por medio de cláusulas incluidas en las tarifas [18].

En los condensadores las cargas son capacitivas y por tanto el ángulo formado entre los vectores corriente y voltaje es mayor que cero lo cual trae como consecuencia que el factor de potencia disminuya, esto suele ocurrir cuando los equipamientos eléctricos inductivos son desconectados y los condensadores permanecen conectados o se encuentran sobredimensionados [19].

Un bajo factor de potencia también causa sobrecarga en los generadores, transformadores y líneas de distribución dentro de la misma instalación eléctrica,

así como también las caídas de voltaje y pérdidas de potencia se tornan mayores de las que deberían ser. Todo esto representa pérdidas y desgaste en equipo electrónico [18]. Entre los problemas económicos que trae consigo manejar un bajo factor de potencia es que se incrementa la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente y se penaliza hasta en un 120% del costo de la facturación.

3.2.2 Potencia Activa, Reactiva y Aparente

Al analizar el Factor de Potencia es necesario realizar un estudio del comportamiento de los diferentes tipos de potencia (activa, reactiva y aparente). Las potencias eléctricas son las velocidades con las que se transfieren los distintos tipos de energía. Las potencias son valores instantáneos, mientras que los consumos de energía se refieren a períodos de tiempo [20]. La potencia eléctrica es el producto de la tensión por la corriente correspondiente [18].

En las Figuras 8 y 9, se observa que el comportamiento de la potencia activa reactiva y aparente en el tablero de la subestación ubicada cerca del Bloque Administrativo y Bloque de laboratorios; en las tres fases en general es similar la variación de la potencia activa y aparente, aunque sobresale la fase 1 con valores más altos y la fase 3 presenta los niveles más bajos.

En cuanto al comportamiento de la energía reactiva, en el tablero de la subestación bloque Administrativo en la

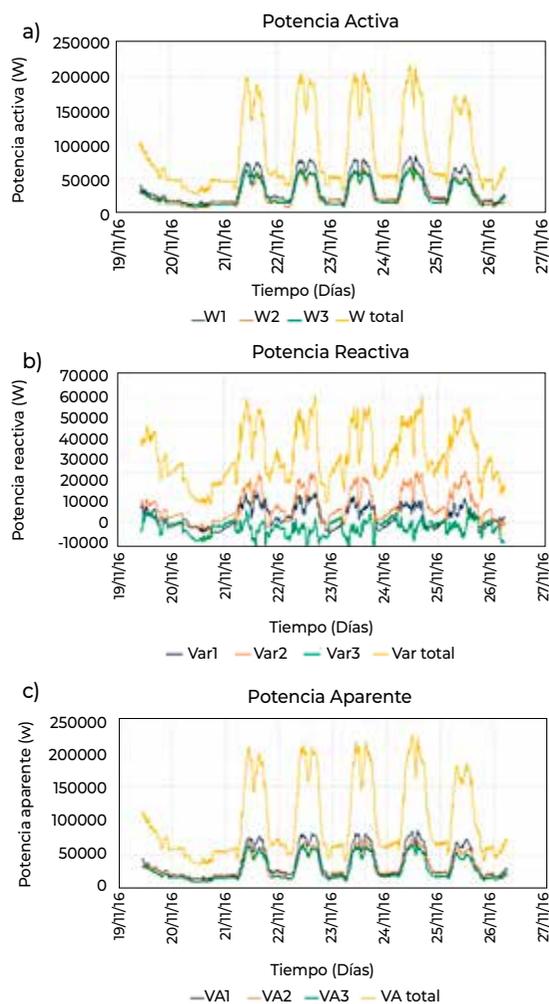


Figura 8. Comportamiento de la Potencia a) Activa b) Reactiva c) Aparente registrado en el Tablero de la subestación Bloque Administrativo.

