

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA
EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN UNA RED
DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

**EDSON DIAZ VERGEL
OSCAR JEFFREY MONSALVE VERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2015**

**ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA
EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN UNA RED
DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN**

**EDSON DIAZ VERGEL
OSCAR JEFFREY MONSALVE VERA**

**Monografía como requisito para optar el título de Especialista en:
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**Director
GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Ingeniero electricista, Dr.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2015**

Edson Díaz Vergel

A mi madre, a donde su mente la haya llevado

A Ana María y Julián

Oscar Jeffrey Monsalve Vera

A mis Padres y Abuelos

A mis motores de Vida, Ángela y Juan Sebastián

AGRADECIMIENTOS

A la Electrificadora de Santander por promover la capacitación de su personal y apoyarnos en esta especialización.

A todos los compañeros y colegas que nos acompañaron y colaboraron de una u otra forma durante la especialización y en la elaboración de esta monografía.

A nuestras familias por su comprensión, apoyo y cariño que sirvieron como impulso para lograr nuestros objetivos.

A la Universidad industrial de Santander, a su personal administrativo y docente por sus excelentes calidades y conocimientos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2 MOTIVACIÓN	19
3 OBJETIVO.....	20
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4 MARCO DE REFERENCIA	21
4.1 ANTECEDENTES.....	21
5 SISTEMA DE MEDICIÓN	24
5.1 SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA.....	24
5.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	25
5.3 COMPONENTES.....	27
6 CARACTERÍSTICAS DE UN CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN	28
6.1 CIRCUITO SELECCIONADO.....	28
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO	30
6.3 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CARGAS CONECTADAS.....	35
6.4 PARÁMETROS DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS DEL CIRCUITO.....	39
6.5 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.....	47
7 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA Y SUS COMPONENTES	48
8 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDIDA PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA POTENCIA...	50
CITAS	54

BIBLIOGRAFÍA.....	56
-------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Topología del circuito.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2. Sistema eléctrico, diagrama unifilar S/E Electrificadora de Santander. ..</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Afloramiento del circuito.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Imagen del circuito.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5. Curva del valor eficaz de la tensión un día promedio ordinario del circuito.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6. Curva del valor eficaz de la corriente en un día promedio ordinario del circuito.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7. Curva de potencia activa en un día promedio ordinario del circuito.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8. Curva de potencia reactiva en un día promedio ordinario del circuito. ...</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9. Curvas de potencia de dimensionamiento (aparente) y factor de potencia en un día promedio ordinario del circuito.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10. Distribución de la demanda de potencia activa en kW a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11. Distribución de la demanda de potencia reactiva en kVAr a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).</i>	<i>38</i>
<i>Figura 12. Distribución de la demanda de potencia de dimensionamiento en kVA a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13. Distribución del valor eficaz de la tensión en kV a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre</i>	

<i>de 2014 de los usuarios conectados, a las longitudes de los tramos y a las características del conductor).</i>	39
<i>Figura 14. Parpadeos de corta duración P_{st}, en la fase R del circuito.</i>	41
<i>Figura 15. Parpadeos de corta duración P_{st}, en la fase S del circuito.</i>	41
<i>Figura 16. Parpadeos de corta duración P_{st}, en la fase T del circuito.</i>	42
<i>Figura 17. Valor de la relación de las magnitudes de las tensiones de secuencia negativa y positiva (V_2/V_1), del circuito.</i>	43
<i>Figura 18. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase R.</i> .	44
<i>Figura 19. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase S...</i>	44
<i>Figura 20. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase T...</i>	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de transformadores por capacidad en kVA.....	31
<i>Tabla 2. Clientes del circuito con demandas de energía representativas.</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 3. Registros de interrupciones del circuito</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Desviación de la tensión estándar (DV) fases R, S, T y la duración de la desviación de la tensión estándar (TET) en segundos.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5, Registros que superaron el límite máximo permitido Pst.</i>	<i>47</i>

Resumen

TÍTULO: ESTUDIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE LA POTENCIA ELÉCTRICA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIA TENSIÓN*

AUTORES: EDSON DIAZ VERGEL, OSCAR JEFERREY MONSALVE VERA.**

PALABRAS CLAVES: Calidad de la energía eléctrica, operador de red, nivel de tensión, cargas no lineales.

DESCRIPCIÓN:

La calidad de la energía eléctrica en los sistemas de distribución en algunos casos es inadecuada. Unas veces por responsabilidad del Operador de Red por cortes del suministro o variaciones en el nivel de tensión, y otras veces por problemas en las instalaciones eléctricas del usuario final, por lo general debido a cargas que en la mayoría de los casos son no lineales o variantes en el tiempo.

Por otro lado, el análisis de la calidad de la energía eléctrica es importante para garantizar el aumento de productividad y competitividad de las empresas, ya que existe una interrelación entre la calidad de la energía eléctrica con la eficiencia y la productividad de los sectores empresariales e industriales.

Este estudio surge de la necesidad en la empresa Electrificadora de Santander de implementar un sistema de medida apropiado para el análisis de la calidad de la energía eléctrica, y en la motivación como Operador de Red a ofrecer un mejor servicio a los usuarios y en cumplir con la regulación sobre estándares de calidad de la potencia eléctrica.

El análisis y estudio partirá de los datos obtenidos de los sistemas de medición de un circuito específico de distribución de media tensión que suministra energía a una zona predominantemente industrial.

* Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Gabriel Ordóñez Plata.

Abstract

TITLE: STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR QUALITY ANALYSIS OF ELECTRIC POWER IN A MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK **

AUTHORS: EDSON DIAZ VERGEL, OSCAR JEFERREY MONSALVE VERA.* *

KEYWORDS: QUALITY OF ELECTRIC POWER, NETWORK OPERATOR, VOLTAGE LEVEL, NON-LINEAR LOADS.

DESCRIPTION:

The quality of electric power in distribution systems at some cases is inadequate, sometimes by network operator responsibility due to power outages or variations in voltage level, and at other times due to problems in end users electrical installation, usually due to loads that in most of the cases are not linear or varying in time. On the other hand, the analysis of the quality of electric power is important to ensure increased productivity and competitiveness of enterprises, since there is a link between the product and the quality of the electrical energy efficiency and the productivity of the business and industrial sectors.

This study arises from the need in the company Electrificadora de Santander to implement an appropriate measurement system for quality analysis of electric power, and its motivation as network operator to offer a better service to the users and to comply with the regulation on power quality standards.

The analysis and study start from data obtained from the measurement systems of a specific circuit at medium voltage distribution that supplies power to a predominantly industrial area.

* Monograph of Grade.

** Faculty of Physical-mechanical Engineering. School of Electrical Engineering.
The director: Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

La Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG define Calidad de la Potencia Eléctrica como el conjunto de calificadores de fenómenos inherentes a la forma de onda de la tensión, que permiten juzgar el valor de las desviaciones de la tensión instantánea con respecto a su forma y frecuencia estándar, así como el efecto que dichas desviaciones pueden tener sobre los equipos eléctricos u otros sistemas.

La resolución 024 del 2005 es la que establece las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica. Dichas normas tienen que ver con la evaluación y registro de los parámetros de calidad de la potencia en el Sistema de Transmisión Nacional, los Sistemas de Transmisión Regionales y los Sistemas de Distribución Local.

Los operadores de red, además de cumplir con estos estándares legales deben detectar y mitigar las falencias en la calidad del servicio de sus usuarios residenciales, comerciales o industriales.

Por lo anterior este estudio comprende la evaluación y análisis de un sistema de medición apropiado de parámetros de variables eléctricas, a implementar para el análisis de calidad de potencia en los circuitos de 13,2 kV de la Electrificadora de Santander, y así de esta manera aportar al cumplimiento de los objetivos; tanto el del estándar legal como el del buen servicio a los usuarios.

En el primer capítulo se plantea el problema desde ambos puntos de vista, el del Operador de red y el del usuario del servicio. En el segundo se presenta la necesidad del estudio teniendo en cuenta los aspectos que lo justifican. En el tercero se abordan los objetivos tanto el general como los específicos. En el cuarto se establece la base para llevar a cabo el estudio, su importancia y beneficios. En el quinto se detallan las características y los componentes del sistema de medición

de calidad de la potencia. En el sexto capítulo se describe un circuito de distribución, sus variables eléctricas y tipo de cargas conectadas con un análisis y evaluación de la información recopilada. En el séptimo se propone una selección del equipo de medida y sus componentes. En el octavo capítulo se exponen algunos criterios y consideraciones para la implementación del sistema de medida, y en el último capítulo se dan las conclusiones.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad de la energía eléctrica en los sistemas de distribución en algunos casos es inadecuada. Unas veces por responsabilidad del operador de red en temas como cortes del suministro o variaciones en el nivel de tensión, y otras veces por problemas en las instalaciones eléctricas del usuario final, por lo general debidos a las cargas que son instaladas que en la mayoría de los casos son no lineales, generando por consiguiente distorsiones en la forma de onda de las señales de tensión y corriente.

La calidad de la energía y las componentes armónicas de las señales de tensión y corriente en las redes de distribución son hoy en día uno de los tópicos más discutidos en la Ingeniería Eléctrica, así como uno de los más complejos ya que recientemente se ha convertido en uno de los problemas de mayor impacto en las redes de distribución. [1]

En lo que concierne al usuario, se creería que gran parte del problema se origina en las cargas industriales, lo cual no es del todo cierto ya que las cargas residenciales han ido evolucionando y en la actualidad también generan distorsiones importantes en la señales de corriente, creando también problemas en la calidad de potencia.

Hay un creciente interés en el estudio de los problemas de calidad de potencia, debido a las diferentes distorsiones causadas por los consumidores de energía eléctrica en los sistemas de potencia. Su operación afecta la calidad de potencia suministrada en la red, ocasionando en varios casos, efectos negativos para el resto de los consumidores. [2]

Los cambios regulatorios cada vez son más exigentes, y están presionando a los operadores de red a cumplir con estándares de calidad y éstos a su vez deberán

identificar a aquellos usuarios que potencialmente pueden causar problemas de calidad en su sistema, para que en plazos determinados realicen los ajustes pertinentes.

2 MOTIVACIÓN

La realización de esta monografía surge de la necesidad en la empresa Electrificadora de Santander de implementar un sistema de medida apropiado para el análisis de la calidad de la potencia eléctrica, motivada como operador de red a ofrecer un mejor servicio a los usuarios y en cumplir con la regulación sobre estándares de calidad de la potencia eléctrica. Dichos estándares están contemplados en un proyecto de resolución que entrará en vigencia próximamente [4].

Adicionalmente, el desarrollo actual de las economías, la competencia de los mercados y la creciente demanda exige cada vez mejores índices de calidad en la cadena de suministro de energía eléctrica. Lo cual plantea un desafío continuo en adoptar las medidas necesarias y así alcanzar los estándares requeridos.

