

**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BASE A NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA
UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**

OSCAR MAURICIO CERVANTES ROA



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA
2014**

**METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
BASE A NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA LA
UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**

OSCAR MAURICIO CERVANTES ROA

**Proyecto de grado para obtener título de
Ingeniero Eléctrico**

Asesor: Jorge Iván Silva Ortega



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA
BARRANQUILLA
2014**

Nota de aceptación:

Sergio Díaz
Firma Presidente jurado

Milen Balbis M.
Firma jurado

Adalberto Ospino
Firma jurado

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho este espacio para agradecer de corazón a mis padres todo el esfuerzo que han hecho para poder brindarme la posibilidad de estudiar en la universidad, y más aún por la carrera que siempre desee estudiar.

Quiero dar gracias a Nora Ayala por todo su apoyo y comprensión en la realización de este proyecto de grado, sin ella esto no hubiera sido posible. También quiero resaltar la gran ayuda del profesor Jorge Silva y su gran compromiso con los proyectos de la universidad de Costa CUC y con la carrera de ingeniería eléctrica.

Oscar Mauricio Cervantes Roa

RESUMEN

En este proyecto se describen las perturbaciones que generan distorsión a las señales de potencia eléctrica y que son tenidas en cuenta en el estudio y monitoreo de Calidad de Energía Eléctrica CEL; por ello se propone una metodología y procedimiento para la medición y registro de estos parámetros obtenidos por un analizador de redes, relacionando todo el proceso con la normativa y regulación nacional e internacional vigente en Colombia. Esta metodología se plantea para ser utilizada por los centros de investigación y desarrollo de la Universidad de la Costa – CUC que requieran realizar este tipo de mediciones.

Por otro lado, este proyecto también presentará un formato de inspección e informe práctico basado en la metodología presentada para que los estudiantes de ingeniería eléctrica y docentes de la Universidad desarrollen destrezas y experticia en el manejo del monitoreo y medición de CEL, teniendo presente que la universidad puede desarrollar estas actividades con el analizador de redes con el que cuenta.

Palabras claves:

Analizador de redes eléctricas, monitoreo, perturbaciones eléctricas, recopilación de datos.

ABSTRACT

In this project are explain perturbations the distortion at generating electrical output signals and are considered in the electrical power systems quality study and monitoring; As well as proposes a methodology for the measurement and registers of these parameters obtained for power analyzer quality, entire process relating to the national/international rules and regulations existing in Colombia. This methodology it is proposed to be used by Universidad de la Costa research and development center, required to perform this type of measurement.

On the other hand, this project will also present a series of practical guides for electrical engineering students and teachers the university develops skill and expertise in the handling power analyzer quality available. Thus at the time of make the methodology of measuring and recording parameters the electrical power quality, their development is much simpler and clear.

Keywords:

Data collection, electrical disturbances, monitoring and power analyzer quality

TABLA DE CONTENIDO

1.	DEFINICIONES.....	12
2.	INTRODUCCIÓN	14
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1	Objetivo general	17
4.2	Objetivos específicos	17
5.	JUSTIFICACIÓN.....	18
6.	ALCANCES	19
7.	LIMITACIONES	20
8.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE	21
9.	METODOLOGÍA	22
10.	CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA	23
10.1	Historia de los instrumentos y medición de CEL.....	24
11.	PERTURBACIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	25
12.	PERTURBACIONES DE LARGA DURACIÓN O PERMANENTES	27
12.1	Variaciones de tensión de estado estable	27
12.1.1	Sobretensión	27
12.1.2	Subtensiones.....	27
12.2	Desbalance de tensión	27
12.3	Parpadeos (Flickers).....	28
12.4	Interrupciones de larga duración (Duración ≥ 1 min).....	30
12.5	Armónicos eléctricos.....	30
12.6	Muestras de tensión.....	32
13.	PERTURBACIONES LENTAS	33
13.1	Interrupciones de corta duración (duración < 1 min)	33
13.2	Hundimiento o huecos de tensión (sags).....	33
13.3	Elevaciones de tensión (swell).....	33

13.4 Variaciones de frecuencia.....	34
14. PERTURBACIONES RÁPIDAS	35
14.1 Transitorias.....	35
14.1.1 Sobretensiones transitorias.....	35
14.1.2 Sobretensiones impulsivas	35
14.1.3 Sobretensiones oscilatorias	35
15. NORMAS PARA PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA	36
15.1 NORMAS INTERNACIONALES.....	36
15.1.1 IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.	36
15.1.2 IEEE 519: Recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.	37
15.1.3 IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición - Métodos de medición de calidad de potencia.....	42
15.1.4 IEC 61000-4-7: Guía general de mediciones e instrumentación armónicas e interarmónico, para los sistemas de suministro de energía y los equipos conectados a los mismos.	46
15.1.5 IEC 61000-4-15: Flickermeter (medición de flickers) – Especificaciones de diseño y funciones.....	46
16. NORMAS TÉCNICAS SOBRE LA CALIDAD DE ENERGIA ELÉCTRICA EN COLOMBIA.....	47
16.1 NTC 5000: Calidad de la Potencia Eléctrica.....	47
17. OTRAS NORMAS Y RESOLUCIONES EN COLOMBIA	47
17.1 NTC 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.	48
17.2 Resolución CREG 047 de 2004 / Factor de potencia.....	48
18. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA ...	48
18.1 Monitoreo de CEL	48
18.2 Consideraciones para realizar el monitoreo	49
18.2.1 Monitoreo para caracterizar el rendimiento del sistema.....	49
18.2.2 Monitoreo para caracterizar los problemas específicos	49
18.2.3 Monitoreo como parte del mantenimiento predictivo	50

18.3 Inspección y recopilación de datos del sitio a monitorear	50
18.4 Lugares para conexión de equipos	51
18.5 Selección del equipo de medición (analizador de redes eléctricas).....	51
18.5.1 Otros tipos de instrumentos útiles en medición de CEL.....	52
18.6 Duración de la medición.....	55
18.7 Detección de la fuente de perturbación.....	55
18.8 Determinación de límites de medición en el equipo	58
18.9 Límites de medición según IEC 61000-4-30 (Perturbaciones lentas).....	59
18.10 Límites de medición según IEC 61000-4-30 (Perturbaciones de larga duración)	64
18.11 Seguridad en las mediciones de CEL.....	76
18.12 Cláusulas contractuales de las mediciones de calidad de energía eléctrica.....	78
18.13 Informe de calidad de energía eléctrica.....	80
19. CONCLUSIONES	91
20. BIBLIOGRAFÍA	93
21. ANEXOS.....	96

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE PERTURBACIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA SEGÚN SU DURACIÓN.....	25
TABLA 2. AJUSTES LÍMITES PARA CARGAS DE 120 V.....	37
TABLA 3. INSTRUMENTOS BÁSICOS USADOS PARA LA MEDICIÓN DE TENSIONES Y CORRIENTES NO SINUSOIDALES	39
TABLA 4. VALORES LÍMITE DISTORSIÓN DE CORRIENTE ARMÓNICA INDIVIDUAL Y DISTORSIÓN TOTAL DE DEMANDA () EN PORCENTAJE DE CORRIENTE DE CARGA (IL) (ARMÓNICOS IMPARES).....	41
TABLA 5. VALORES DE REFERENCIA DE THD.....	42
TABLA 6. RANGO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA (MEDIDAS CLASE A).....	44
TABLA 7. RANGO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA (MEDIDAS CLASE B).....	45
TABLA 8. REQUISITOS DE EXACTITUD PARA MEDICIÓN DE VOLTAJE Y CORRIENTE	45
TABLA 9. DETECCIÓN DE TIPO Y LUGAR DE LAS PERTURBACIONES	57
TABLA 10. VALORES DE REFERENCIAS DE VARIACIONES DE FRECUENCIA.	60
TABLA 11. REQUISITOS DE PRECISIÓN PARA LA MEDICIÓN DE TENSIÓN Y CORRIENTE.	73

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICA 1. NIVELES DE SENSIBILIDAD DEL OJO HUMANO EN LA ILUMINACIÓN, CAUSADAS POR PARPADEOS O FLICKERS	29
GRAFICA 2. CURVAS DE FLICKERS	65
GRAFICA 3. VARIACIONES DE VOLTAJE RMS	66
GRAFICA 4. EJEMPLO DE UNA TENSIÓN SAG.....	70
GRAFICA 5. EJEMPLO DEFECTOS DE UNA ONDA DE CONDENSADOR DE CONMUTACIÓN	70
GRAFICA 6. EJEMPLO ARMÓNICOS DE UNA FORMA DE ONDA DISTORSIONADA.....	71

LISTA DE IMAGENES

IMAGEN 1. TERMOGRAFÍA-TABLERO PROTECCIÓN ELÉCTRICA (DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE FASES).....	53
IMAGEN 2. DIAGRAMA FUNCIONAL DEL FLICKÉRMETRO	67
IMAGEN 3. PARÁMETROS DE SOBRETENSIÓN Y SUBTENSION.....	74

1. DEFINICIONES

ARMONICOS ELÉCTRICOS: Componente sinusoidal de una onda periódica de tensión y corriente cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental.

ANALIZADOR DE RED: Equipo de medición y monitoreo de parámetros de CEL. Para el análisis, control y supervisión de sistema eléctrico.

CAIDA DE TENSIÓN: Es toda aquella disminución en la magnitud de su valor eficaz, que sufre una señal de tensión. Generalmente se mencionan en porcentaje del valor nominal o referencia de tensión.