Fuente: los autores

fase 2, se presentan los valores más altos, variación inductiva con valores hasta de 29,06 kVAr, y en la fase 1 con valor de 26,77 kVAr, mientras que la fase 3 tuvo comportamiento capacitivo de -0,87 kVAr. Cabe resaltar que a pesar de que la potencia reactiva no es útil, es necesaria para formar campos electromagnéticos en el caso de motores y transformadores, y campos eléctricos en el caso de las capacitancias [18] [21].

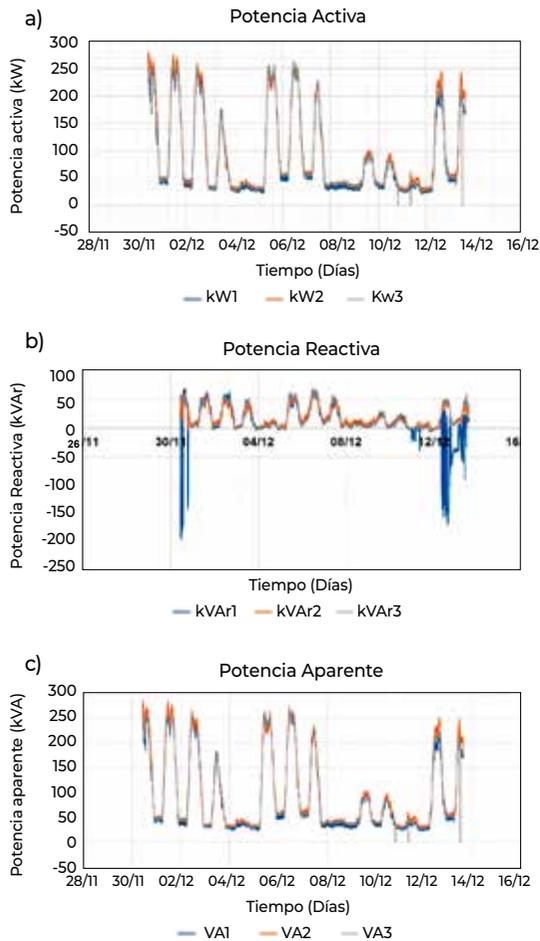


Figura 9. Comportamiento de la Potencia a) Activa b) Reactiva c) Aparente registrado en el Tablero de la subestación Bloque de laboratorios.

Fuente: los autores

En el comportamiento de la potencia reactiva en la Figura 9, se observa que hay ciertas etapas donde en la fase 1, predomina la reactancia inductiva, es decir que la corriente se presenta retrasada con respecto al voltaje, lo que genera mayor gasto energético y esto se ve reflejado en el incremento del costo de la energía que paga la institución

Los sistemas interconectados actuales buscan minimizar el aprovechamiento

de las redes en el transporte de potencia activa, por tanto, se busca que la potencia reactiva sea producida localmente, minimizando el flujo de potencia reactiva por las redes de transmisión y distribución y limitando el suministro de reactivos realizados por los generadores al control de potencia reactiva y al soporte de tensión [21].

3.2.3 Tensión y Frecuencia

En la Figura 10, se observa la tendencia que sufre la tensión durante el periodo de registro de los datos en el tablero principal ubicado en la subestación cerca al Bloque Administrativo de la sede universitaria. En la figura se observan los límites que deben tenerse en cuenta para el voltaje según la normativa nacional e internacional. Se resalta que todo el tiempo del monitoreo hubo sobretensión en el circuito superando el límite superior establecido por las normas IEEE-1159 [22] y la NTC-5001 [23], lo que podría contribuir al envejecimiento y daño de los equipos

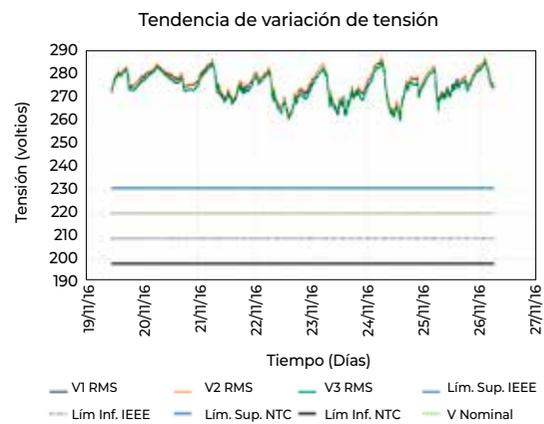


Figura 10. Comportamiento de la Tensión en el Tablero de la subestación Bloque Administrativo

Fuente: los autores

conectados a este circuito. El voltaje medido fue de 231 V, mientras que el valor nominal del voltaje es 220 V.