La energía eléctrica es un producto y, como cualquier producto, debe satisfacer unos requisitos de calidad adecuada. Para que los equipos eléctricos operen correctamente requieren energía eléctrica con una tensión que este dentro de un rango especificado por el valor nominal. [3]

Por otro lado se deben tener en cuenta los avances tecnológicos que exhortan a utilizar equipos actualizados que con su implementación proporcionan ventajas respecto a otros sistemas ya utilizados, en el manejo de información, conectividad, flexibilidad, eficiencia y economía.

3 OBJETIVO

Establecer criterios y consideraciones a tener en cuenta en la implementación de un sistema de medición de calidad de la potencia eléctrica en una red de distribución.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una descripción de un circuito de la Empresa Electrificadora de Santander y un análisis de sus variables eléctricas, teniendo en cuenta sus características propias.
2. Analizar la información de la medida en la cabecera de la red y determinar las variables que afectan la calidad de la energía eléctrica de la red de tal manera que sea una herramienta útil para implementar mejoras, sin perjuicio de los estándares exigidos por la regulación.
3. Establecer recomendaciones que se deben considerar en la ubicación y selección del equipo de medida a utilizar en el circuito, que sirvan para mejorar sus niveles de calidad de energía eléctrica.

4 MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se establecerán una serie de elementos que sirven como base para llevar a cabo este estudio y la razón de su importancia. Además se expondrán los beneficios que se obtendrán al resolver la problemática planteada.

4.1 ANTECEDENTES

La energía eléctrica actualmente es esencial en el mundo. Es el apalancamiento al desarrollo en los sectores comerciales e industriales de los países y parte importante para el desarrollo social. Es decir, la energía eléctrica es requerida para el desarrollo de las diferentes actividades que realizan los seres humanos.

Se podría decir que “existe un problema de la calidad de la energía eléctrica cuando ocurre cualquier desviación de la tensión, la corriente o la frecuencia que provoque la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; asimismo cuando ocurre alguna interrupción del servicio de energía eléctrica” [6].

En todo el mundo diferentes encuestas muestran que el costo de la deficiente calidad de la energía eléctrica es significativo y comparable con el costo de la factura de la energía eléctrica [5].

“Los efectos asociados a problemas de calidad de la energía eléctrica son:

- Incremento en las pérdidas de energía.
- Daños a la producción, a la economía y la competitividad empresarial
- Incremento del costo, deterioro de la confiabilidad, de la disponibilidad y del confort” [6].

Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica es importante para garantizar el aumento de productividad y competitividad de las empresas. Asimismo porque existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad [6].

Encuestas a grandes clientes demostraron que una inadecuada calidad de energía eléctrica afecta negativamente la industria, particularmente en sectores manufactureros donde se reporta que alrededor del 30% de los sectores industriales más sensibles a eventos que afecten la calidad de la energía eléctrica puede incurrir en costos adicionales de alrededor de un 4% de su volumen de negocios [5].

“Para aumentar la competitividad las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Usando equipos de alta eficiencia como motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatizando sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de Computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reduciendo los costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reduciendo las pérdidas de energía.
- Evitando los costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitando el envejecimiento prematuro de los equipos.

La proliferación de equipos de control y automatización han aumentado los problemas de confiabilidad en la producción. Pues los equipos electrónicos son una fuente de perturbaciones para la calidad de la energía eléctrica pues distorsionan las ondas de tensión y corriente. Por otro lado los equipos de control y automatización son muy sensibles a distorsión o magnitud de la onda de tensión por lo que una variación en la calidad de la energía eléctrica puede ocasionar

fallas que paralicen la producción ocasionando tiempo perdido y costos de producción inesperados” [6].

En referencia a lo anterior es claro que cada día los operadores de redes deben detectar y mitigar los problemas que se presenten con la calidad del servicio de energía eléctrica y la confiabilidad del mismo, implementando metodologías y sistemas de medición que monitoricen los sistemas eléctricos, generando señales de alerta con opciones cada vez más óptimas, para lo cual es necesario el estudio de los fenómenos de la calidad de la energía eléctrica, entendida como las características de los parámetros del sistema eléctrico en un punto dado, comparado contra un conjunto de parámetros de referencia.

5 SISTEMA DE MEDICIÓN

Los resultados de la medición dependerán de la instalación del equipo de medida, su configuración y el punto de instalación como por ejemplo en plantas de generación, subestaciones eléctricas, sitios estratégicos u óptimos en los sistemas de transmisión o distribución y consumidores finales (residencial, comercial, industrial).

5.1 SISTEMA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA

En el aspecto regulatorio, la resolución CREG 024 del 2005 especifica los equipos de medición que los operadores de red deben implementar para medir la calidad de potencia en las unidades constructivas que están reconocidas en la resolución CREG 082 del 2002.

Su instalación se debe realizar en el 100% de las barras de las subestaciones de niveles de tensión 4, 3 y 2 y en todos los circuitos de 13,2 kV cuya unidad constructiva reconozca estos equipos.

Los indicadores que se evalúan con estos equipos de medición deben reflejar el estado del sistema en cuanto a la calidad de potencia eléctrica y establecer su nivel o evolución.

El sistema de monitorización requiere de un plan de recolección de datos en unos formatos específicos que luego deberán ser reportados a la CREG semanalmente en unas condiciones y plazos determinados.

Un aspecto importante a considerar es la responsabilidad de los operadores de red, en cuanto a que la calidad de potencia eléctrica, no se limita únicamente al cumplimiento de los indicadores exigidos por la regulación, si no a prestar un buen

servicio ya que no está exonerado de cualquier responsabilidad por daños ocasionados en los equipos de los usuarios o en sus propias redes.

5.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

Respecto a la calidad de potencia los equipos de medida deben por lo menos medir los siguientes indicadores:

➤ *Distorsión armónica total de tensión (THDV).*

La regulación la define como un indicador del contenido de las componentes armónicas en la onda de tensión respecto de la componente fundamental de la misma, expresada en porcentaje y debe determinarse para cada fase del sistema trifásico en intervalos de medición de 10 minutos.

El límite máximo de distorsión armónica total de tensión para los niveles de tensión 1, 2 y 3 es del 5% respecto del valor nominal de la tensión.

➤ *Relación de tensión de secuencia negativa y positiva (V_2/V_1).*

Es el resultado de la relación entre la magnitud de la tensión de secuencia negativa y con respecto a la magnitud de la tensión de secuencia positiva.

En el proyecto de resolución de la 065 de 2012 de la CREG se establece que con un percentil 95 de las mediciones realizadas durante una semana, el indicador debe ser menor o igual al 2% para el nivel de tensión 2.

➤ *Hundimientos de tensión (Sag).*

Son las fluctuaciones de tensión que como resultado producen una depresión transitoria del valor eficaz de la tensión respecto a su valor eficaz nominal.

➤ Picos de tensión (Swell).

Son las fluctuaciones de tensión que consecuentemente producen un aumento transitorio del valor eficaz de la tensión respecto al valor eficaz nominal del punto de medición.

➤ Continuidad del Servicio.

Frecuencia y duración de las interrupciones superiores a un minuto

➤ Desviación estacionaria del valor eficaz de la tensión .

Se presenta cuando la tensión eficaz se encuentra por encima del 110% ó por debajo del 90% de la tensión nominal durante un período superior a un minuto.

➤ Indicador del parpadeo de corta duración (Pst).

Es una variable que muestra el grado de perturbación causado por el parpadeo calculada en un período de 10 minutos y que se determina para cada fase.

Los sistemas de monitorización de la calidad de la potencia eléctrica (señal de tensión), deben contar con un sistema de procesamiento de datos y realizar las descargas automáticas de estas variables para poder generar los reportes requeridos.

Con respecto a la recolección de datos se debe seguir una metodología para procesar la información cada diez minutos, la cual consiste en:

- Descarga de la Información.
- Almacenamiento de fluctuaciones estacionarias de tensión.
- Almacenamiento de interrupciones.
- Cálculo del parpadeo de corta duración o Pst.

- Almacenamiento de la relación entre la magnitud de la tensión de secuencia negativa con respecto a la magnitud de la tensión de secuencia positiva..
- Almacenamiento del parpadeo de corta duración o Pst.
- Almacenamiento de eventos.

5.3 COMPONENTES

Para la monitorización de la calidad de potencia eléctrica es necesaria la instalación de medidores especializados o analizadores, los cuales son dispositivos que tienen la capacidad de analizar las variables eléctricas para obtener los parámetros que permiten valorar la calidad de la energía eléctrica que puede afectar a los usuarios o a las fuentes de suministro de energía.

Según la regulación, las características técnicas de los instrumentos de medida utilizados deben responder a las normas técnicas internacionales que adopte cada operador de red.

Por lo tanto estos equipos de medida deben cumplir con especificaciones de exactitud y resolución de la medida de acuerdo con el tipo de medición requerido.

Por ejemplo, para medir la distorsión armónica total de tensión (THDV) debe ser de acuerdo al estándar IEEE 519 de 1992 y para medir los hundimientos y picos así como el indicador de parpadeo de corta duración (Pst) debe ser de acuerdo al estándar IEC-6100-4-15 (2003-02).

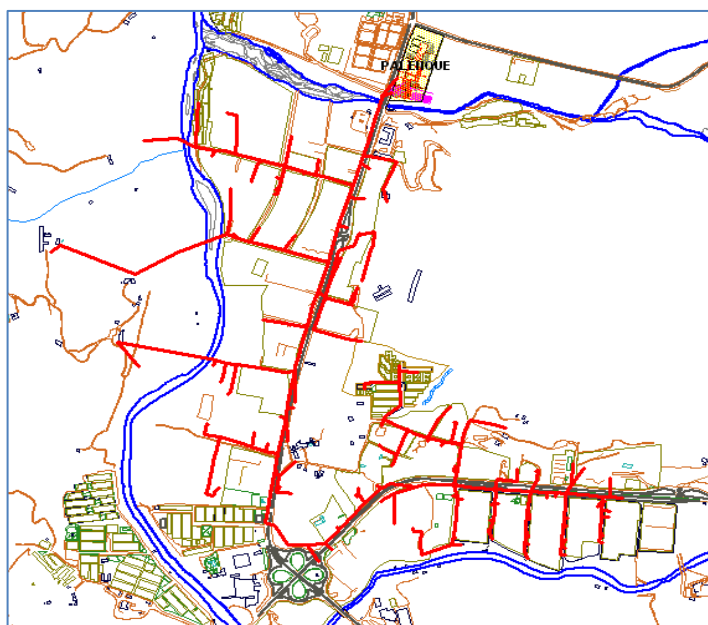
6 CARACTERÍSTICAS DE UN CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN

A continuación se realizará un análisis y descripción de un circuito de distribución de la Electrificadora de Santander con el objetivo de evidenciar los estándares de calidad que se detectan con un equipo instalado en cabecera del circuito, con el fin de identificar el estado y resultados en la medida ubicada en este punto.