CEL: Calidad de energía eléctrica, cualquier problema asociado a distorsiones de onda de tensión, corriente y frecuencia que genera algún tipo de falla en el funcionamiento de una equipo.

CREG: Comisión de regulación de energía y gas, en Colombia.

FLICKER: Es un indicativo de variaciones de rápidas tensión a baja frecuencia, es decir de corta duración que se manifiesta en parpadeos de luz eléctrica

FRECUENCIA: Fenómeno físico que se repite un número determinado de veces durante un periodo de tiempo, la frecuencia eléctrica se toma como referencia a las veces que se repite la componente fundamental de la onda de tensión su unidad son los hercios (Hz).

IEC: Comisión Electrotecnia Internacional.

INCERTIDUMBRE: Asociado a las mediciones debida a la naturaleza de la magnitud, el instrumento de medición, el observador y las condiciones externas de la medición. Donde cada uno de esos factores son una fuente propia y contribuyen a la incertidumbre total de la medición.

ITAD: Índice Trimestral Agrupado de la Discontinuidad.

MEDICIÓN: Asignación de valores numéricos o dimensionar algún parámetro mediante la utilización de un determinado procedimiento y un instrumento de medición, para realizar el proceso de medición se debe hacer observaciones cuantitativas atribuyendo cierto valor a determinadas características o rasgos del hecho o fenómeno observado.

PUNTO DE CONEXIÓN COMÚN (PCC): Es el punto de la red de distribución más próximo de un usuario, al que están o pueden ser conectados uno o varios usuarios.

MONITOREAR: Observar y/o vigilar parámetros con el fin de detectar posibles fallas, perturbaciones o anomalías

PERTURBACIÓN: Es la acción de inmutar o trastornar el orden de algo; para nuestro tema de estudio serán los trastornos ocurridos a la señales de eléctricas tanto de tensión como de corriente en sus características fundamentales como lo son magnitud, fase, frecuencia y simetría.

RECIERRE: Operación de protección realizada tras fallas transitorias.

SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA: Red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas y/o líneas de transmisión de potencia, incluyendo el equipo asociado, conectado eléctricamente o mecánicamente a la red. Ese conjunto de elementos tiene como función llevar la energía eléctrica hasta los usuarios bajo ciertas condiciones y requerimientos.

SISTEMA INTERCONECTADO: Son dos o más sistemas eléctricos de potencia que se encuentran conectados eléctricamente entre sí, los cuales son planificados y operados de manera que puedan suministrar la energía de manera confiable y económica a sus cargas y consumidores; combinando con los planes de expansión, mejora y mantenimiento de cada sistema con el objetivo de lograr crecer a la par con la demanda.

SOBRETENSIÓN: Es todo aquel aumento en la magnitud de su valor eficaz, que sufre una señal de tensión. Generalmente se mencionan en porcentaje del valor nominal o referencia de tensión.

TENSIÓN DECLARADA: Es el valor eficaz de tensión normalizada que suministran los operadores de red a los usuarios del servicio de energía eléctrica. En el caso residencial, la tensión declarada es de 110 V.

UMBRAL DE HUNDIMIENTO: Es el 90% del valor eficaz de la tensión declarada.

UMBRAL DE ELEVACIÓN: Es el 110% del valor eficaz de la tensión declarada.

VALOR EFICAZ: Valor medio cuadrático de cualquier señal oscilante.

2. INTRODUCCIÓN

En 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.

Todas estas perturbaciones de la calidad de energía eléctrica se deben medir con instrumentos, equipos o analizadores 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 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. Muchos de las técnicas de medición están definidos por la serie de normas IEC 61000-4 y la IEEE 519.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para poder realizar estudios, mediciones y experiencias prácticas de calidad de energía, es necesario seguir una metodología de trabajo, guiada y referencia por normas y estándares internacionales.

En la actualidad, para realizar mediciones de calidad de energía eléctrica, los estudiantes de ingeniería eléctrica y todo aquel que desea hacer este tipo de mediciones para el desarrollo de investigación y seguimiento energético en la Universidad de la Costa – CUC; debe seguir metodologías foráneas o implementar alguna propia para el tipo de análisis que vaya a realizar. Lo anterior no se podría catalogar como un método de estudio inapropiado, pero es fundamental resaltar que el propósito es determinar una metodología basada en las características propias del tipo de mediciones que usualmente hacen los estudiantes en su etapa formativa, los semilleros de investigación para adelantar sus proyectos y las tendencias del país en temas de calidad de energía. Además, la universidad cuenta con un analizador de redes que permite realizar una serie de prácticas experimentales que familiarizaran con el funcionamiento y manejo del dispositivo de medición a los estudiantes y personas vinculadas a la universidad, en donde se afronta el problema a través de formatos de inspección enfocados al análisis de los eventos relacionados con la calidad de la energía eléctrica.

Los analizadores de redes son instrumentos de medición que sirven fundamentalmente para la determinación de parámetros referentes a la calidad de la energía, por lo tanto es necesario tener un conocimiento básico en este campo. En la Universidad de la Costa – CUC, es la asignatura Calidad de la Energía I en donde se imparten estos conocimientos básicos y esta asignatura no tiene una correspondiente práctica como lo tienen los Circuitos Eléctricos, Maquinas Eléctricas, Accionamientos y Protecciones en BT, entre otras; teniendo en cuenta que el pensum no se puede modificar de forma arbitraria y la propuesta de una nueva materia (Laboratorio de Calidad de Energía I) tendrá que plantarse en otras circunstancias y otros escenarios; este proyecto propone que el docente de la asignatura de Calidad de Energía I podría que programar prácticas, basadas en la metodología formuladas en este proyecto, en horas extras a las programadas para las clases en donde adelantar dichos laboratorios, teniendo como guía los formatos de inspección.

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 cuentan con formatos de revisión, informes completos y/o registradores de datos salvos los contemplados por la experiencia en la práctica de los ingenieros a cargo.

¿Es posible construir un procedimiento que permita estructurar desde el inicio hasta la culminación de una medición de calidad de la energía a nivel empresarial?

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Establecer un procedimiento para la medición de calidad de energía eléctrica que permita la estandarización de estas actividades con base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa – CUC.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar revisión bibliográfica que permita establecer los límites y umbrales de medición permitidos por las normas establecidas para cada uno de los parámetros evaluados por las normas de calidad de energía eléctrica.
- Caracterizar las condiciones de medición de acuerdo con los objetivos, situaciones y condiciones donde se vaya a realizar la medición de CEL.
- Realizar una guía para los informes, formatos de inspección, revisión y registro de los parámetros de referencia establecidos en las normas IEEE, IEC 61000-4 y NTC 5000.

5. JUSTIFICACIÓN

Al momento de terminar los estudios profesionales, los graduados de las diferentes carreras salen a competir laboralmente para conseguir un empleo y crecimiento profesional. Para ello el contar con una excelente formación universitaria y competencias, en muchos casos brinda la posibilidad de llegar al “éxito” deseado. La formación de competencias se refiere al desarrollo continuo de estas a lo largo de toda la vida y en todos los niveles de formación, por otra lado las competencias laborales se refieren a los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para que los graduados profesionales se inserten con facilidad y tengan un desempeño eficaz en el mundo laboral. Entre más competente sea el graduado mayor probabilidad tendrá de obtener los resultados esperados.

Para un estudiante de ingeniería eléctrica no es diferente, es importante implementar y complementar los conocimientos en cualquier especialidad y ramas de la carrera, el desarrollo de habilidades y actitudes en las mediciones, normas y métodos de calidad energía eléctrica son necesarias, puesto que las futuras regulaciones nacionales e internacionales sobre CEL, llevará a los usuarios de energía eléctrica a solicitar estudios y mediciones que le informen sobre las condiciones y parámetros de cumplimiento de todos los límites, con el fin de evitar sanciones y multas. Por esta razón, este proyecto busca elaborar una metodología en donde el estudiantes de ingeniería eléctrica, docentes y cualquier persona vinculada a la universidad de la costa CUC, amplíe sus conocimientos y competencias frente a este tema.

6. ALCANCES

Conocer y aplicar las normativas vigentes es una tarea obligada de los profesionales; en la actualidad, estas normas tienen como objetivo la seguridad, confiabilidad y fiabilidad de los elementos de un sistema. Para los aspectos referentes a la calidad de la energía eléctrica son las normas IEEE, IEC 61000-4 y NTC 5000 en donde se estipulan estos estándares permitidos para CEL en un sistema eléctrico.

Llevar una base de datos y registros de cada una de las mediciones realizadas, ayudan a establecer conclusiones y soluciones para problemas encontrados en el sistema eléctrico evaluado. Para ello los formatos de inspección ayudan a relacionar y analizar los datos obtenidos en cada una de las medidas obtenidas por la metodología planteada en este proyecto.

El desarrollo de los formatos de inspección permitirá adquirir destrezas en el uso de la herramienta de medición así como el análisis de los resultados obtenidos para determinar las acciones necesarias, esta metodología y formatos estarán dirigidos a los estudiantes y personas vinculadas a la universidad que pretenden utilizar dicha metodología de medición.

7. LIMITACIONES

Las normas colombianas están comenzando a establecer parámetros límites para los eventos relacionados a con la calidad de energía eléctrica, que en la actualidad no son de obligatorio cumplimiento. Esta condición es una limitante en la expansión de los conceptos de calidad de energía eléctrica dentro de la pequeña y mediana industria, siendo estas la de mayor dinámica en la región caribe; teniendo el tema de calidad de energía eléctrica todavía poco interés en el estudiantado y las empresas.

8. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y ESTADO DEL ARTE

Con el objetivo de realizar una amplia revisión bibliográfica para este proyecto a cerca de la calidad de energía eléctrica, se implementaron los siguientes pasos para la investigación. En la primera parte se realizó una revisión de literatura general acerca del tema a ser estudiado, implementando una búsqueda a través de palabras claves, tales como: *armónicos, harmonic, distortion current and voltaje, electrical power system quality*; además de esto se limitó la búsqueda en un rango de antigüedad de los artículos de veinte años años, es decir, se consideraron del año 1994 hasta el presente año. Por otro lado se tiene como referencia todas las normas IEEE, IEC y NTC que hacen referencia al tema de este proyecto. Cabe resaltar que para esta primera parte de la búsqueda se encontraron artículos en el idioma inglés y en español utilizando las diferentes bases de datos de ingenierías *IEEE, Isi Web Knowledge, Science Direct, Scopus* y también se utilizó la herramienta de búsqueda *Metabuscador*.

Posteriormente se realizó la primera parte de la búsqueda, se precedió a desarrollar un marco de clasificación de los artículos de vital importancia para la investigación del proyecto, de manera que se realizó un análisis de revisión literaria de cada uno de dichos artículos. Aplicando el marco de clasificación los artículos se clasificaban en primera instancia si los armónicos o calidad de la energía eléctrica.

Seguido de esto, ya clasificados los artículos, se volvió a implementar una nueva selección por temas, ese decir, según la temática tratada en el artículo encontrado, y se catalogaban como clasificación de calidad de la energía-armónicos y normas; variables a evaluar en el estudio y realización de una metodología y formatos de inspecciones para el análisis de calidad de energía de la Universidad de la Costa – CUC.

Debido a que la información encontrada no era suficiente para llevar a cabo la investigación del proyecto, se procedió a realizar una segunda búsqueda, utilizando referencias en la web, libros, videos, e incluso manuales de analizadores de red y tesis y/o proyectos con información relevante para este proyecto; utilizando la misma clasificación explicada anteriormente.

9. METODOLOGÍA

En primer lugar se realiza una búsqueda bibliográfica acerca 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.

De forma seguida, se hace una recopilación de normas vigentes nacionales e internacionales relacionadas con la calidad de energía eléctrica. Toma de datos y realización de la metodología para la Universidad de la Costa – CUC, con los elementos seleccionados para determinar tipos de conexiones, restricciones, elementos de protección (de ser necesarios), tiempos de cada medición, disposición del montaje y todo lo relacionado con el correcto desarrollo metodológico y la realización de los formatos de inspección

Seguidamente, se comienza la redacción del documento final con la información depurada. Este escrito debe contener un procedimiento detallado y claro de cómo se deben realizar las mediciones. Para finalmente presentar la monografía después de una serie de revisiones con el director del proyecto.

10. CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA

Actualmente el tema de Calidad de Energía Eléctrica (CEL) tiene como objetivo verificar propiedades físicas de los sistemas eléctricos de potencia tales como lo son la amplitud, la frecuencia, forma de onda y continuidad de las señales eléctricas que lo conforman (tensión y corriente); 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 uso de elementos no lineales en todo el sistema de potencia, 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 interconectado nacional. Con respecto a la Calidad de Energía Eléctrica (CEL), 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).

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 (de línea a neutro) o entre los conductores de fase (línea a 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 a medir puede ser tomarse de

forma directa así como en el caso de los sistemas de baja tensión, a través de transductores de medida.

10.1 Historia de los instrumentos y medición de CEL

Uno de los primeros analizadores de red fue desarrollado por General Electric en 1920, donde por medio de marca en un papel por medio de impulsos generados en las perturbaciones del sistema. El componente principal del dispositivo consistía en un motor de reloj de cuerda que mueve la tira de papel de un carrete a otro, y un par de electrodos que rayaban el papel con un arco dependiendo de las variaciones que el sistema presentaba.

Los equipos de medición de calidad de potencia eléctrica con grandes mejoras fueron desarrollados entre 1960 y 1970 cuando se implementó un contador de sobretensiones que podían capturar una forma de onda de tensión, por medio de un osciloscopio analógico. La grande mejora aparte de la anteriormente mencionada fue que los datos registrados de forma cuantitativa en lugar de marcas en registros gráficos continuos. A pesar de estos adelantos, hay quienes consideran que la primera generación de monitores de calidad de energía comenzó a mediados de la década de 1970 cuando *Dranetz Engineering Laboratories* (hoy en día *Dranetz-Gossen Metrawatt*) quien introdujo la Serie 606 línea eléctrica perturbación. Este fue un monitor basado en un microprocesador fabricado por primera vez en 1975, y muchas unidades están todavía en servicio. La salida de estos monitores era basado en un texto impreso en una cinta de papel. La impresión describe una perturbación por el tipo de evento (SAG, interrupción y demás) y la magnitud de voltaje. Estos monitores tienen funcionalidades limitadas en comparación con los monitores modernos, pero la mecánica de disparo ya estaba bien desarrollada.

Para la década de los 80's los instrumentos de monitoreo de calidad de potencia eléctrica llegaron a la llamada segunda generación. Esta generación contó con pantalla gráfica y memoria digital para ver y almacenar capturado eventos de calidad de energía, incluyendo tanto los transitorios y eventos de estado estacionario. Además el almacenamiento y transmisión de datos recopilados es lo más importante a la hora de evaluar y analizar.

Para mediados y finales de la década de 1990, surgieron los analizadores para realizar estudios más completos y pueden ser adaptados de forma permanente por la cantidad de almacenamiento de datos y gestión de los mismos. Sin embargo las necesidades del monitoreo de grandes sistemas han incrementado y con ello la recopilación de datos ya no bastaba con los equipos de tercera generación, a partir de ahí se revelaron otras dificultades que tenían esos monitores, la cantidad de valores de las mediciones y el análisis de tantos datos. Por lo tanto, el desarrollo de la más reciente generación de monitores de calidad de energía se orienta hacia el cumplimiento de la nueva demanda de sistema de

información, es decir, que sea capaz de descubrir el conocimiento o la información a partir de los datos medidos, es decir que la información se procesada de manera rápida y precisa. Este tipo de instrumento emplea sistema experto y las tecnologías de comunicación avanzadas.

11. PERTURBACIONES DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las ondas eléctricas de los parámetros básicos de energía eléctrica como tensión y corriente pueden subir cambios en su frecuencia, amplitud y forma por perturbaciones electromagnéticas generadas por cargas no lineales. Dichos problemas que afectan la calidad de la energía eléctrica que este documento analiza son variados (Desbalance de tensión, hundimientos, flicker, transitorios, distorsión armónica y los también definidos en la tabla 1), donde y cada fenómeno de estos tiene diferentes causas y consecuencias así como también soluciones.

Tabla 1 Clasificación de perturbaciones de calidad de energía eléctrica según su duración.

Perturbaciones	Tipo
Larga duración o permanentes	Variaciones de tensión de estado estable
	Desbalance de tensión
	Flicker
	Interrupciones de larga duración (Duración ≥ 1 min)
	Armónicos de tensión
	Armónicos de corriente
	Muecas de tensión
	Variaciones de tensión de larga duración (subtensiones y sobretensiones)
Lentas	Interrupciones de corta duración (duración < 1 min)
	Hundimientos o huecos de tensión (sags)
	Elevaciones de tensión (swell)
	Variaciones de frecuencia
Rápidas	Sobretensiones transitorias

Fuente. NTC 5000 – 152

Es por esto, que es de utilidad seguir cierto proceso para la evaluación de dichos problemas; en donde en cada paso del proceso hay una interacción directa entre la forma como se toman las mediciones y el sistema que se está evaluando. Para comenzar se debe entender que esta evaluación involucra problemas en la calidad de la energía eléctrica existentes o que podrían resultar un nuevo diseño o cambios al sistema en valoración, y son las mediciones las que determinarán el grado de nuestras soluciones. Para esta metodología se propone seguir los pasos básicos que se presentan en el libro *Electrical Power Systems Quality*¹, en donde el primer paso es la *identificación del problema*; en este punto se categoriza los tipos de problemas que puede presentar nuestro sistema de acuerdo con información previa y antecedentes de los inconvenientes presentados es decir, antes de hacer las mediciones debemos tener una idea de que problemas de calidad de energía eléctrica se van a encontrar. A continuación pasamos a la *caracterización del problema*, en este paso con ayuda de las mediciones y la recopilación de datos; se debe determinar ya los problemas presentes así como sus posibles causas, características y consecuencias. Seguidamente se continúa con la *identificación de soluciones* que puede implementarse en el sistema de alimentación, de distribución, en el punto de conexión o en las especificaciones y diseños de equipos de protección y compensación. Seguidamente pasamos a la *evaluación de las soluciones* en donde se modelan y analizan las soluciones planteadas así como determinar las alternativas técnicas que podrían proceder para finalmente llegar a la *solución óptima*, que depende de los limitantes técnicos y económicos que deben ser considerados así como del tipo de problema y el número de elementos involucrados. Los temas a tratar en esta metodología tienen que ver exclusivamente con la etapa de la *caracterización del problema*, la determinación de soluciones y su evaluación no son temas de interés para el presente proyecto.