En la Figura 11, se puede observar el comportamiento de la tensión en cada una de las fases de la subestación del Bloque de laboratorios, donde el valor nominal es 12500 V. Según lo contemplado por la norma IEEE 1100 [24], el límite superior es de 13125 V y el límite inferior es 11875 V. El 41,35% de los datos registrados se encuentran por encima del límite superior permitido por la norma y el 3,07% de los datos se encuentra por debajo de los límites permitidos por la norma; lo que correspondería a que el 55,58% de los datos obtenidos están en el rango permitido.

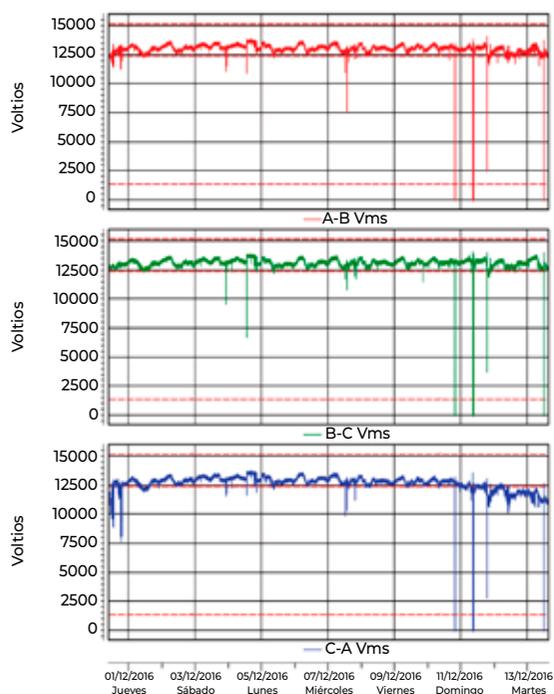


Figura 11. Comportamiento de la Tensión registrado en cada fase de la subestación Bloque de laboratorios

Fuente: Dranezt

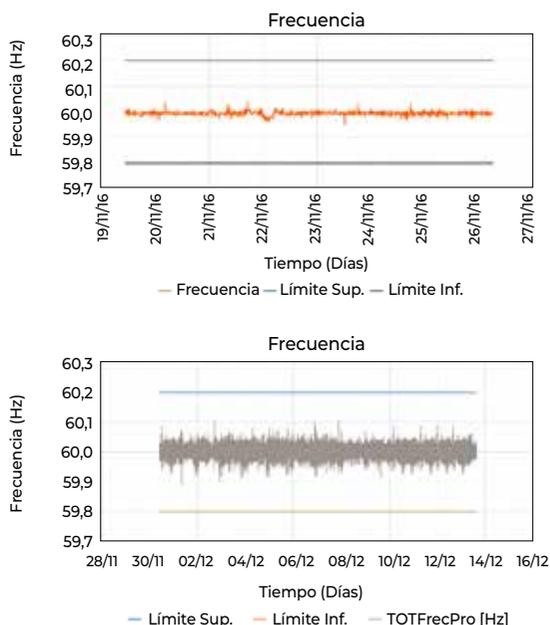


Figura 12. Comportamiento de la Frecuencia en el Tablero de la subestación a) Bloque Administrativo b) Bloque de laboratorios

Fuente: los autores

La frecuencia nominal de la tensión de suministro es de 60 Hz. Mantener la frecuencia del sistema depende en gran medida del balance entre las cargas y la potencia producida por las estaciones de generación [20]. En la Figura 12, se puede observar la frecuencia para los tableros ubicados en la subestación del bloque Administrativo y del Bloque I de la universidad, donde en ningún momento del registro se superan los límites establecidos por las normas IEEE-1159 [22] y la NTC-5001 [23].