6.1 CIRCUITO SELECCIONADO

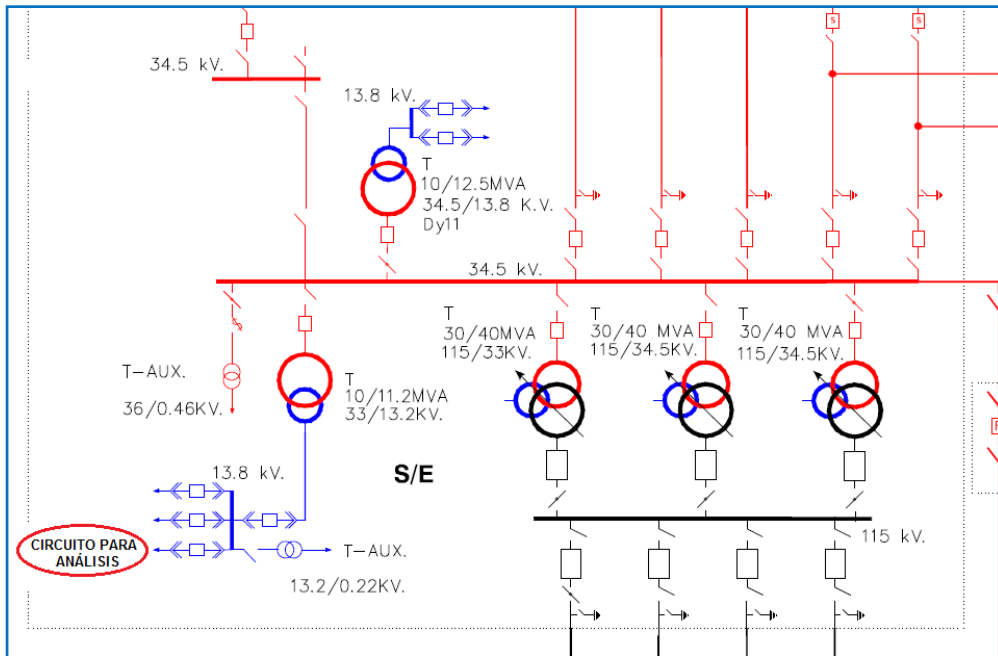
El circuito que se analizará tiene una tensión de 13,2 kV y se alimenta de una subestación de propiedad de la Electrificadora de Santander. El circuito suministra servicio a clientes industriales del municipio de Girón en Santander. A continuación en las figuras 1 y 2, se muestran la topología y el diagrama unifilar respectivamente del circuito seleccionado

Figura 1. Topología del circuito



Sistema de información de la Electrificadora de Santander.

Figura 2. Sistema eléctrico, diagrama unifilar S/E Electrificadora de Santander.



Archivo Electrificadora de Santander.

En las figuras 3 y 4, se observa el afloramiento en la subestación y una vista a la salida del circuito.

Figura 3. Afloramiento del circuito



Figura 4. Imagen del circuito.



6.2 CARACTERÍSTICAS DEL CIRCUITO

Tensión (kV):	13,8
Propietario:	ESSA ESP
Longitud (km):	12,89
Conductor ramal principal:	4/0 ACSR (PINGUIN), 1/0 ACSR (PENGUIN)
Capacidad Instalada:	(kVA) 20857,5
# De clientes:	1691
Transformadores monofásicos:	11
Transformadores trifásicos:	161

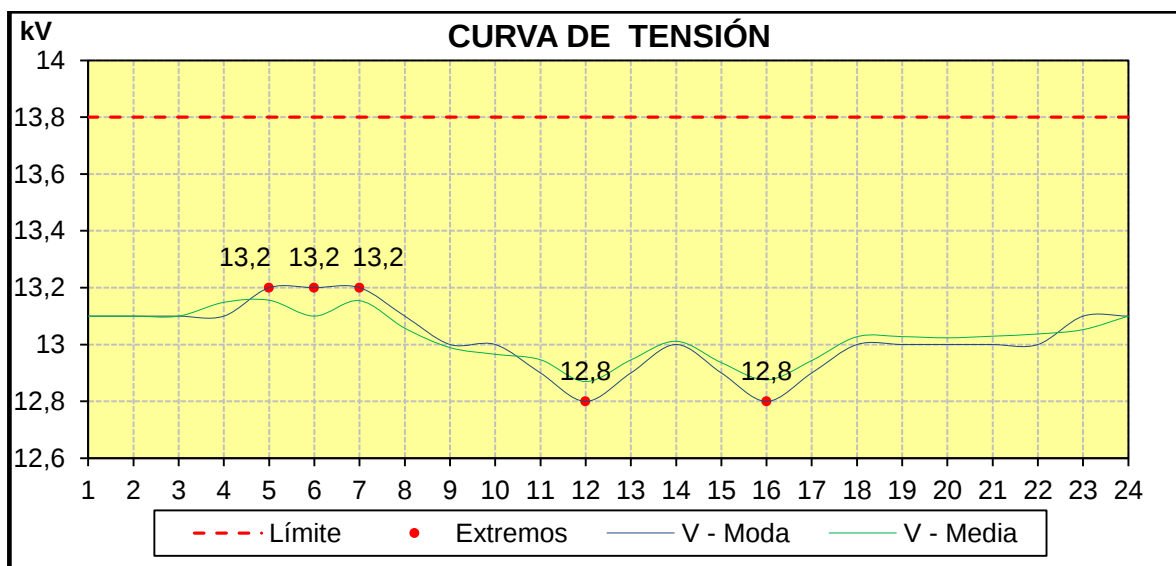
En la Tabla 1, se observa la capacidad en kVA de los 172 transformadores que componen el circuito.

Tabla 1. Cantidad de transformadores por capacidad en kVA.

Capacidad en kVA	Cantidad de transformadores
10	5
15	4
25	3
30	20
45	18
50	4
75	34
112,5	25
150	22
160	1
200	4
225	15
250	1
300	8
315	1
400	4
500	3

Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 5. Curva del valor eficaz de la tensión un día promedio ordinario del circuito.

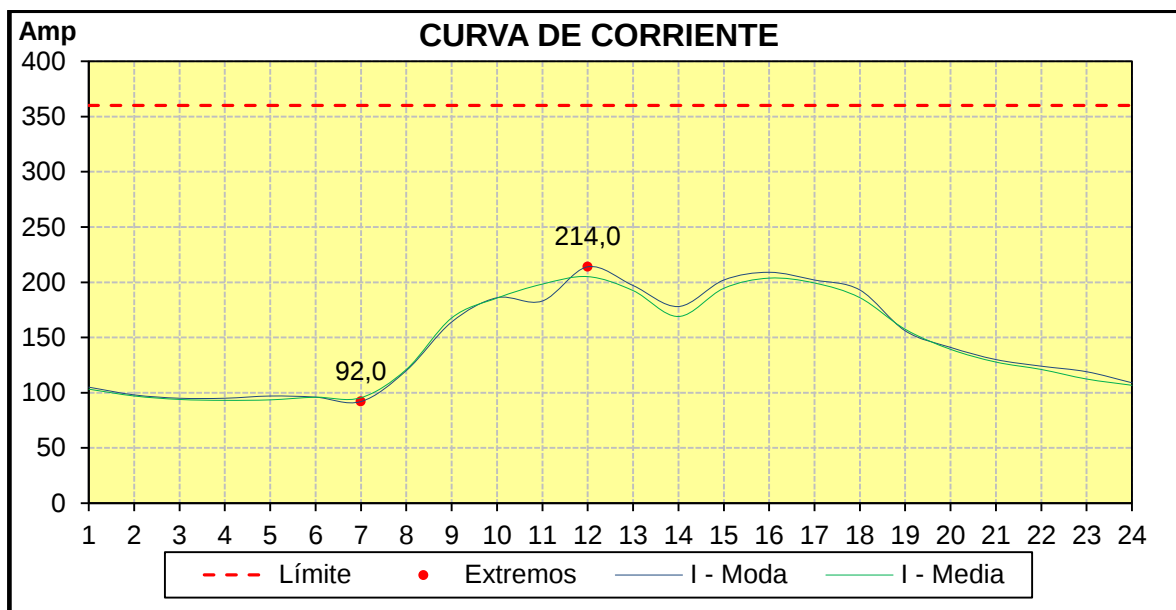


Archivo Electrificadora de Santander.

En la figuras 5 y 6, se observa los comportamientos de los valores eficaces de la tensión y la corriente en un día promedio ordinario, el cual se determina, al igual que para las figuras siguientes, con los datos recogidos por el software del sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, en español Supervisión, Control y Adquisición de Datos) y los recogidos de planilla (por los operarios de las subestaciones) durante todos los días ordinarios (lunes a sábado sin dominicales ni festivos) de los dos años anteriores.

La línea punteada en rojo, en ésta y en las figuras siguientes donde aparezca, corresponde a los valores nominales de tensión o corriente de la barra a la salida de la subestación o la corriente nominal establecida para ese circuito respectivamente. (Ver figura 2)

Figura 6. Curva del valor eficaz de la corriente en un día promedio ordinario del circuito.

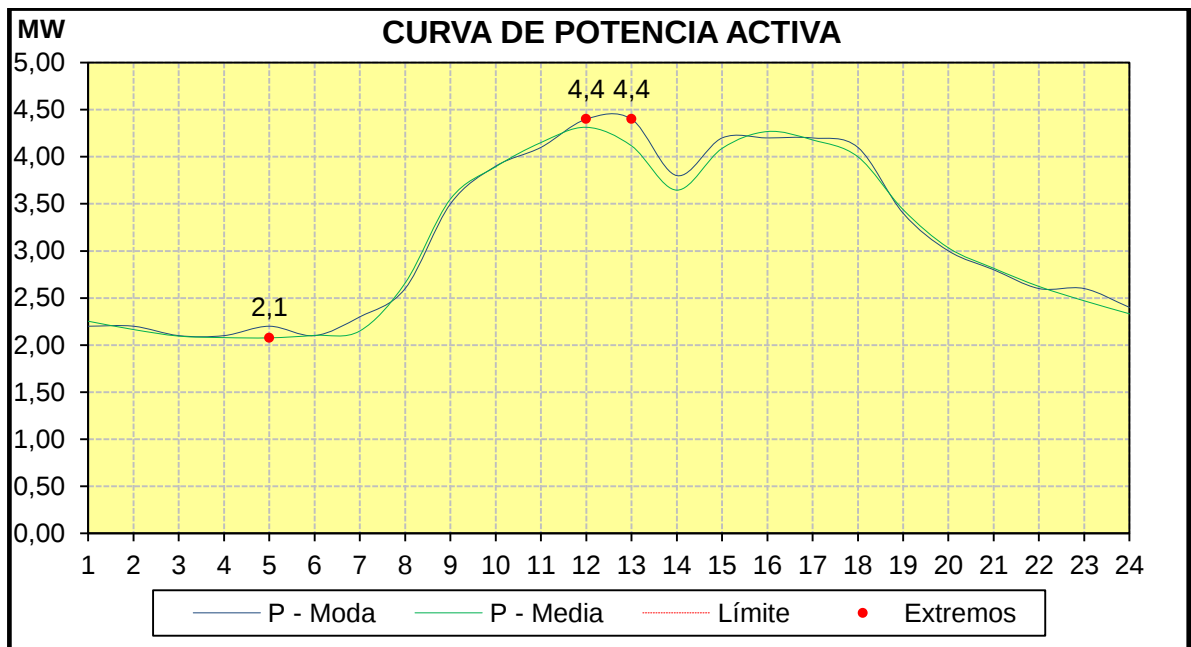


Archivo Electrificadora de Santander.