Aunque cada fabricante deberá especificar las condiciones de funcionamiento del instrumento de medición, posiblemente las mediciones sufran cambios por las condiciones ambientales en que se toma. Algunas de estas características son: temperatura, humedad, tensión de alimentación del instrumento y las interferencias, tensión de interferencia de modo común entre la toma de tierra del instrumento de sus circuitos de entrada y la tensión de alimentación auxiliar, descargas de electricidad estática y campos electromagnéticos radiados. A continuación se muestran los valores atmosféricos normales o estándares para realizar las medidas de CEL, tal y como lo señala la norma IEC 61000-4-30:

Temperatura: 15° C a 35° C

Humedad relativa: 25% a 75%

Presión: 86 kPa a 106 kPa

¹ *Electrical Power Systems Quality*. Dugan, R. McGranaghan, M.F. Santoso, S. Beaty, H.W. Segunda Edición. McGraw-Hill. Pag. 8.

12. PERTURBACIONES DE LARGA DURACIÓN O PERMANENTES

12.1 Variaciones de tensión de estado estable

Las variaciones de tensión en estado estable son aquellas desviaciones del valor R.M.S de la tensión en un intervalo de tiempo superior a un minuto, estas frecuentemente deben ser intervenidas por convertirse en una interrupción permanente; algunas causas comunes de estas variaciones son:

- Caídas de tensión en transformadores y alimentadores.
- Cambios de generación y carga.
- Operación de los sistemas de apantallamiento.
- Operación de protecciones eléctricas.
- Algunas operaciones de conexión y desconexión

Existen dos tipos de variaciones:

12.1.1 Sobretensión

Es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto estas sobretensiones son el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores, considerando débil para mantener la regulación y control de tensión al sistema en el que se presenta esta condición.

12.1.2 Subtensiones

Es la variación por debajo del 90% del valor R.M.S. de la tensión por una duración mayor de un minuto. Al igual que en las sobretensiones las variaciones de baja tensión pueden ser causadas por conexiones de nuevas cargas y/o sobrecargas.

En Colombia los límites para controlar las variaciones de tensión están definidos por la Resolución CREG 024 de 2005 entre +10% y -10% de la tensión nominal. Y se pueden monitorear con el registro del R.M.S. de la tensión contra el tiempo.

12.2 Desbalance de tensión

Se define *desbalance de tensión* como la desviación en la simetría de las magnitudes y ángulos de fase de cada componente de tensión en un sistema trifásico; se producen principalmente por asimetría de las impedancias de las líneas de transmisión y desbalances de carga. Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son:

- Cargas desequilibradas.
- Cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos.
- Componentes de corriente continua en el sistema.
- Los transformadores conectados en delta abierto.
- Fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

Balancear las fases de toda la instalación es la forma más efectiva de garantizar la corrección de los desbalances de tensión presentes en el sistema. Procurando desbalances menores al 2%. También es importante monitorear el sistema para vigilar el correcto funcionamiento de los bancos de condensadores. De lo contrario los desbalances de tensión pueden provocar altas corrientes en motores, transformadores, barrajes y acometidas; las pérdidas eléctricas y fallas en la coordinación de protecciones también pueden ser afectadas.

12.3 Parpadeos (Flickers)

Como su nombre lo indica, los flickers son fácilmente previsible por las personas en los sistemas de iluminación como una emisión cambiante de la luz, es decir parpadeos de baja frecuencia en las luminarias. Este tipo de perturbaciones son variaciones bruscas y rápidas de tensión que también son comúnmente llamados fluctuaciones de tensión, caracterizados por cambios rápidos en el valor eficaz de tensión. Este tipo de perturbación es una de las que más afecta directamente a los seres humanos ya que estudios médicos han demostrado que el ojo humano es muy sensible a los parpadeo de luz y distinguiendo la máxima irritabilidad a frecuencias entre 6 y 10 Hz con un umbral de modulación de 0.25%²; causando cansancio en la vista e irritabilidad en las pupilas por estar en continua dilatación y contracción ajustándose al nivel de iluminación, especialmente cuando se lee. La causa principal se debe a cargas grandes que manejan corrientes variables, esta condición hace que se presente modulación del voltaje en la barra de carga y en barras remotas.

Entre las fuentes de flickers están:

- Transitorios debidos a maniobras.
- Arranque de grandes motores.
- Trenes de laminación (proceso de laminación).
- Trituradores para procesos mineros.
- Generación eólica distribuida - Generación distribuida
- Soldadores eléctricos. (Máquinas de soldadura)
- Hornos de inducción (0.5 a 30 Hz)³

² Detección de Flicker Basado en un Esquema Multiresolución. IEEE-IIE-FI, Septiembre 2006.

³ Perturbaciones de calidad de energía eléctrica, Humberto Lopez - GERS

El parpadeo se expresa como:

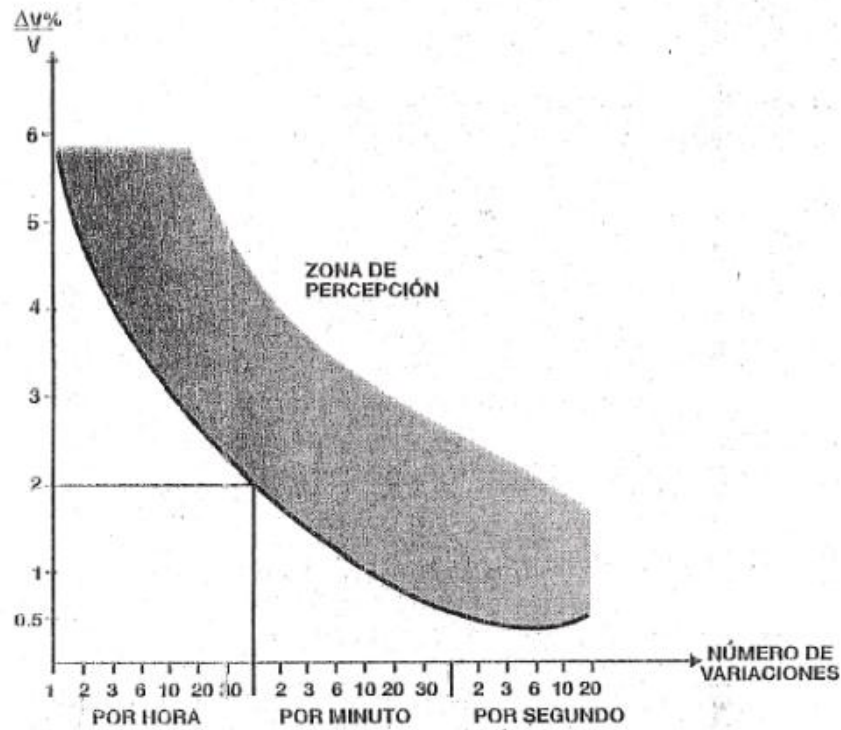
$$fv = 100x(V_{max} - V_{min})/V_{nom}$$

Donde V_{max} y V_{min} son los cambios de tensión con respecto al V_{nom} . Es decir los parámetros que definen una fluctuación son:

- Variación de tensión (ΔV)
- Duración de la variación de la tensión
- Intervalo entre las dos variaciones

Los parpadeos dependen fundamentalmente del valor de impedancia de la red en el *Punto de Conexión Común (PCC)* y el nivel de cortocircuito en este punto. Si se tiene una alta potencia de cortocircuito y baja impedancia se obtiene menores fluctuaciones de tensión ante variaciones de carga. Los índices de severidad de los flickers se expresan por medio de dos parámetros: el PST (corta duración) y el PLT (larga duración), estas unidades de medida no tienen dimensiones.

Grafica 1. Niveles de sensibilidad del ojo humano en la iluminación, causadas por parpadeos o flickers



Fuente. Enriquez harper, calidad de energía en los sistemas eléctricos-pág. 103

12.4 Interrupciones de larga duración (Duración ≥ 1 min)

Una interrupción de larga duración sucede cuando hay ausencia de tensión por periodos de tiempo superiores a 1 minuto, además es una condición en la cual la tensión es inferior al 10% de la tensión nominal. Se clasifican en programadas y accidentales, estas últimas son fallas primarias es decir que no son controladas. Como por ejemplo accidentes, ambientales, fallas humanas.

12.5 Armónicos eléctricos

Los armónicos son señales eléctricas con frecuencias múltiplos de la fundamental en Colombia 60 Hz, provocando distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión o corriente de los sistemas eléctricos ocasionados por el uso de cargas no lineales a lo largo de la red eléctrica. Entre estos armónicos están los armónicos característicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. En un convertidor de seis pulsos, los armónicos característicos son los armónicos impares diferentes a los múltiplos de tres, por ejemplo, los 5th, 7th, 11th, 13th, etc.

$$h = Kq \pm 1$$

k = algún entero

q = número de pulso del convertido

Por otro lado están los armónicos no característicos que no son producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal. Estos pueden ser el resultado de frecuencias oscilatorias; una demodulación de armónicos característicos y la fundamental; o un desbalance en los sistemas de potencia AC.

Las formas de onda distorsionadas son descompuestas, de acuerdo con Fourier, en la suma de una componente fundamental más las componentes armónicas. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia⁴.

La presencia de armónicos en la red genera problemas en el sistema eléctrico, estos efectos dañinos se señalan a continuación:

- Interferencia en el rango de audiofrecuencias con señales de control y líneas de energía. Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en

⁴ Marrero, S., González, I., & Legrá, A. A. (2007). Análisis de la compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos

los sistemas electrónicos. Por ejemplo, afectan el normal desempeño de los tiristores.

- Corrientes armónicas en motores de inducción, transformadores y claves que causan pérdidas adicionales de energía y calentamiento. Estos efectos son, en su mayor parte, atribuibles a armónicas de orden menor y altas magnitudes de amplitud.
- Inestabilidad dieléctrica de cables aislados como resultado de sobretensiones del sistema.
- Interferencia inductiva con los sistemas de comunicación, que resulta del acoplamiento inductivo entre las frecuencias armónicas y las líneas de comunicación.
- Errores en los equipos de medición, debido a que generalmente los diseños consideran señales sinodales puras.
- Provocan la disminución del factor de potencia.