3.2.4 Distorsión Armónica

Una perturbación armónica es una deformación de la onda con respecto a la onda senoidal pura. Los armónicos son tensiones o corrientes de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia

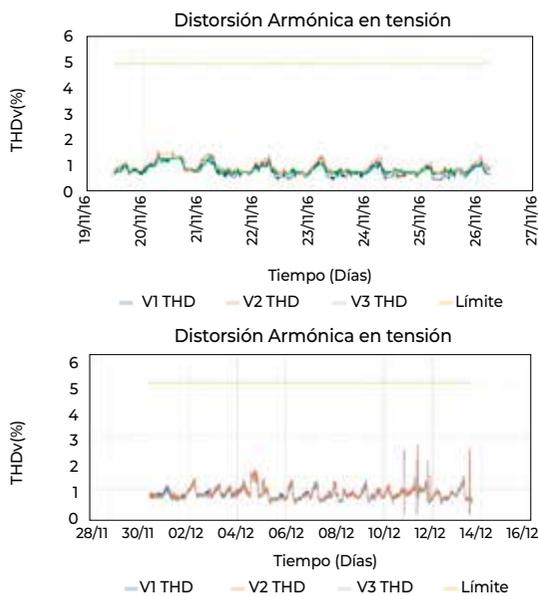


Figura 13. Comportamiento de la Distorsión Armónica en Tensión en los Tablero de la subestación a) Bloque Administrativo b) Bloque de laboratorios.

Fuente: los autores

fundamental [25]. El nivel de distorsión está directamente relacionado con las frecuencias y amplitudes de las corrientes armónicas. La contribución de todas las frecuencias armónicas de corrientes a la frecuencia fundamental es conocida como “Total harmonic Distortion” (THD) en español: Distorsión Armónica Total. El THD es expresado como un porcentaje de la corriente fundamental [26].

De acuerdo con los registros tomados en los tableros estudiados, los valores promedio de THDv en el periodo de operación fueron 1,36% y 1,02% en las subestaciones Bloque Administrativo y bloque de laboratorios, respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los valores recomendados por la IEEE 519 [27] que estipula un valor no mayor del 5% (Ver Figura 13).

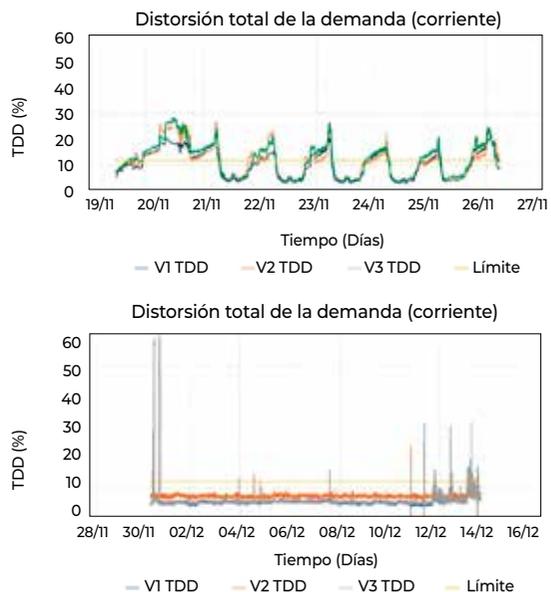


Figura 14. Comportamiento de la Distorsión Armónica en Corriente en los Tablero de la subestación a) Bloque Administrativo y b) Bloque de laboratorios.