En la curva moda se describen los valores que se presentan con mayor frecuencia. (Datos obtenidos del Área de Gestión Operativa y la Subgerencia de Subestaciones y Líneas de la Electrificadora de Santander).

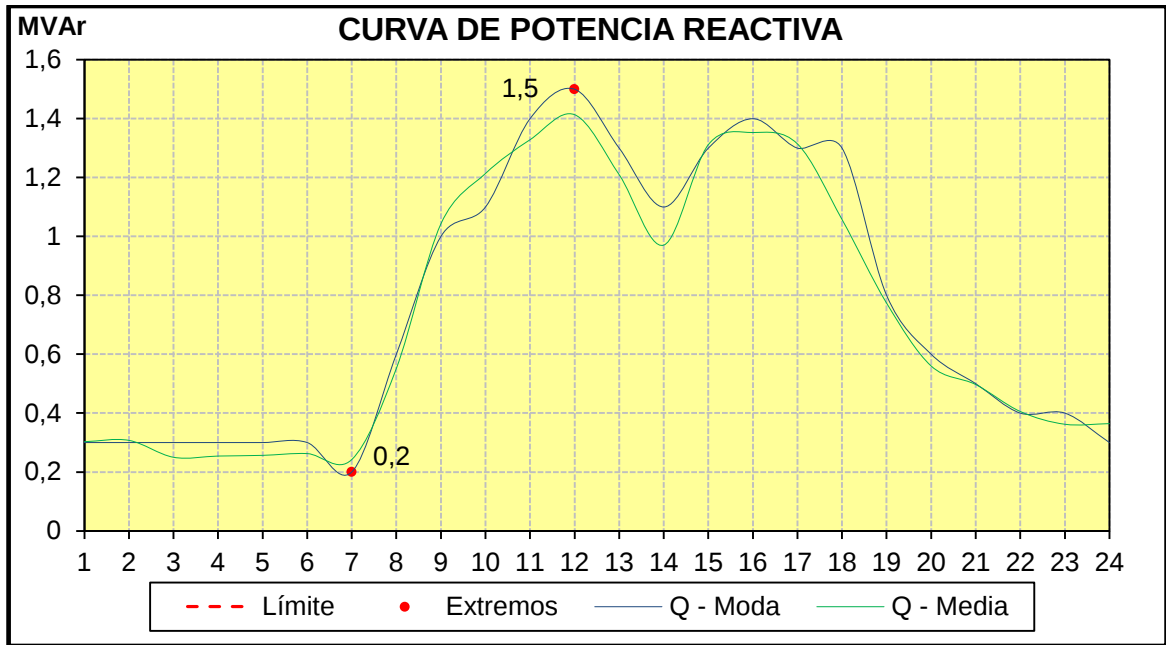
En las figuras 7, 8 y 9, se observa el comportamiento de las potencias activa, reactiva y de dimensionamiento (aparente) y del factor de potencia, del sistema trifásico de un día promedio ordinario del circuito.

Figura 7. Curva de potencia activa en un día promedio ordinario del circuito.



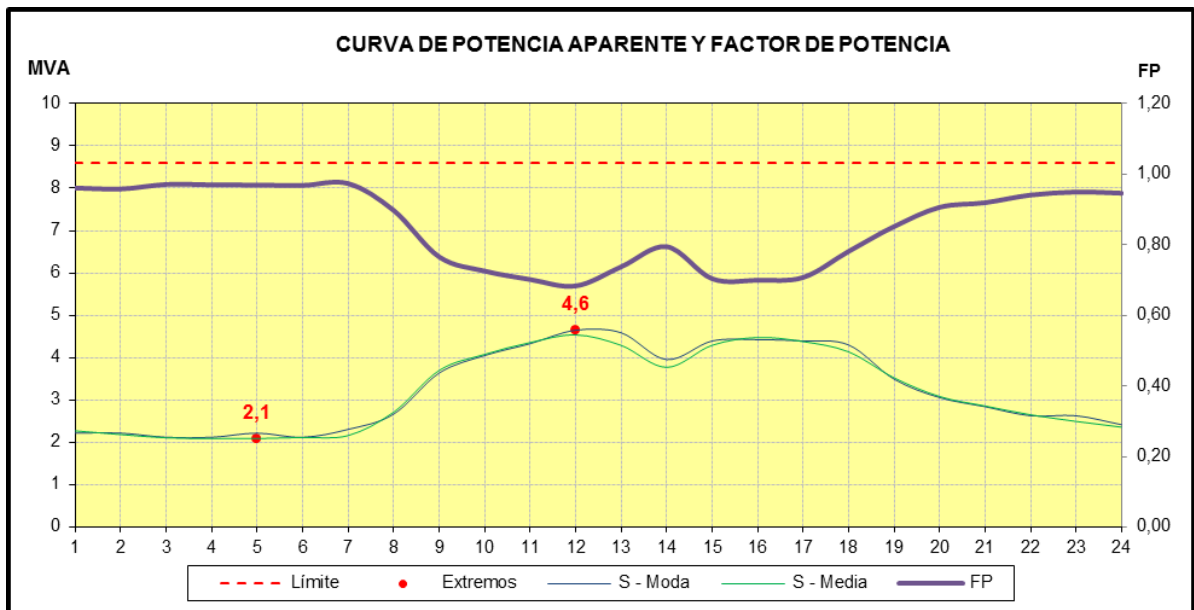
Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 8. Curva de potencia reactiva en un día promedio ordinario del circuito.



Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 9. Curvas de potencia de dimensionamiento (aparente) y factor de potencia en un día promedio ordinario del circuito.



Archivo Electrificadora de Santander.

6.3 DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE CARGAS CONECTADAS

Según datos obtenidos de los sistemas de información de la Electrificadora de Santander a noviembre de 2014 el circuito tiene 1673 clientes o suscriptores conectados por niveles de tensión 1 y 2.

Nivel de tensión 1: (208/120 V) están conectados 1646 clientes.

Nivel de tensión 2: (13,2 kV) están conectados 27 clientes.

Por la topología del circuito, estos clientes están ubicados básicamente en su gran mayoría dentro del perímetro urbano.

Según la clase de servicio están repartidos de la siguiente manera:

Residenciales:	1072
Comerciales:	369
Industriales:	225
Oficial:	1
Alumbrado público:	6

En lo que respecta a la demanda de energía promedio mensual en la Tabla 2, se especifican los 42 clientes conectados a este circuito con las demandas de energía mensual promedio más representativas (mayores a 5.000 kWh-mes).

La suma de la demanda de estos 42 clientes fue de 867.641 kWh-mes frente a una demanda total del circuito de 1.332.354 kWh-mes.

De lo anterior se puede establecer que 42 de sus 1673 clientes tienen una demanda correspondiente al 65 % de la total del circuito y que estos clientes son básicamente industriales y comerciales.

Tabla 2. Clientes del circuito con demandas de energía representativas.

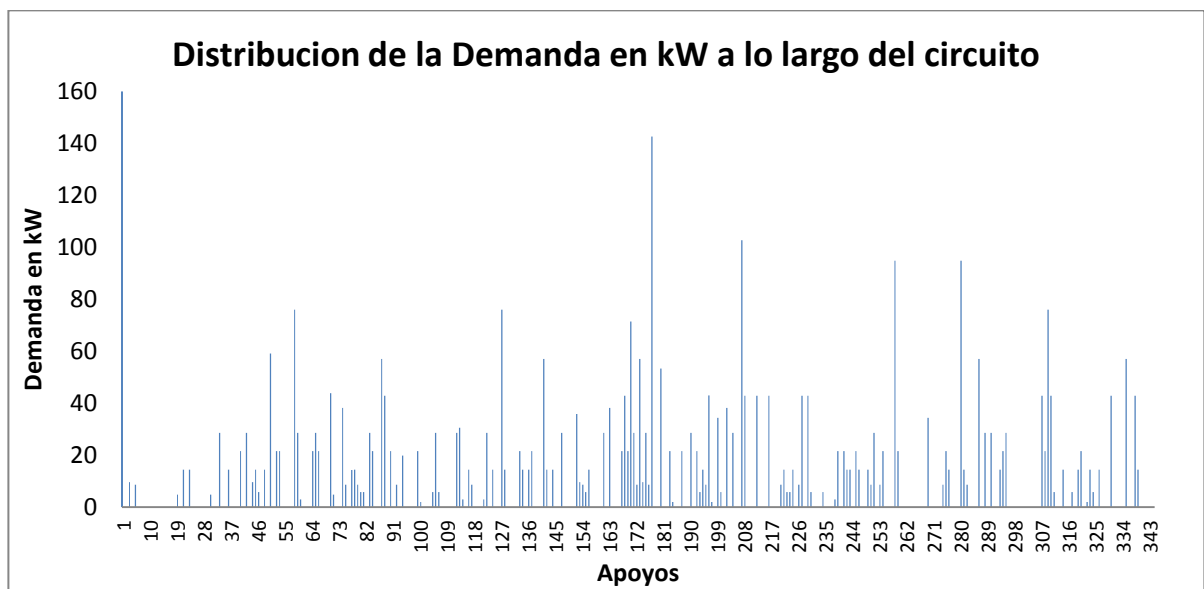
CLIENTE CON CLASE DE SERVICIO INDUSTRIAL	Noviembre 2014 CONSUMO PROMEDIO (kWH-mes)	CLIENTE CON CLASE DE SERVICIO COMERCIAL	Noviembre 2014 CONSUMO PROMEDIO (kWH-mes)
Cliente 1	143.332	Cliente 1	40.573
Cliente 2	96.470	Cliente 2	24.420
Cliente 3	87.072	Cliente 3	9.780
Cliente 4	57.000	Cliente 4	9.633
Cliente 5	48.704	Cliente 5	8.480
Cliente 6	35.615	Cliente 6	7.832
Cliente 7	32.088	Cliente 7	7.240
Cliente 8	21.043	Cliente 8	7.035
Cliente 9	19.140	Cliente 9	6.884
Cliente 10	17.408	Cliente 10	6.836
Cliente 11	14.493	Cliente 11	6.704
Cliente 12	14.464	Cliente 12	6.325
Cliente 13	14.315	Cliente 13	6.280
Cliente 14	12.168	Cliente 14	5.600
Cliente 15	10.505		
Cliente 16	10.140		
Cliente 17	9.173		
Cliente 18	8.520		
Cliente 19	7.969		
Cliente 20	7.160		
Cliente 21	6.914		
Cliente 22	6.800		
Cliente 23	6.079		
Cliente 24	6.056		
Cliente 25	5.780		
Cliente 26	5.326		
Cliente 27	5.280		
Cliente 28	5.005		

Archivo Electrificadora de Santander.