La mitigación de estos efectos armónicos puede llevarse a cabo mediante:

- El monitoreo constante de los sistemas para detectar la presencia de armónicos indeseables.
- La utilización de filtros para eliminar los armónicos indeseables.
- El dimensionamiento de los transformadores, máquinas y cables teniendo en cuenta la presencia de corrientes no sinusoidales (presencia de armónicos). Este es el menos recomendado puesto que la solución sería muy costosa por la compra de nuevos equipos y en muchos casos rediseño del sistema eléctrico.

La existencia de armónicos de tensión y corriente en el sistema pueden ser cuantificados y evaluados por medio de los siguientes indicadores:

- Distorsión armónica individual:

Los contenidos o tasas de los diferentes armónicos de tensión que constituyen una onda deformada se expresan en forma de porcentaje respecto de la componente fundamental, de acuerdo con la siguiente relación

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} \times 100\% \quad (\text{Tensión y corriente})$$

En esta expresión, V_n es la amplitud del armónico de tensión de orden n y V_1 la amplitud de la componente fundamental de la onda de tensión.

- Distorsión armónica total (Tensión y corriente)

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

$$THD V = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 \dots}}{V_1}$$

(Tension)

$$THD i = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 \dots}}{I_1}$$

(Corriente)

- Distorsión demanda total (TDD)

Es la relación entre la corriente armónica total y la demanda máxima de la corriente de carga.

$$THD i = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 \dots}}{I_{demanda\ max}}$$

12.6 Muestras de tensión

Las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de voltaje del sistema con duración menor a medio ciclo, son causadas por la operación normal de cargas no líneas y elementos electrónicos para alta potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra, como ocurren continuamente, son caracterizadas por el espectro armónico de la tensión afectada y son tratadas como un caso poco usual en los sistemas eléctricos por su dificultad para ser detectadas.

Las muescas de tensión causan fallas en sistemas de regulación y fallas en el funcionamiento de algunos equipos electrónicos. Y su mitigación implica el aislamiento, de los equipos sensibles, de la fuente que las está produciendo. Utilizar más cargas inductivas como motores también sirve como solución para eliminar este tipo de perturbación.

13. PERTURBACIONES LENTAS

13.1 Interrupciones de corta duración (duración <1min)

Una interrupción de corta duración sucede cuando hay ausencia de tensión por periodos de tiempo no superiores a 1 minuto, además puede catalogar una interrupción corta cuando no disminuye por más del 10% de la tensión nominal. La duración de la falla depende de la capacidad de reacción y de re cierre de la protección, puesto que por lo general las protecciones de reclosing tienen un tiempo inferior a 1 minuto o 30 ciclos. Es por esta razón que las fallas en el dispositivo de protección causan o determinan el tipo de perturbación de momentánea a permanente.

13.2 Hundimiento o huecos de tensión (sags)

Los sags se relacionan los problemas de calidad de energía y son generalmente el resultado de fallas en el sistema de alimentación y de conmutación acciones para aislar las secciones con fallas. Se caracterizan por las variaciones del margen de tensión fuera del rango normal de funcionamiento de las tensiones.

Un hueco de tensión tiene una corta duración (típicamente de 0,5 a 30 ciclos o 1 minuto) la reducción en el voltaje rms causada generalmente por una falla lejana en alguna parte del sistema de potencia. Las reducciones en los sags están entre el 90% y el 10% el valor eficaz de la tensión.

13.3 Elevaciones de tensión (swell)

Cuando el valor nominal eficaz de tensión sube por encima del 110% de la tensión declarada con una duración entre 0,5 ciclos (8,33 milisegundos) y 30 ciclos (1 minuto), a esta perturbación se le conoce con el nombre de *elevaciones de tensión (SWELLS)* o también llamadas en algunas publicaciones sobretensiones momentáneas. Esta elevaciones se producen generalmente por fallas en sistema eléctrico, donde las fallas monofásicas son las más comunes provocando una subida temporal tensión en las fases no involucradas en la falla pero es poco probable que se de en la misma magnitud cerca de la subestación y en la subestación misma, además de la conexión delta-estrella del transformador de la subestación que provee el camino de baja impedancia para las corrientes de secuencia a tierra más la puesta a tierra misma de la subestación. Otras causas son desconexión o cambios de grandes cargas, conexión de grandes bancos de condensadores, resonancias y ocurrencia de fenómenos de descargas atmosféricas naturales.

El valor de la elevación de tensión es proporcional a la distancia a donde ocurre la falla, el valor de impedancia y la capacidad de la puesta a tierra del sistema de alimentación. La consecuencia más relevante de las elevaciones de tensión es la pérdida de vida útil de los equipos conectados al sistema, así como desgaste del aislamiento eléctrico en máquinas rotativas y estáticas. También se presentan operaciones indeseadas en relés de protección e incremento en la potencia de salida en banco de condensadores. (Fuente de valores mencionados)⁵.

13.4 Variaciones de frecuencia

La frecuencia eléctrica es un parámetro eléctrico fundamental en los sistemas de potencia de corriente alterna, físicamente designa el número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo. Para los sistemas ondulatorios en presencia de ondas electromagnéticas, la frecuencia expresa el número de ciclos que se repite dicha onda por segundo y siendo su unidad de medida en el sistema internacional (SI) el *hercios (Hz)*. Este parámetro es fijo en cada sistema eléctrico de potencia; en Colombia la frecuencia de operación del sistema eléctrico es de 60 Hz mientras que para Brasil y la mayoría de los países europeos es de 50 Hz. La variación o distorsión en el valor de la frecuencia produce problemas en las redes y más que todo en los equipos electrónicos asociados a ellas, siendo estos muy sensibles a las variaciones fuertes en la frecuencia; produciendo un inadecuado funcionamiento de estos equipos. También producen errores de sincronización en usuarios con grandes cargas de rectificadores e interrupción de servicio y variaciones de tensión por deslastre de carga.

La variación de la frecuencia se debe principalmente a una modificación del equilibrio entre el generador y la carga, ya que la frecuencia está relacionada con a los RPM de las máquinas rotativas, en este caso generadores de energía eléctrica. También se puede atribuir estas variaciones a la carga del sistema, es decir cuando la carga supera la capacidad de generación, suelen presentarse disminuciones de la frecuencia. Los incrementos bruscos y repentinos de cargas también pueden modificar la frecuencia por cambios de velocidad síncrona.

Los efectos de estas variaciones en las cargas a parte del cambio de la velocidad de giro de las máquinas rotativas son:

- Los equipos electrónicos alteran su funcionamiento.
- Los motores pierden potencia.
- Los motores, turbinas y generadores sufren altas vibraciones mecánicas.

⁵ Norma IEC 61000-4-30

14. PERTURBACIONES RÁPIDAS

14.1 Transitorias

Estas perturbaciones son generadas por impulsos de voltaje de alta velocidad superpuestos sobre la onda sinusoidal de energía eléctrica, los tiempos de duración son muy rápidos (microsegundos) y los cambios en la tensión y corriente son muy altos, lo que puede ocasionar daños en equipos sensibles y electrónicos. Estos cambios bruscos del sistema son ocasionados comúnmente por descargas atmosféricas y sistemas de refrigeración.

14.1.1 Sobretensiones transitorias

Son cambios bruscos en el valor instantáneo de la amplitud de la tensión, es decir que pueden llevar a valores superiores al valor nominal de esta. La duración fluctúa entre los microsegundos.

14.1.2 Sobretensiones impulsivas

Son aquellas perturbaciones unidireccionales causadas por descargas eléctricas, estas poseen una mayor magnitud pero baja energía. Se caracteriza por su tiempo de elevación y decaimiento lo que pueden ser dados a conocer por el contenido espectral transitorio.

14.1.3 Sobretensiones oscilatorias

Las sobretensiones oscilatorias consisten en un cambio muy rápido de polaridad del valor instantáneo de voltaje, estas sobretensiones son originadas por malas conexiones, desconexiones fuertes y otros. En general las sobretensiones transitorias pueden afectar a todos los elementos del sistema eléctrico, dependiendo de la magnitud de la sobretensión.⁶

⁶ Página web : <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/453/1/T-ESPE-018404.pdf>

15. NORMAS PARA PARA LA MEDICIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para realizar una medición de CEL es muy importante tener en cuenta todas las normas nacionales e internacionales, ya que ellas proporcionan límites y directrices generales teniendo las características del sistema dependiendo el lugar, condiciones y necesidades. La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) y la IEC (International Electrotechnical Commission) son las asociaciones más reconocidas dedicadas a la estandarización y desarrollo de técnicas y normas para la medición de CEL. En este capítulo describe cada una de las normas referentes al tema de medida y monitoreo de calidad de potencia eléctrica y el marco regulatorio colombiano:

15.1 NORMAS INTERNACIONALES.

15.1.1 IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.

Esta norma fue desarrollada y diseñada para establecer una guía para la medición de CEL, con el fin de estandarizar los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de equipos de medición; objetivo que no fue alcanzado ya que los fabricantes proponen sus propios diseños y productos. Aunque esta norma logró establecer técnicas de uso de los instrumentos, así como también interpretación de los resultados obtenidos por medio de la medición de CEL con estos instrumentos.

Para esta interpretación de datos y buenas técnicas de medición se describen ciertas condiciones y pasos para tener presentes antes y durante las mediciones y monitoreo. Aquí se resumen algunas de estos pasos mencionados.