Fuente: los autores

De acuerdo con la norma IEEE 519 [27], las distorsiones armónicas totales en las señales de corriente (TDD), evaluadas con base en la corriente de demanda máxima de la instalación, para un cliente conectado a una tensión que está entre 120 V y 69 kV, con una relación I_{sc} / I_L entre 50 y 100, donde I_{sc} es la corriente de cortocircuito e I_L es su corriente de carga nominal, deben permanecer por debajo del 12%. En las Figuras 15.a y 15.b, se presenta el comportamiento de la TDD de los registros tomados en los tableros ubicados en la subestación Bloque Administrativo y Bloque de laboratorios. En la Figura 14.a) se observa que las tres fases sobrepasan los límites permitidos por la norma en el 49% de los datos. En la Figura 14.b), se observa que la fase 3 es la que presenta mayor distorsión sobrepasando los límites permitidos.

Esta variación por encima del nivel permitido por la norma genera efectos nocivos e ineficiencia en el sistema eléctrico de la Universidad, lo que podría ocasionar desde operaciones espurias en alguno de los equipos conectados, hasta fallas severas en general. En términos generales, la presencia de estos fenómenos causa sobrecargas, calentamiento y pérdidas suplementarias que aceleran su envejecimiento en cables de potencia, transformadores, bancos de capacitores, distorsión de la tensión de alimentación, causando perturbaciones en los equipos más sensibles y alto riesgos de resonancia con los bancos de capacitores para compensación del factor de potencia [27].

Para mitigar y controlar las dispersiones generadas por armónicos una de las mejores opciones es el uso de frente activo (AFE), el cual limita el TDD para niveles menores al 5%. Adicionalmente, ofrecen la capacidad de regeneración de la energía para las cargas con torque arrastrante considerable. Particularmente, estos diseños están disponibles para potencias medianas y altas. Además, el uso de filtros activos, el cual es un método muy eficiente de mitigación, aporta beneficios importantes para evitar resonancias en equipos y mejora la disponibilidad de un sistema. Generalmente, se aplican para la mitigación de armónicos de manera global en una instalación [27] [28].

La comprensión de la distorsión armónica, sus efectos, así como

la interpretación apropiada de los estándares aplicables, aporta información útil para diagnosticar y elegir la solución más conveniente para su implementación en las instalaciones nuevas o existentes [28].

4. Conclusiones

Mediante esta investigación se logró realizar un diagnóstico de las instalaciones eléctricas de la institución de educación superior ubicada en la región caribe colombiana, fue posible determinar que las instalaciones físicas donde se ubican las subestaciones se encuentran en buenas condiciones, sin embargo, se recomienda realizar mantenimiento preventivo a las instalaciones eléctricas de las subestaciones, de tal manera que se prevengan fallas por contactos débiles u otras causas. Adicionalmente, el 80% de los tomacorrientes e interruptores de los bloques académicos, necesitan mantenimiento activo y además hay que hacer un reajuste en el acceso y seguridad a estas áreas.

Para el análisis de la calidad de la energía se determinó que la frecuencia y la distorsión armónica de la tensión se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa, mientras que el factor de potencia está por debajo de estos límites, con un 45% y 89% del tiempo para la subestación del bloque administrativo y el bloque de laboratorios, respectivamente.

En cuanto al comportamiento de la potencia reactiva en las instalaciones de la Universidad predomina la reactancia

inductiva, es decir que la corriente está retrasada respecto al voltaje, mientras que el comportamiento de la distorsión armónica en corriente sobrepasa el 12% permitido por la IEEE 519, donde alrededor del 50% de los registros están por encima de este valor.

Finalmente, la calidad de la energía del ente educativo puede mejorarse a través de estudios pormenorizados de esta, seguimiento y con la adquisición de equipos que permitan estabilizar todas las fluctuaciones que la energía presenta como frente activo, filtros activos, entre otros.