Las figuras 10, 11, 12 y 13 muestran la demanda de potencia activa, la reactiva, la de dimensionamiento (aparente) y el valor eficaz de la tensión respectivamente a lo largo de los apoyos del circuito. Estos valores los calcula un software que

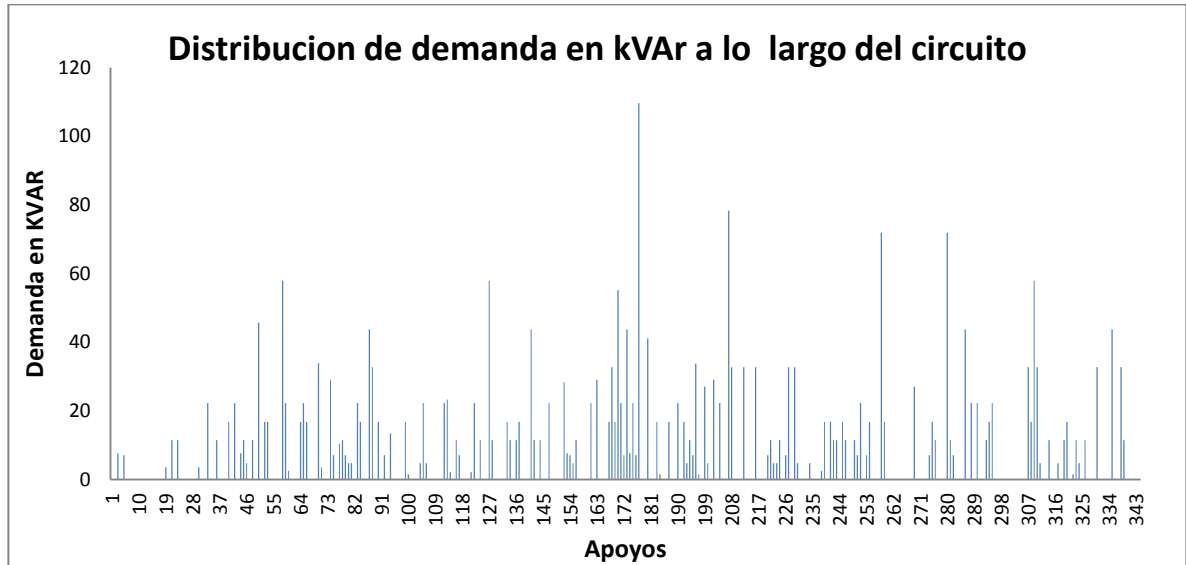
gestiona las redes de distribución de la electrificadora de Santander en base a las lecturas del consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados al circuito, a las longitudes de los tramos y a las características del conductor.

Figura 10. Distribución de la demanda de potencia activa en kW a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).



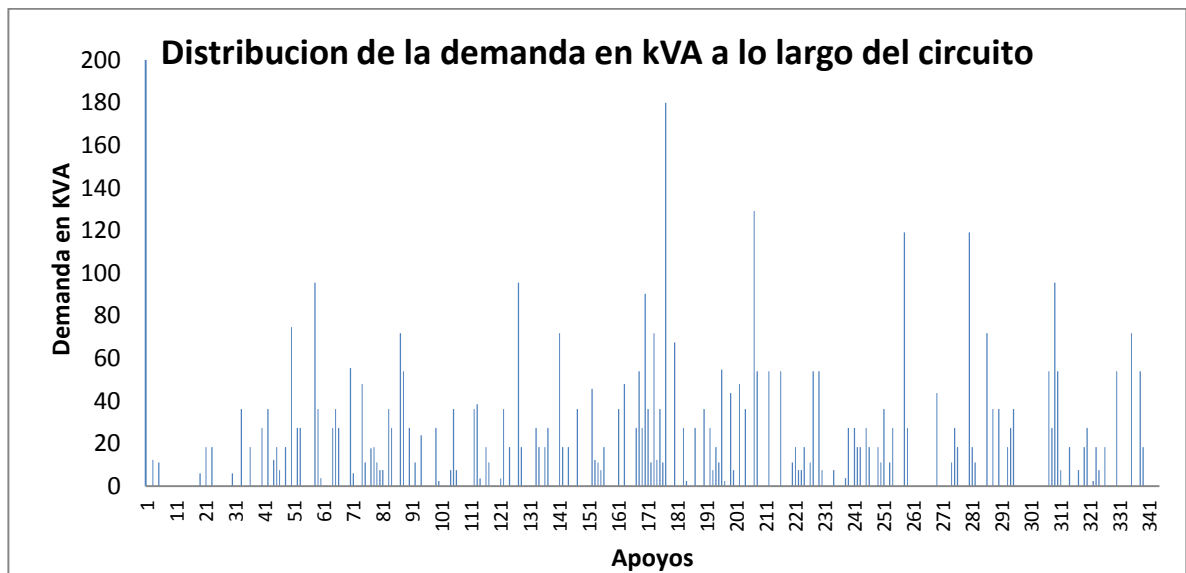
Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 11. Distribución de la demanda de potencia reactiva en kVAr a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).



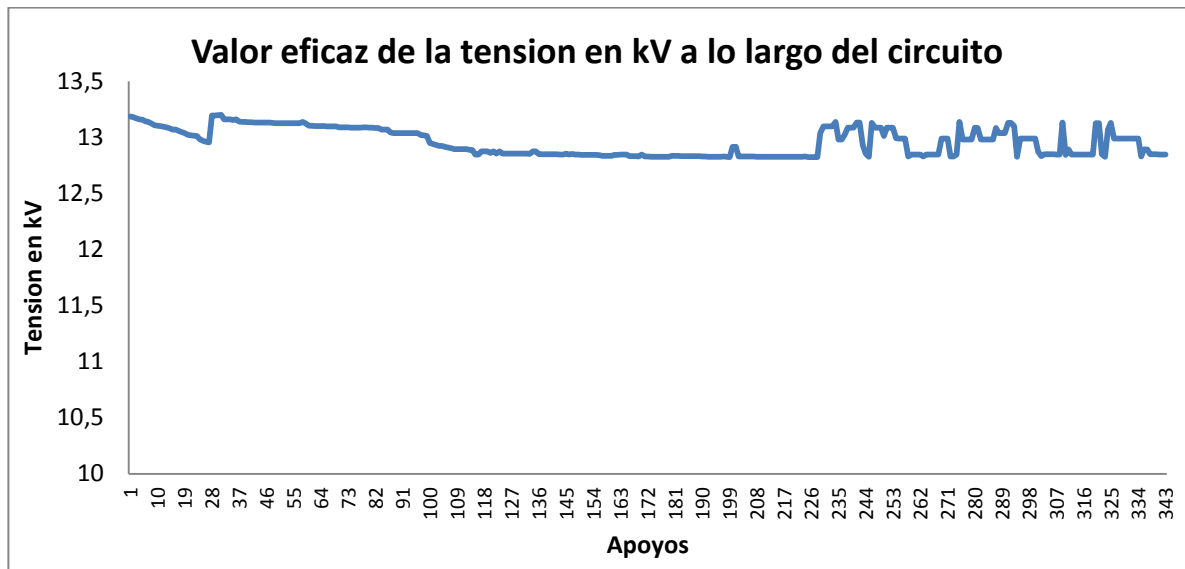
Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 12. Distribución de la demanda de potencia de dimensionamiento en kVA a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados).



Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 13. Distribución del valor eficaz de la tensión en kV a lo largo del circuito (calculado en base a las lecturas de consumo de energía del mes de noviembre de 2014 de los usuarios conectados, a las longitudes de los tramos y a las características del conductor).



Archivo Electrificadora de Santander.

6.4 PARÁMETROS DE LAS VARIABLES ELÉCTRICAS DEL CIRCUITO

A continuación se realizan las gráficas de los parámetros de las variables eléctricas, relacionados con la calidad de la potencia eléctrica, que fueron estimados por los equipos de medida ubicados en la subestación para el circuito analizado.

Los datos fueron suministrados por el área de Gestión Operativa de la Electrificadora de Santander y hacen parte de la información que se reporta a la CREG para cumplir con la resolución CREG 024 de 2012.

En la Tabla 3 se muestran los eventos relacionados con la calidad del suministro de la energía eléctrica. Los registros corresponden a las estimaciones realizadas cada 10 minutos durante el mes de noviembre de 2014.

Tabla 3. Registros de interrupciones del circuito

dd/mm/aaaa	hh:mm	NI	DI	NDET	DDET
29/11/2014	09:20	0	0	1	218

(NI) Número de Interrupciones.

(DI) Duración de las Interrupciones en segundos.

(NDET) Numero de Desviaciones Estacionarias de Tensión.

(DDET) Duración de Desviaciones Estacionarias de Tensión en segundos.

Archivo Electrificadora de Santander.