- Determinar objetivos de la medición
- Localización de los puntos a monitorear
- Reconocimiento del sistema eléctrico a medir (Diagramas unifilares y parámetros eléctricos del sistema).
- Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
- Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
- Determinar límites y umbrales de medición.
- Tiempo de la medición.
- Interpretación de datos

Una vez el instrumento de medición esté conectado en el circuito, este debe estar programado con ciertos umbrales o límites de medición dependiendo de los objetivos planteados y perturbaciones a medir. En la tabla 2 se resumen los límites dependiendo del fenómeno a evaluar:

Tabla 2 Ajustes límites para cargas de 120 V

Perturbación	Limites	Valor sugerido	Observaciones
Desequilibrio de tensión	Tensión de fase	2%	Desequilibrio de tensión < 3%
Variación de frecuencia		60 Hz	
Armónico		5% THD	Límite según IEEE 519
Transitorios		200 V	Aprox. 2 veces la tensión nominal fase-neutro
Sags		108 Vrms	Menos del 10% de la tensión nominal
Swell		126 Vrms	Más del 5% de la tensión nominal
Ruido		1,5 V	1% de tensión fase-neutro
Sección de Tensión neutro-tierra			
Swell	Tensión neutro-tierra	3 Vrms	
Transitorios		20 V pico	10-20% de la tensión fase-neutro
Ruido		1,5 Vrms	Susceptibilidad del equipo
Sección de Corriente			
Corriente fase-neutro	Corriente	I carga/ I nom	
Corriente de tierra		0,5 A	Límite de seguridad
Armónicos		20% (pequeños clientes) 5% (grandes clientes)	Límite según IEEE 519

Fuente. IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.

15.1.2 IEEE 519: Recomendaciones prácticas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.

Esta norma o estándar se desarrolló con el fin de regular y limitar los contenidos de armónicos de corriente y tensión ($THD-i < 3\%$ y $THD-v < 5\%$) causados por cargas no lineales en los sistemas eléctricos. Los límites que se diseñaron en este estándar son para controlar distorsión de corrientes/tensiones armónicas y calidad de la tensión generadas por armónicos eléctricos siempre en el punto de conexión común PCC. Además aclara sobre la diferencia de las técnicas usadas en las

mediciones de los sistemas eléctricos ordinarios y las técnicas requeridas para el monitoreo de armónicos eléctricos.

Debido a que este estándar de la IEEE habla netamente de armónicos de tensión y corrientes, las siguientes razones y necesidades de una medición de CEL son basadas en estos tipos de perturbaciones de los sistemas eléctricos:

- Monitorear los valores existentes de armónicos y chequear nuevamente los niveles y límites admisibles o recomendados.
- Probar los equipos que generen armónicos
- Diagnosticar y arreglar las situaciones en las que la actuación de los equipos sea inaceptable a la subestación alimentadora o al usuario.
- Observar los niveles de tierra existentes y rastrear las tendencias a tiempo de voltajes y corrientes armónicas (modelos diarios, mensuales o estacionales).
- Realizar mediciones para la verificación de los estudios por simulación que incluyan flujo de carga armónica.
- Realizar mediciones de corrientes y voltajes armónicos con sus respectivos ángulos de fase. Tales mediciones pueden ser hechas con o sin una parte de las cargas no lineales conectadas, y puede ayudar a determinar la impedancia del punto de manejo armónico en una situación dada⁷.

El estándar IEEE 519 -1992 también hace referencia de los instrumentos básicos usados para la medición de tensiones y corrientes no sinusoidales, cada equipo con una descripción de la información y recopilación de datos que se pueden monitorear con cada instrumento. A continuación en la tabla 3 se mencionan algunos de estos instrumentos de los que habla el estándar:

⁷ IEEE Standard 519 - 1992

Tabla 3. Instrumentos básicos usados para la medición de tensiones y corrientes no sinusoidales

Equipo de medición	Información obtenida
Osciloscopio	La gráfica de la onda proporciona información del tipo de distorsión y la resonancia de la onda de tensión y corriente
Analizadores de espectro	Este equipo muestra una gráfica de potencia eléctrica en función de la frecuencia, evidenciando armónicos e interarmónicos.
Analizadores de armónicos	Estos equipos muestran una la amplitud de una señal lineal, evidenciando el grado y tipo de armónico.

Fuente: estándar IEEE 519 -1992

Las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos de medición también hacen parte del desarrollo de este estándar; la exactitud, selectividad, variación en el tiempo y ancho de banda son los requerimientos más importantes:

- Exactitud: El instrumento debe utilizar una incertidumbre no mayor al 5% del límite permisible y medición en estado estable para una componente armónica.
- Selectividad: La selectividad es la capacidad que tiene el instrumento de determinar los armónicos en sus diferentes frecuencias. En el estándar lo presenta la siguiente recomendación: “Una manera práctica de asegurar una buena selectividad es definir los requerimientos para una mínima atenuación de la frecuencia inyectada, mientras el instrumento es situado (afinado) a una frecuencia $f_h = 60 \text{ Hz}$ ”⁸.
- Promedio: El instrumento debe tener la capacidad de generar promedios de parámetros de acuerdo al tiempo seleccionado.
- Respuesta dinámica: Este parámetro facilita al usuario seleccionar un promedio de datos en cualquier intervalo de tiempo deseado.

⁸ IEEE Standard 519 - 1992

- Ancho de banda: Sobre este requerimiento la norma dice lo siguiente: “Ancho de banda del instrumento afectará fuertemente la lectura, especialmente cuando los armónicos sean fluctuantes. Es recomendable que sean usados instrumentos con un ancho de banda constante para un rango completo de frecuencias. El ancho de banda puede ser de 3 ± 0.5 Hz entre los puntos a -3 dB con una atenuación mínima de 40 dB a una frecuencia de $f_h + 15$ Hz. En situaciones en las que los interarmónicos y transitorios estén presentes, un ancho de banda más grande causará mayores errores positivos”⁹.

Hay ciertas recomendaciones de mediciones de CEL para usuarios y empresas comercializadoras de energía eléctrica, que tienen como objetivo principal reducir los efectos de armónicos eléctrico estableciendo los límites para ciertos índices armónicos (corrientes y voltajes) en el PCC o cualquier punto de forma tal que tanto el comercializador y el usuario puedan acceder al mismo punto de medición de índices armónicos, a través de métodos mutuamente conformes y estandarizados (Para los usuarios como el sector industrial, el PCC es el punto entre la carga no lineal y otras cargas).

Recomendaciones de medición de armónicos para usuarios

El estándar IEEE 519 recomienda a la hora de realizar una medición, tener en cuenta los siguientes índices armónicos con el fin de tener datos concluyentes y que puedan ser analizados bajos los parámetros y límites sugeridos:

- Profundidad de la muesca, área total de la muesca, y distorsión de tensión.
- Distorsión de tensión total e individual.
- Distorsión de corriente total e individual.

La tabla 4 muestra los límites de corrientes armónicas dependiendo de la carga y tamaño del sistema eléctrico a la cual está conectada la carga (El tamaño del usuario es expresado como la relación de la capacidad de corriente de cortocircuito en el PCC con el comercializador, a la corriente máxima de carga de usuario. Los límites de corriente armónica individual son expresados en porcentaje de esta máxima corriente de carga (demanda).

⁹ IEEE Standard 519 - 1992

Tabla 4. Valores límite distorsión de corriente armónica individual y distorsión total de demanda (TDD) en porcentaje de corriente de carga (IL) (armónicos impares)

Límites de distorsión en corriente para sistemas de distribución 120V < Vn ≤ 69kV						
Relación Isc/IL	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	TDD
< 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
Límites de distorsión en corriente para sistemas de subtransmisión 69kV < Vn ≤ 161kV						
< 20*	2,0	1,00	0,75	0,30	0,15	2,5
20 < 50	3,5	1,75	1,25	0,50	0,25	4,0
50 < 100	5,0	2,25	2,00	0,75	0,35	6,0
100 < 1000	6,0	2,75	2,50	1,00	0,50	7,5
> 1000	7,5	3,50	3,00	1,25	0,70	10,0
Límites de distorsión en corriente para sistemas de transmisión (Vn > 161 kV), generación distribuida y cogeneración						
< 25*	1,00	0,50	0,38	0,15	0,10	1,50
25 < 50	2,00	1,00	0,75	0,75	0,15	2,50
≥ 50	3,00	1,50	1,15	1,15	0,22	3,75

Fuente. Estándar 519 -1992

Dónde:

I_{sc} = corriente de cortocircuito disponible en el punto de acoplamiento común.

I_L = máxima corriente fundamental demandada.

T_{DD} = Distorsión total de demanda

Recomendaciones de medición de armónicos para empresas comercializadoras

Los factores que definen la calidad del servicio eléctrico incluyen distorsión armónica, confiabilidad, seguridad (protección de sobretensión, fallas y demás), continuidad en el servicio, regulación de voltaje, y fluctuación. El estándar también define unos límites de distorsión máximas siempre en el punto de conexión común.

Tabla 5. Valores de referencia de THD

Rango de Tensión	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica Total-THDv (%)
1 kV < Vn ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < Vn ≤ 161 kV	1,5	2,5
Vn ≥ 161 kV	1,0	1,5

.Fuente: Estándar 519 - 1992

Si los límites de la tabla anterior son excedidos, se deben seguir los siguientes pasos:

- Realizar las mediciones de armónicos en el punto seleccionado incluyendo el PCC, (Si son identificados los puntos o usuarios que estén inyectando la gran mayoría de armónicos al sistema, deben ser informados para que corrijan tales distorsiones dentro límites).
- Instalar filtros para controlar los armónicos.