Referencias

- [1] I. C. A. México, «Programa de Casa Segura», International Copper Association México, Consultado 17 agosto 2017. En: <http://programacasasegura.org/mx/guia-para-diagnostico-de-la-instalacion-electrica-en-vivienda/>.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, (2013) «Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)», República de Colombia, Bogotá.
- [3] Cervantes O., Silva J. (2014). *Metodología de medición de Calidad de Energía Eléctrica en base a Normas Nacionales e Internacionales para la Universidad de la Costa-CUC*. Universidad de la Costa CUC. Barranquilla.
- [4] Enriquez H. G.(2004). *El ABC de la calidad de la energía eléctrica*. Limusa. México D.F. México.
- [5] Dugan R., McGranaghan M., S. Santoso S., Wayne B. (2012). *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill Education. New York.
- [6] Sankaran, C. (2002). *Power Quality*. CRC Press LLC. USA.
- [7] ENEL, G. Condensa - Medición Calidad de la Energía. 27 agosto 2017. En: <https://www.codensa.com.co/empresas/productos-y-servicios/calidad-de-potencia/medicion-calidad-de-energia>
- [8] Sánchez, C.M. (2009). *Calidad de la Energía Eléctrica*. SNEST. Puebla, Mexico.
- [9] Lee, G., Heydt, G. (2004). An interactive - dynamic mechanism conceptualizing the cost and benefit of electric power quality. *Journal of Electric Power Components and Systems*, vol. 69, pp. 9-75.
- [10] Instruments A. (2012). *3-Phase Power Quality Analyzer*. AEMC® Instruments. Dover, USA.
- [11] DRANETZ-BMI (2014). *Manuales, guías y referencias*. DRANETZ, New Jersey, USA.
- [12] García M.R. (1991). *La Puesta a tierra de instalaciones eléctricas y el RAT*. Marcombo S.A. Barcelona, España.
- [13] Procobre (1999). *Sistema de Puesta a Tierra*. Procobre. Santiago, Chile.
- [14] Trashorras Montecelo, J. (2015). *Subestaciones Eléctricas*. Ediciones Paraninfo. Madrid, España.
- [15] ICONTEC (1998). *Código Eléctrico Colombiano*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Bogotá, Colombia.

- [16] Meza Hernández, J. (2011). *Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico (Arc Flash Hazard)*. Funken Ingenieros, Ciudad de México.
- [17] Holguín, M. y Gómez, D. (2010). *Análisis de la Calidad de la Energía Eléctrica en el "Nuevo Campus" de la Universidad Politécnica Salesiana*. Universidad Politécnica. Salesiana, Guayaquil.
- [18] Campos, J., Lora, E., Meriños, L., Tovar, I., Navarro, A., Quispe, E., Vidal, J., Castrillon, Y., Castrillon, R. (2004). *Corrección del Factor de Potencia y Control de la Demanda*. UPME, Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente. Barranquilla.
- [19] Carnovale, D. J. (2003). Power Factor Correction and Harmonic Resonance: A Volatile Mix. *Electrical Construction & Maintenance*, vol. 102, n° 2, pp. 16-19.
- [20] Garrido, R., (2013). Editores Online. Consultado 1 octubre 2017. En: http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/280/elecond_como_determinar_la_potencia_capacitiva.
- [21] CREG (2005). *Gestión del Flujo de Potencia Reactiva*. Documento CREG- 018. Bogotá.
- [22] IEEE (2009). *IEEE 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE-SA Standards Board, New York.
- [23] ICONTEC (2008). *Calidad de la Potencia Eléctrica. Límites y Metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común*. Icontec Internacional, Bogotá.
- [24] IEEE (2005). *IEEE 1100, Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment*. IEEE Standard, New York.
- [25] Jiménez, G. O. (2008). *Armónicos: Cálculo de la Potencia Reactiva para la Implementación de Bancos de Condensadores en Cargas Aisladas*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
- [26] Chauvin, A. G. (2002). *Entendiendo la potencia y la medición de la calidad de la potencia*. AEMC, Dover.
- [27] IEEE (1992). *IEEE 519 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. IEEE. New York.
- [28] Dueñas, C. L. (2015). *Constructor Eléctrico*. Energy Management. Consultado 06 octubre 2017. En: <https://constructorelectrico.com/causas-efectos-y-soluciones-para-la-distorsion-armonica/>