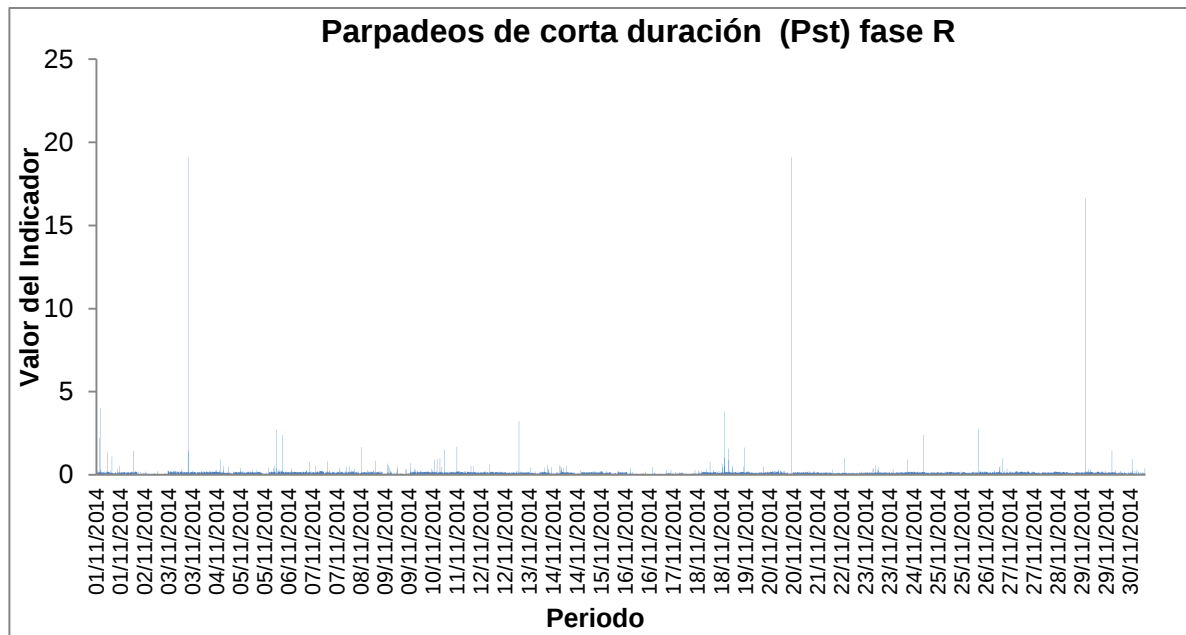
Durante noviembre de este año no se registraron interrupciones. Sólo se registró una desviación estacionaria de la tensión que duro 218 segundos.

Valor del Indicador de parpadeo de corta duración (Pst): En las Figuras 14, 15 y 16, se observan los parpadeos de corta duración para las fases R, S y T respectivamente, durante el mes de noviembre del 2014.

Los valores que se muestran en las figuras se tomaron cada 10 minutos (144 datos por día), como lo establece la regulación vigente y corresponden a la información descargada del equipo de medida ubicado en la cabecera del circuito.

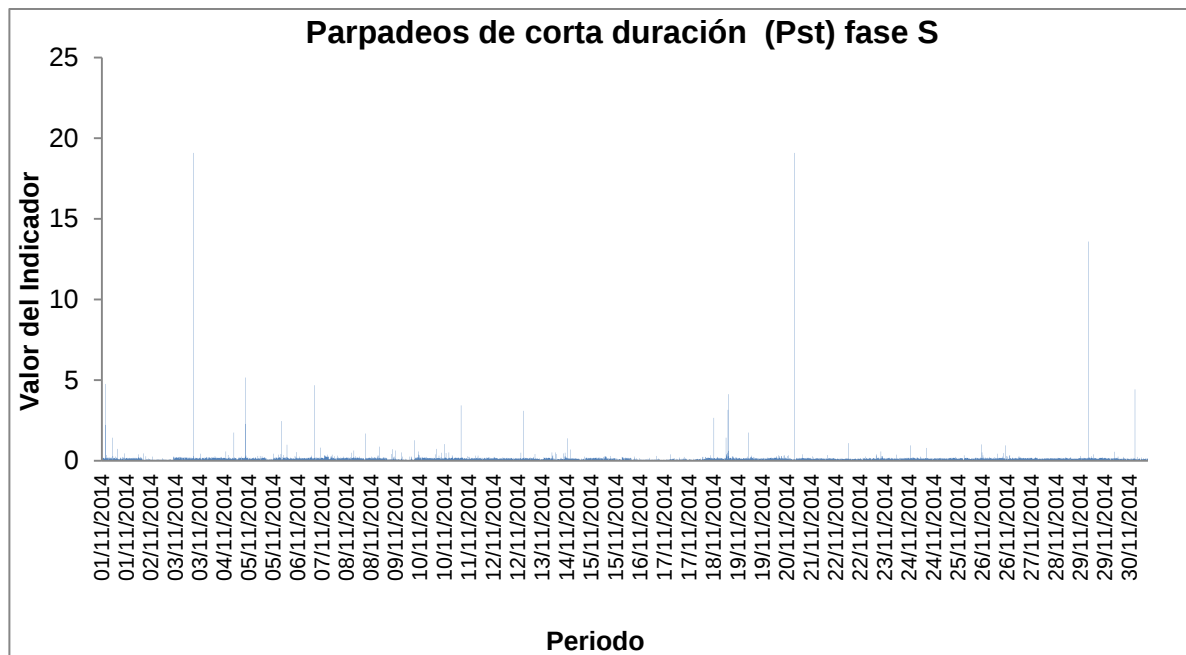
Según el artículo 7 de la resolución CREG 024 DE 2005 “Los límites máximos exigidos para Pst serán definidos por la CREG a partir de los resultados obtenidos de un estudio de diagnóstico del sistema colombiano.” Por lo cual aún no están definidos y por ahora solo se deben reportar los valores de los indicadores.

Figura 14. Parpadeos de corta duración Pst, en la fase R del circuito.



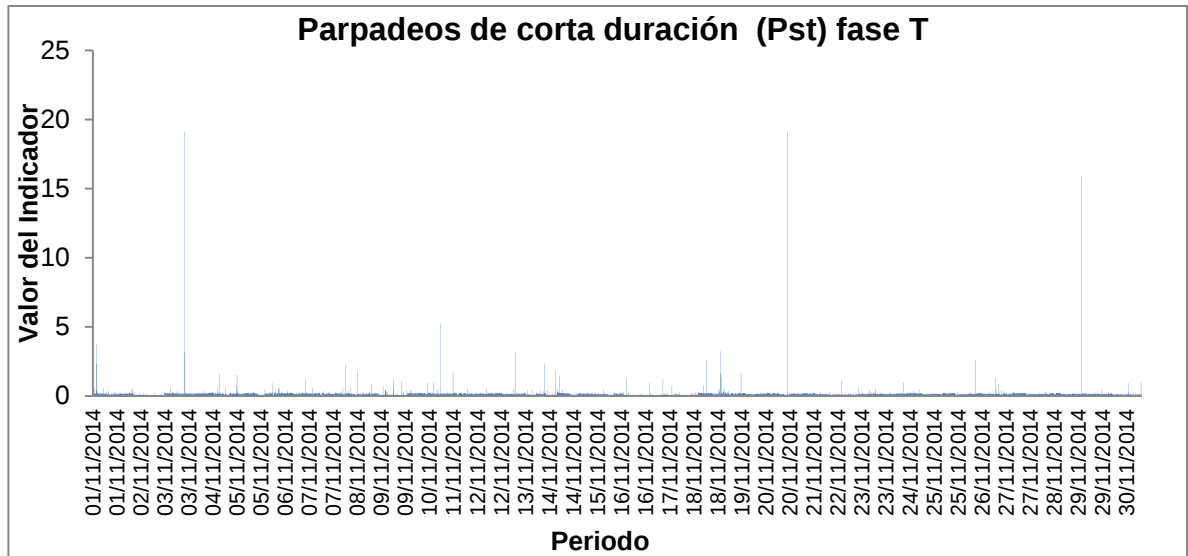
Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 15. Parpadeos de corta duración Pst, en la fase S del circuito.



Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 16. Parpadeos de corta duración Pst, en la fase T del circuito.

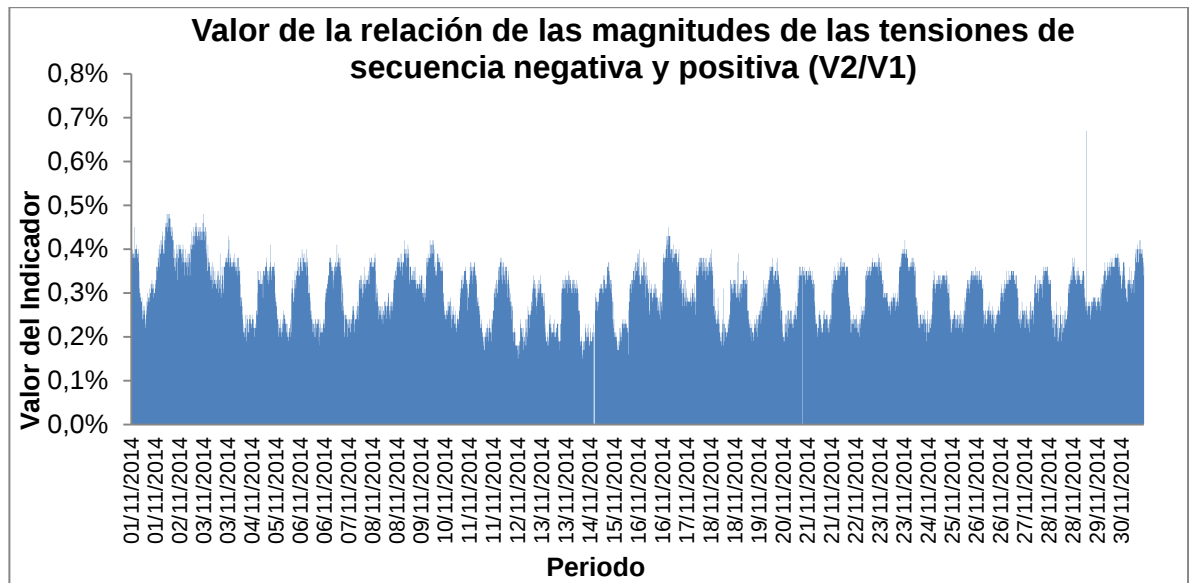


Archivo Electrificadora de Santander.

En la Figura 17 se muestra la dinámica del valor de la relación entre las magnitudes de las tensiones de secuencia negativa y positiva ($V2/V1$) estimada cada diez minutos en el mes de noviembre del 2014.

Así como para los parpadeos de corta duración (Pst), la regulación actual no define aun límites para este indicador y por ahora solo se deben reportar los valores de los indicadores.