15.1.3 IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición - Métodos de medición de calidad de potencia

Esta parte de la norma IEC 61000-4 define los métodos para la medición e interpretación de resultados de calidad de la energía sistemas eléctricos. Se describen para cada tipo de parámetro, distorsión o perturbación para obtener resultados fiables y exactos del instrumento utilizado. Los parámetros de calidad de la energía considerados en esta norma son la frecuencia, magnitud de la tensión, flicker, huecos de tensión, interrupciones de voltaje, voltajes transitorios, desequilibrio de tensión, armónicos e interarmónicos actuales, cambios rápidos de tensión. Dependiendo de la finalidad de la medida, la totalidad o algunos de estos parámetros de esta lista se puede medir.

Esta norma también arroja intervalos de variación de tiempo en los monitoreo y recopilación de datos para cada parámetro de CEL, así garantizar medidas más precisas. Las dos clases de mediciones son llamadas en este estándar como Medidas Clase A y Medidas Clase B, sus características y precisiones son descritas en las tablas 5 y 6.

Medición Clase A:

Esta clase de medición se utiliza cuando son necesarias medidas precisas, por ejemplo, para aplicaciones contractuales, verificar el cumplimiento de las normas, la resolución de conflictos, etc. Para la medidas de esta clase se deben utilizar medidores estipulados en la norma IEC 61000-4-30¹⁰ de gran precisión para determinar valores referencia de la norma NTC 5000, puesto que al realizar las mediciones con analizadores de red que cumplan con los requerimiento de la IEC, estas no saldrán de la incertidumbre especificada en la norma, es decir cualquier medida de un parámetro llevado a cabo con dos instrumentos diferentes que cumplan los requisitos de la Clase A, al medir las mismas señales, se producirán resultados similares o dentro de la incertidumbre especificada. Para asegurar que se generen resultados acertados se requiere un equipo con un ancho de banda característico y una frecuencia de muestreo suficiente para la incertidumbre especificada de cada parámetro.

La norma define los siguientes intervalos de tiempo para la medición de parámetros (tensión de alimentación, armónica, interarmónico y desequilibrio): un tiempo de 10 ciclos para un sistema eléctrico de 50 Hz y un intervalo de tiempo de 12 ciclos para uno 60 Hz.

Nota: La incertidumbre de esta medida se incluye en el protocolo de medida incertidumbre de cada parámetro.

Intervalos de tiempo de medición se agregan más de 3 intervalos de tiempo diferentes. Los intervalos de tiempo de agregación son:

- 3-s intervalo (150 ciclos para 50 Hz nominal o 180 ciclos para 60 Hz nominal),
- Intervalo de 10 min,
- Intervalo de 2 h¹¹.

¹⁰ NTC IEC 61000-4-30 (Testing and measurement techniques-Power quality measurement methods)

¹¹ IEC 61000-4-30 (Testing and measurement techniques-Power quality measurement methods)

Tabla 6. Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (Medidas clase A)

Parámetros de CEL	Rango de variación
frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 200 % Voltaje de entrada
Flicker	0 - 20 parpadeos
Desbalances	0 - 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Interarmónicos	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Señales de tensión	0 -9 %de la tensión de entrada
transitorios de tensión	6 kV pico
transitorios rápidos	4 kV pico

Fuente. IEC 61000-4-30

Medición Clase B:

Esta clase de medición puede ser utilizada para estudios estadísticos, aplicaciones de solución de problemas y otras aplicaciones donde no se requiera un bajo valor incertidumbre. Para estas mediciones se debe tener en cuenta que cada factor o parámetro a medir tiene diferentes clases de potencia. Por esto cada fabricante de analizador de red eléctrica deberá incluir los rangos de incertidumbre que puedan influir en las mediciones.

Para recordar; un instrumento de medición puede tener diferentes clases de potencia para los diferentes parámetros y el fabricante del instrumento deberá declarar las cantidades de influencia que no figuren expresamente y que puede degradar el rendimiento del instrumento. Este método también es referenciado en la IEC 61000-4-30¹².

¹² Ídem.

Tabla 7. Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (Medidas clase B)

Parámetros de CEL	Rango de variación
frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 150 % Voltaje de entrada
Desbalances	0 - 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Interarmónicos	Valores IEC 61000-2-4 clase 3
Señales de tensión	0 -9 %de la tensión de entrada

Fuente. IEC 61000-4-30

Los errores máximos permitidos para cada clase de medición se muestran en la tabla 8; estos valores se refieren a las señales de una sola frecuencia y en estado estacionario, en el rango de frecuencia de operación, aplicada al instrumento, en condiciones nominales de funcionamiento, a especificar por el fabricante (rango de temperatura, rango de humedad, tensión de alimentación del instrumento, etc.). I_m , U_m y P_m son parámetros medidos; I_{nom} y U_{nom} son los valores nominales del instrumento de medición.

Tabla 8. Requisitos de exactitud para medición de voltaje y corriente

Clase	Medición	Condición	Máximo error
A	Tensión	$U_m \geq 1\% U_{Nom}$ $U_m < 1\% U_{Nom}$	5% U_m 0.05% U_m
	Corriente	$I_m \geq 3\% I_{Nom}$ $I_m < 3\% I_{Nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0.15\% I_m$
	Potencia	$P_m < 150 W$ $P_m > 150 W$	$\pm 1.5 W$ $\pm 1\% P_m$
B	Tensión	$U_m \geq 3\% U_{Nom}$ $U_m < 3\% U_{Nom}$	5% U_m 0.15% U_m
	Corriente	$I_m \geq 10\% I_{Nom}$ $I_m < 10\% I_{Nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0.5\% I_m$

Fuente. IEC 61000-4-30

15.1.4 IEC 61000-4-7: Guía general de mediciones e instrumentación armónicas e interarmónico, para los sistemas de suministro de energía y los equipos conectados a los mismos.

Esta norma es aplicable a los instrumentos que miden componentes espectrales en el rango de frecuencia hasta 9 kHz, que se superpone a la fundamental de las potencia del sistema eléctrico. También esta norma establece una diferenciación entre armónicos, interarmónicos y componentes entre 2 kHz y 9 kHz, donde además se dan recomendaciones para todos los tipos de instrumentos de medición.

Además, este estándar define los instrumentos de medición indicados para la medición de los corrientes y tensiones armónicas en los sistemas de suministro reales. Los detalles específicos para la medición de los armónicos de tensión en los sistemas de distribución de energía se tratan con IEC 61000-4-30 anteriormente mencionada.

Este es un breve resumen del contenido más relevante para el desarrollo de este proyecto de esta norma.

15.1.5 IEC 61000-4-15: Flickermeter (medición de flickers) – Especificaciones de diseño y funciones.

La corriente variable dibujado por muchos red aparatos eléctricos conectados puede causar la tensión de alimentación eléctrica fluctúe. Esta fluctuación de voltaje puede a su vez conducir a un parpadeo de las luces, que pueden causar irritación y problemas médicos. Como tal, los aparatos deben ser probados por la cantidad de parpadeo que provocan antes de que puedan aprobarse para el uso. Los requisitos para esta prueba y límites en los niveles de parpadeo se dan en la norma internacional IEC 61000-3-3 [1].

Las cargas no lineales conectadas a una red eléctrica también pueden generar fluctuaciones en la tensión, donde se el parpadeo o Flickers en la iluminación son consecuencia de estos problemas de calidad de energía eléctrica. La norma IEC 61000-4-15 describe las especificaciones que deben cumplir las mediciones y los equipos de medición para realizar un monitoreo y análisis adecuado.

Un medidor de flickers se debe ajustar al diseño estándar IEC debe informar y medir el Pst (la severidad del parpadeo evaluado durante un corto período de tiempo (normalmente 10 minutos) con una precisión de entre + 5% cuando se somete a dos tipos básicos de forma de onda, 1. Onda cuadrada y 2. Señales de

frecuencia de la red de onda sinusoidal modulada. Las profundidades y frecuencias de las ondas dependen de este tipo de modulación.

16. NORMAS TÉCNICAS SOBRE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA.

El sector eléctrico en Colombia ha creado en los últimos 10 años una importante evolución al implementar y sostener ciertas reformas y resoluciones con el fin de regular y estandarizar cada uno de los procesos que se presentan en el sistema eléctrico en el país, entre ellos calidad de energía eléctrica.

Todas las normas referentes a la energía eléctrica en Colombia que se han ido estableciendo con el pasar del tiempo son basadas en estándares internacionales que se mencionan anteriormente en este documento, donde cada una de ellas se dedica al análisis, desarrollo e importancia de mantener los parámetros y mediciones de calidad de energía eléctrica dentro de los estándares. Es así como el país comprueba que el marco regulatorio está cumpliendo en niveles eléctricos normalizados para el aprovechamiento y aseguramiento de la CEL.

16.1 NTC 5000: Calidad de la Potencia Eléctrica

Esta norma establece los límites llamados valores de referencia y metodología de evaluación en el punto de conexión común (PCC – operador de red u usuarios) de los parámetros de CEL (Variaciones de tensión, armónicos, flicker, desbalances de tensión entre otras).

La medición de cada uno de estos parámetros de CEL establecidos en la NTC 5000 junto con los equipos de medición o analizadores de redes deben estar conformes con los métodos y procedimientos establecidos en la IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición - Métodos de medición de calidad de potencia. Por esta razón los datos, tablas, definiciones y metodologías que se obtienen de esta norma no se documentan, ya que se encuentran descritos en la IEC anteriormente mencionada.