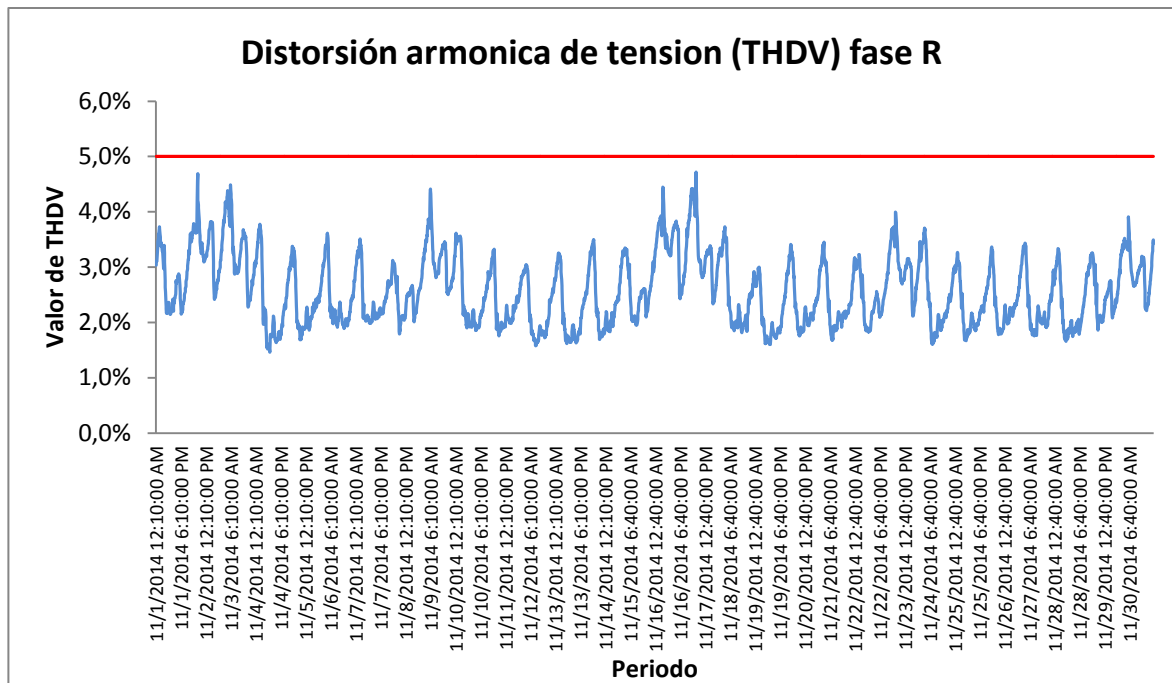
Figura 17. Valor de la relación de las magnitudes de las tensiones de secuencia negativa y positiva (V_2/V_1), del circuito.



Archivo Electrificadora de Santander.

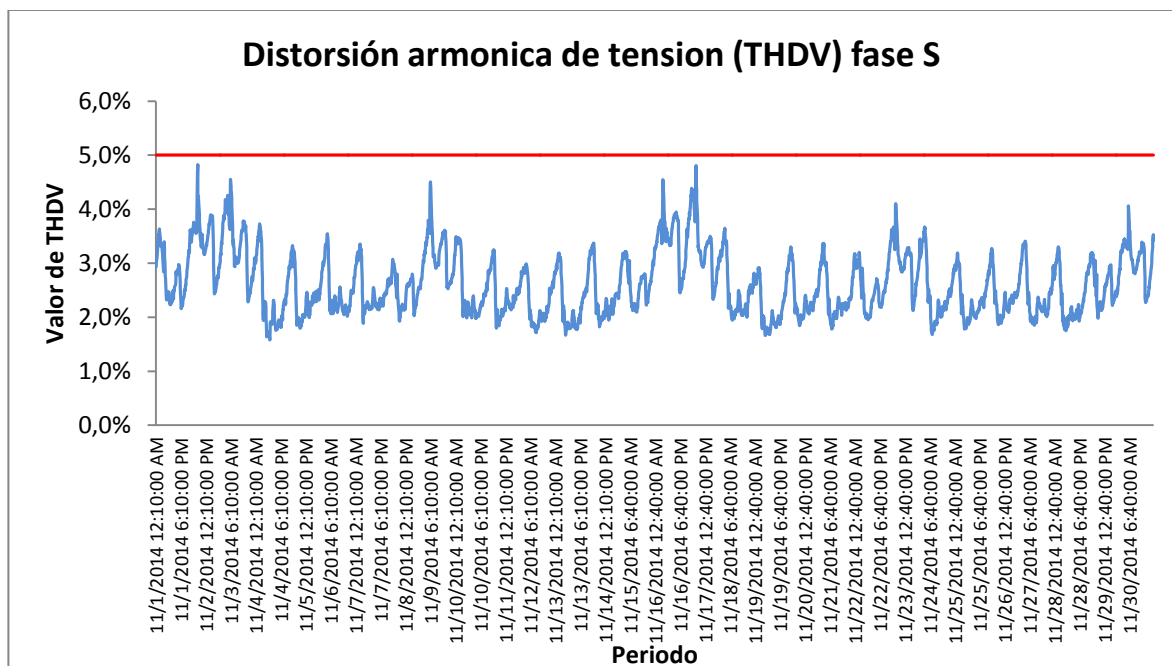
Valor del indicador de distorsión armónica total de tensión (THDV) de las fases R, S y T en porcentaje: En las figuras 18, 19 y 20, se observan las distorsiones armónicas totales en porcentajes para las fases R, S y T respectivamente, con datos tomados cada 10 minutos durante el mes de noviembre del 2014. El límite máximo para los niveles de tensión 1, 2 y 3 es del 5%.

Figura 18. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase R.



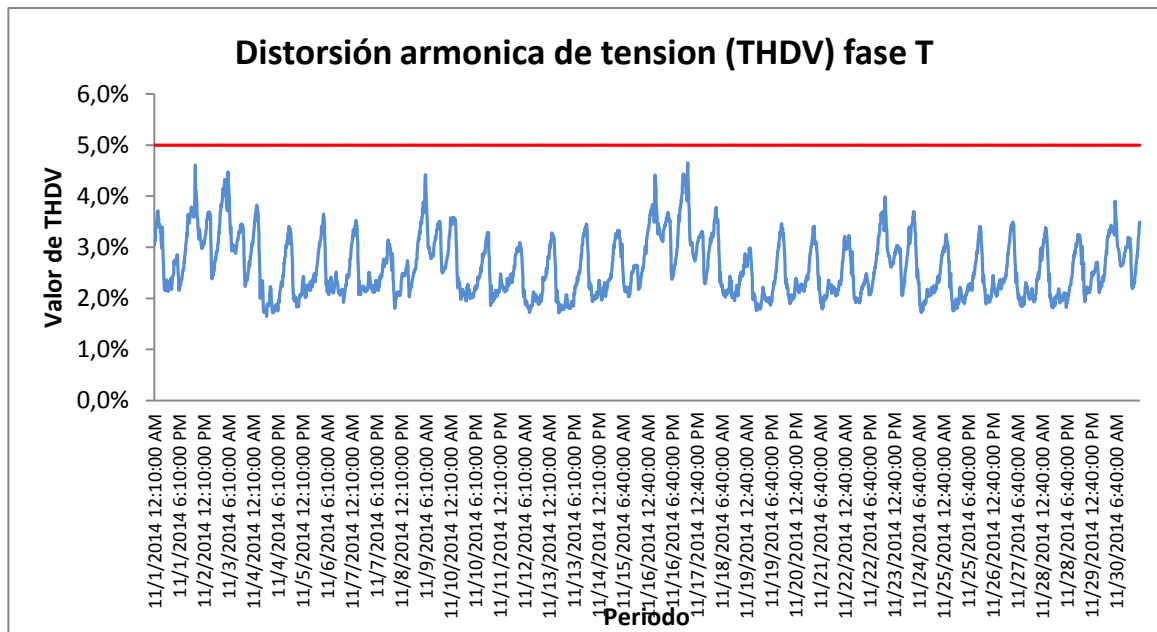
Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 19. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase S.



Archivo Electrificadora de Santander.

Figura 20. Valor de la distorsión armónica total de tensión (THDV) en la fase T.



Archivo Electrificadora de Santander.

En la Tabla 4 se muestran los eventos registrados durante el mes de noviembre en el circuito seleccionado.

Tabla 4. Desviación de la tensión estándar (DV) fases R, S, T y la duración de la desviación de la tensión estándar (TET) en segundos.

dd/mm/aaaa	hh:mm	DV_R	DV_S	DV_T	TET
01/11/2014	02:16	-0,1494	-0,1449	-0,1549	0,12
01/11/2014	02:28	-0,2571	-0,2723	-0,2630	0,67
01/11/2014	07:12	-0,0915	-0,1017	-0,0517	0,02
01/11/2014	10:33	-0,1019	-0,0620	0,0061	0,01
03/11/2014	14:52	-0,0665	-0,1023	-0,0406	0,02
03/11/2014	14:52	-10,000	-10,000	-10,000	151,100
03/11/2014	14:57	-0,0548	0,0127	-0,1185	0,52
03/11/2014	15:00	-0,0898	0,0098	-0,1738	0,52
04/11/2014	14:59	-0,0462	-0,0298	-0,1230	0,04
04/11/2014	18:43	-0,0410	-0,1268	-0,0442	0,07
05/11/2014	02:48	-0,0366	-0,1703	-0,0615	0,13
05/11/2014	02:52	-0,0401	-0,3255	-0,1065	0,09
06/11/2014	03:23	-0,1976	-0,1746	-0,0728	0,06
06/11/2014	07:28	-0,1314	-0,0564	-0,0342	0,30
07/11/2014	02:09	-0,0610	-0,3117	-0,0939	0,07
08/11/2014	13:36	-0,1305	-0,1301	-0,1346	0,06
09/11/2014	14:12	-0,0330	-0,0503	-0,1143	0,02
10/11/2014	22:42	-0,1137	-0,0497	-0,3499	0,09
11/11/2014	07:14	-0,1615	-0,1921	-0,1563	0,12
11/11/2014	07:15	-0,0570	-0,1333	-0,0461	0,07
13/11/2014	02:01	-0,2268	-0,2089	-0,2251	0,07
13/11/2014	21:45	-0,0406	0,0320	-0,1307	0,76
14/11/2014	08:10	-0,0047	-0,1017	-0,0936	0,03
18/11/2014	13:01	-0,0657	-0,1858	-0,1849	0,63
18/11/2014	22:54	-0,0465	-0,2198	-0,1032	0,34
18/11/2014	23:09	-0,0810	-0,0483	-0,2442	0,05
18/11/2014	23:18	-0,2895	-0,3096	-0,1191	0,17
19/11/2014	12:51	-0,1104	-0,1057	-0,1104	0,21
20/11/2014	20:50	-10,000	-10,000	-10,000	15,12
20/11/2014	20:51	-0,1147	-0,0494	-0,0553	0,02
24/11/2014	15:27	-0,1656	-0,0589	-0,0423	0,08
26/11/2014	05:38	-0,1807	-0,0735	-0,1775	0,08
29/11/2014	06:52	-0,6338	-0,5977	-0,5922	0,57
29/11/2014	06:52	-0,8801	-0,8959	-0,9131	0,55
30/11/2014	14:59	0,0580	-0,2268	-0,0548	0,25

Archivo Electrificadora de Santander.

6.5 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

Teniendo en cuenta los estándares de calidad de potencia suministrada, establecidos en la resolución CREG 024 de 2005, en cuanto a las desviaciones estacionarias de la tensión se observa un solo registro de incumplimiento el 29 de noviembre a las 9:20 am, cuyo evento tuvo una duración de 218 segundos,

Respecto a las distorsiones armónicas de la tensión, en los registros obtenidos para cada fase no se observan desviaciones iguales o mayores al 5%, límite máximo permitido para el nivel de tensión 2.

Según los estándares de calidad de potencia del proyecto de resolución 065 de 2012 de la CREG, referente al indicador del parpadeo de corta duración (Pst), en la Tabla 5, se muestran la cantidad de registros que superaron el límite máximo permitido por semana y por fase.

Tabla 5, Registros que superaron el límite máximo permitido Pst.

nov-14	Numero de Pst_R > 1	Numero de Pst_S > 1	Numero de Pst_T > 1
1ra semana	10	11	9
2da semana	3	5	8
3ra semana	5	7	9
4ta semana	5	3	3

Archivo Electrificadora de Santander.

Para la relación de las magnitudes de las tensiones de secuencia negativa y positiva (V_2/V_1), bajo el mismo proyecto de resolución, durante las cuatro semanas del mes de noviembre no se observaron registros por encima del 2% que superaran los límites máximos permitidos.

7 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA Y SUS COMPONENTES

Para la selección del equipo de medida, se debe considerar un equipo que estime los parámetros relacionados con la calidad de la energía eléctrica, establecidos por la resolución CREG 024 del 2005.

Por lo tanto, el equipo de medición a utilizar debe al menos, respecto a la calidad de la potencia tener la capacidad de:

- Medir el indicador de distorsión armónica total de tensión THDV, de acuerdo con lo establecido en el Estándar IEEE 519 (1992) [5].
- Medir la relación entre las magnitudes de las tensiones de secuencia negativa y secuencia positiva ($V(2) / V(1)$) de un sistema trifásico [5].
- Medir los hundimientos y picos de tensión, de acuerdo con lo establecido en el estándar IEC 61000-4-30 (2003-02) [5].
- Medir la continuidad del servicio (frecuencia y duración de interrupciones superiores a un minuto) [5].
- Medir la desviación estacionaria del valor eficaz de la tensión (duración superior a 1 minuto) [5].
- Medir el indicador PST, de acuerdo con el Estándar IEC-61000-4-15 (2003-02), o al menos permitir descargar, en medio magnético, información digital de la forma de onda de la tensión, para ser procesada en otra parte del sistema, con una velocidad de muestreo mínima de 1024 muestras por segundo [5].
- Contar con un sistema de procesamiento de datos capaz de realizar descargas automáticas de información, de estas medidas, en medio magnético, desde los medidores [5].

Teniendo en cuenta lo anterior, la Empresa Electrificadora de Santander utiliza en sus subestaciones a la salida de los circuitos medidores inteligentes que cumplen con la regulación vigente y que ofrecen funcionalidades adicionales, que permiten realizar análisis avanzados de la calidad de la energía eléctrica, con opciones múltiples de comunicación, compatibilidad con la web y capacidades de control.

De hecho, la información del circuito analizado presentada en este estudio fue la registrada por estos medidores y es con la que la empresa analiza, registra y realiza los reportes respectivos para cumplir los estándares de la resolución.

Medidores con estas mismas características y con ciertas adecuaciones, podrían ser utilizados sobre los circuitos de media tensión para que de esta manera sean una herramienta útil en el análisis más exhaustivo de la calidad de potencia en diferentes puntos de un alimentador.

8 CRITERIOS Y CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDIDA PARA ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA POTENCIA

Al analizar los resultados de la medida en cabecera de circuito se puede establecer que estos resultados son característicos para este caso en particular ya que pueden variar al ser tomados en los puntos de conexión de aquellos clientes que por su demanda o tipos de carga generen distorsiones que afecten el cumplimiento a la calidad en tensión, corriente y frecuencia.

Se propone entonces utilizar equipos de iguales características a los utilizados por la Electrificadora de Santander en las cabeceras de los circuitos pero ubicados sobre la red de distribución más cerca de las cargas conectadas ya que además de medir los indicadores de calidad de potencia que requiere la regulación vigente cuentan con ventajas de personalización de funciones para medición, análisis e integración a diferentes software y sistemas de comunicación que facilitarían la viabilidad de su instalación y reducción de costos.

Para la implementación de los equipos de medida inteligente se plantea la adaptación de sus elementos para que puedan ser montados a la intemperie, esto deberá realizarse a través del fabricante para que se garanticen las especificaciones ambientales del dispositivo, su precisión, sus opciones de comunicación y capacidades de control.

Adicional a lo anterior también se deben redefinir las consideraciones sobre el personal cualificado y competente para su instalación y conexión.

En lo que respecta a la ubicación óptima del equipo de medición existen algoritmos, inclusive algunos enmarcados en las técnicas evolutivas (algoritmos genéticos), definiendo muy bien las funciones objetivo y aprovechando los sistemas de información y las herramientas de software matemáticos.[7] [8]

El equipo de medida seleccionado debe tener asociado un sistema de gestión de la información integrado que permita su depuración y le de valor agregado al recurso.

Respecto a la cantidad de equipos a instalar sobre el circuito, deberá estar determinada por la información obtenida de las características de las cargas conectadas a lo largo del circuito, sus consumos, su distribución de la demanda y los valores de las tensiones eficaces en cada apoyo.

Para lo anterior también se deben tener en cuenta los valores de distorsión armónica de tensión y los de las tensiones de secuencias negativa y positiva que se recogen en las cabeceras de los circuitos.

Por último, para la implementación de este sistema es necesario que la Electrificadora de Santander, considere, evalúe y presente mediante un análisis financiero la viabilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta las características necesarias para las cuales se desea utilizar. Adicional a lo anteriormente mencionado se debe complementar con el apoyo técnico, operativo y administrativo que garantice el análisis y calidad de la información.

9 CONCLUSIONES

- La elección del análisis y estudio de este circuito en particular se debió a que suministra energía a la zona industrial del área metropolitana, con clientes residenciales, comerciales e industriales, estos dos últimos muy representativos, como se especifica en el capítulo 6 “Descripción del tipo de cargas conectadas” en donde de los 1673 usuarios conectados, solo 42 de ellos acumula el 65% de la demanda total del circuito.
- El artículo 4 de la resolución CREG 024 de 2005 vigente a la fecha establece: *“Para enero de 2006, debe ser posible realizar mediciones en el 100% de las barras de las subestaciones de Niveles de Tensión 4, 3 y 2, así como en el 5 % de los circuitos a 13.2 kV cuya unidad constructiva reconozca esos equipos, y en la totalidad de los circuitos donde esto ocurra, en un plazo de 2 años más.”*

Por lo tanto, para este estudio, las variables reportadas de los equipos de medida del circuito seleccionado ubicado en la barra de la subestación cumplen con los estándares de calidad de potencia de dicha resolución. Estos resultados son presentados en el capítulo 6 “Parámetros de las variables eléctricas del circuito”.

- Para ello en la selección del equipo de medida se definieron sus alcances en términos de lo que debe medir y se estableció que se pueden utilizar equipos con características similares a los utilizados en las cabeceras de los circuitos de media tensión (subestaciones).
- A partir de allí, se plantearon una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta en su instalación sobre las redes o circuitos de media tensión y de esta manera se conviertan en una herramienta útil para un

análisis más adecuado de la calidad de potencia en las proximidades de las cargas.

- En la búsqueda de la implementación de este sistema se pretende mejorar los estándares y controles de calidad que están establecidos actualmente, considerar la implementación de un sistema integrado de la calidad de la energía eléctrica que tenga en cuenta varios puntos de medición dentro del circuito, darle valor agregado con una óptima gestión de la información, otorgar mayor confiabilidad al sistema eléctrico, contribuir a un mejor uso de los recursos y potenciar la eficiencia energética con la posibilidad de integrarlo posteriormente al concepto de medición inteligente.

CITAS

- [1] A, Rash "Power Quality and harmonics in the supply network: a look at common practices and standards", Electrotechnical Conference, 1998, MELECON 98, 9th Mediterranean, May 1998
- [2] C, Barbulescu, M, Cornoiu, S, Kilyeni, C, Stoian, P, Stoian "Electric Power Quality Issues: Harmonic Analysis for Real Network", Eurocon, 2013 IEEE, July 2013.
- [3] H, Markiewicz, A, Klajn "Power Quality Application Guide, LPQI Voltage Disturbances, Standard EN 50160, Voltage Characteristics in Public Distribution Systems", Copper Development Association, IEE Endorsed Provider, July 2004.
- [4] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 065 de 2012, Proyecto de resolución de carácter general que pretende establecer las normas de calidad de potencia eléctrica aplicables al Sistema Interconectado Nacional.
- [5] Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG, Resolución 024 de 2005, Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica.
- [6] Calidad de la energía Eléctrica, proyecto de la unidad de planeación minero energética de Colombia y el instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la Tecnología. "Francisco José de caldas" Colciencias, Colombia.
- [7] E.A. Angulo, R.A. Hincapié, R.A. Gallego "Ubicación óptima de PMUs en sistemas de transmisión para estimación de estado usando un algoritmo de Recocido Simulado", Scientia et Technica Año XVIII, Vol. 18, No. 3, Universidad Tecnológica de Pereira. Octubre de 2013.

[8] T.D. Letelier, “Análisis de algoritmos de localización óptima y su implementación en sistemas de información geográfica. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Informática. Universidad Austral de Chile. 2003

BIBLIOGRAFÍA

A., Rash "Power Quality and harmonics in the supply network: a look at common practices and standards"., Electrotechnical Conference, 1998., MELECON 98., 9th Mediterranean, May 1998

C., Barbulescu, M., Cornoiu, S., Kilyeni, C., Stoian, P., Stoian "Electric Power Quality Issues: Harmonic Analysis for Real Network"., Eurocon, 2013 IEEE, July 2013..

Calidad de la energía Eléctrica, proyecto de la unidad de planeación minero energética de Colombia y el instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la Tecnología. "Francisco José de caldas" Colciencias, Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas., CREG, Resolución 024 de 2005, Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica..

Comisión de Regulación de Energía y Gas., CREG, Resolución 065 de 2012, Proyecto de resolución de carácter general que pretende establecer las normas de calidad de potencia eléctrica aplicables al Sistema Interconectado Nacional.

E.A. Angulo, R.A. Hincapié, R.A. Gallego "Ubicación óptima de PMUs en sistemas de transmisión para estimación de estado usando un algoritmo de Recocido Simulado", Scientia et Technica Año XVIII, Vol. 18, No. 3, Universidad Tecnológica de Pereira. Octubre de 2013.

H., Markiewicz, A., Klajn "Power Quality Application Guide, LPQI Voltage Disturbances, Standard EN 50160, Voltage Characteristics in Public Distribution Systems"., Copper Development Association, IEE Endorsed Provider, July 2004..

T.D. Letelier, "Análisis de algoritmos de localización óptima y su implementación en sistemas de información geográfica. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Informática. Universidad Austral de Chile. 2003