17. OTRAS NORMAS Y RESOLUCIONES EN COLOMBIA

Existen otras normas importantes en Colombia que ayudan a realizar un estudio y de mediciones aún más completas. Aunque estas normas no se refieren directamente a temas de calidad de energía eléctrica, si pueden ayudar a determinar algunas características de parámetros de CEL presentes en el sistema eléctrico.

17.1 NTC 1340: Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.

Esta norma establece los valores nominales y rangos máximos/mínimos permisibles que caracterizan la tensión de alimentación suministrada en cuanto a amplitud y frecuencia. Aplicable a sistemas de transmisión, subtransmisión, distribución y al uso final de la energía eléctrica en Colombia.

17.2 Resolución CREG 047 de 2004 / Factor de potencia.

Esta resolución se establece los límites del factor de potencia inductivo para todas las instalaciones eléctricas, donde este deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). En caso de violar estos límites el operador de Red podrá exigir al usuario que se instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva.

18. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA

La metodología propuesta en este proyecto se realiza teniendo en cuenta todas las normas y estándares nacionales e internacionales, cumpliendo siempre con los marcos regulatorios en Colombia.

18.1 Monitoreo de CEL

El monitoreo, recopilación y análisis de datos en las mediciones de calidad de potencia eléctrica nacen de la necesidad de controlar y mejorar el rendimiento en el sistema de energía. Los sistemas de generación, transmisión, comercialización y usuarios poseen equipos sensibles a las perturbaciones eléctricas que requieren un cuidado especial por su operación o información. Por esta razón, las empresas comercializadoras de energía eléctrica han implementado programas y rutinas de monitoreo constante de la calidad de potencia eléctrica.

Esta parte del proyecto se describen los pasos a seguir para realizar una correcta y acertada medición, es decir el paso a paso del monitoreo y recopilación de datos. Entre los cuales están los objetivos, procedimientos, selección del instrumento, métodos y normas para la medición y vigilancia de CEL.

18.2 Consideraciones para realizar el monitoreo

Antes de realizar cualquier medición, la primera consideración a tener en cuenta deben ser los objetivos del monitoreo ya que a partir de estos se pueden determinar aspectos importantes para la medición, como por ejemplo:

- Selección de equipo de medición.
- Posibles causas de las distorsiones.
- Parámetros y límites de los umbrales.
- Métodos y necesidades de almacenamiento de los datos medidos.

Es decir la medición debe ser diseñada en base a los objetivos adecuados, teniendo en cuenta los parámetros e información sobre el sistema a monitorear. Está claro, que un sistema monitoreado permanentemente tendrá un enfoque más completo y preciso de las condiciones actuales de calidad de potencia. Pero para este caso el costo sería mucho mayor, puesto que instalar un equipo continuamente, implica tener un analizador de red propio y solo para un punto específico. Por esta razón es importante caracterizar correctamente el sistema para entender el desempeño normal del sistema y CEL en el punto de monitoreo. Posteriormente identificar rápidamente los problemas y equipos sensibles será mucho más sencillo y acertado. En resumen los tipos de monitoreo más importantes para realizar una medición exitosa son los siguientes:

18.2.1 Monitoreo para caracterizar el rendimiento del sistema

Un operador de red eléctrica puede tener como objetivo principal al momento de realizar un chequeo del estado de la red, con el fin verificar el rendimiento de su sistema; este monitoreo sirve para determinar si está cumpliendo con las necesidades de sus clientes. También entender el comportamiento de la red en cuanto a calidad de la energía se refiere, el OR puede identificar rápidamente los problemas y puede ofrecer información a sus clientes para ayudarles a adaptarse a las características de sus equipos sensibles con características realistas de las perturbaciones presentes en el sistema.

18.2.2 Monitoreo para caracterizar los problemas específicos

Muchos departamentos de mantenimiento de plantas industriales buscan resolver problemas de calidad de energía eléctrica mediante la realización de monitoreo a corto plazo en los lugares específicos o con cargas difíciles. Se trata de un modo correctivo de monitoreo de calidad de potencia, pero con frecuencia identifica la perturbación y la causa, que es el primer paso a una solución.

18.2.3 Monitoreo como parte del mantenimiento predictivo

Algunas empresas realizan monitoreo de calidad de energía eléctrica como mantenimiento predictivo para sus equipos, con el objetivo principal de evitar fallas en su proceso de producción. Los datos suministrados por un analizador de red conectado a un sistema pueden evitar fallas en los equipos eléctricos y electrónicos como motores, transformadores, protecciones eléctricas y hasta las mismas cargas no lineales presentes en el sistema. Datos como cantidad de armónicos, desbalances de tensión y variaciones de tensión presentes en el sistema. El actuar preventivamente en los equipos puede significar para cualquier usuario o los mismos OR un ahorro de dinero, así como también seguridad y confiabilidad en la red eléctrica.

18.3 Inspección y recopilación de datos del sitio a monitorear

El estudio visual y datos de instalación como conexiones a tierra, inspección de cableados, tensiones y corrientes presentes en el sistema, así como también en algunos casos inspecciones termografías serán de gran utilidad para el momento de analizar los datos obtenidos. Y toma mayor importancia la máxima caracterización del sistema, si el monitoreo aborda problemas específicos de CEL.

A continuación se puede resume en un listado, la información más relevante a la hora de registrar los datos iniciales del sistema:

1. Lista de problemas que presenta el sistema (por ejemplo fallas inesperadas en el sistema de control, interrupciones cortas y largas de energía, pérdida de datos o información). En otras palabras razones por la cual se quiere monitorear el sistema eléctrico.
2. Características de los equipos que presentan los problemas (aplicación, funcionamiento, datos eléctricos). Los tiempos entre fallas y duración de las mismas.
3. Posibles fuentes generadoras de las perturbaciones (cargas no lineales como variadores, arrancadores, sistemas electrónicos de control y potencia).
4. Finalmente, datos eléctricos del sistema eléctrico tales como:
 - Placa de datos transformadores
 - Cargas inductivas y banco de condensadores
 - Cargas presentes en el sistema
 - Niveles de tensión del sistema
 - Diagramas unifilares

Una vez obtenidos estos datos suministrados generalmente por el cliente se debe hacer una verificación de la información, utilizando los formatos de inspección previa (anexo 1) e informe de CEL (anexo 2). Con ellos se tendrá control y organización de la información monitoreada en los puntos de conexión.

18.4 Lugares para conexión de equipos

Conectar el analizador de red en la entrada de suministro de energía, es decir en el PCC implica tener presente el efecto de transformadores y en algunos casos subestaciones con sistemas de control y automatización, grandes generadores de distorsiones y perturbaciones en el sistema eléctrico.

Otro aspecto importante al momento de determinar y ubicar el sitio de conexión del analizador de red para problemas de calidad de energía específicos, es decir detectados los equipos sensibles y definidos los objetivos de la medición; es conectar el medidor lo más cerca posible de los equipos afectados por las variaciones de calidad de energía. Es importante que el analizador vea las mismas variaciones que el equipo sensible ve. Los transitorios de alta frecuencia, en particular, puede ser diferentes si hay una separación significativa entre el analizador y el equipo afectado.

Cada norma referente a la medición de CEL ya sea nacional e internacional tienen sus criterios y especificaciones en cuanto al lugar de conexión de los equipos de monitoreo y recopilación de datos, a continuación un breve resumen de cada una de ellas:

18.5 Selección del equipo de medición (analizador de redes eléctricas)

Existen tipos de analizadores de redes eléctricas especiales que cubren rangos bajos de frecuencias de hasta 1 Hz que pueden ser usados por ejemplo, en el análisis de estabilidad de lazos abiertos o para la medición de audio y componentes ultrasónicos. Sin embargo estos equipos son usados con mayor reiteración en altas frecuencias, que operan entre los rangos de 9 kHz hasta 110 GHz, tales como monitoreo de sistemas de distribución eléctrica e industrial.

Existen dos tipos principales de analizadores de redes eléctricas:

- SNA (Scalar Network Analyzer) – Analizador de redes escalar, mide propiedades de amplitud de ondas de los parámetros de CEL.
- VNA (Vector Network Analyzer) – Analizador de redes vectoriales, mide propiedades de amplitud y fase.

“Un analizador del tipo VNA también puede ser llamado Medidor de Fase o Analizador de Redes Automático. Un analizador del tipo SNA es funcionalmente idéntico a un analizador de espectro combinado con un generador de barrido, es decir recopila datos y análisis de ondas durante un tiempo determinado. Hasta el año 2007, los analizadores VNA son los más comunes y frecuentemente calificados como los de menor calidad”¹³.

Hay una serie de factores y requerimientos importantes que deben ser considerados al momento de seleccionar el instrumento de medición de calidad de energía:

- Número de canales (tensión y / o corriente)
- Datos de temperatura del instrumento
- La robustez del instrumento
- Rango de tensión de entrada (por ejemplo, de 0 a 600 V)
- Requisitos de alimentación
- Capacidad para medir tensiones trifásicas
- Aislamiento de entrada (aislamiento entre canales de entrada y de cada entrada a tierra).
- Capacidad para medir corrientes
- Tipo de montaje del instrumento (portátil, de montaje en rack, etc)
- Facilidad de uso (interfaz de usuario, capacidad de gráficos, etc)
- Documentación
- Capacidad de comunicación y conectividad (módem, interfaz de red)
- Software de Análisis

La flexibilidad (amplitud) del instrumento también es importante, cuantas más funciones se puedan realizar con un solo instrumento, menor será el número de instrumentos que se requieren. Es decir un costo menos y mucho más sencillo a la hora de recopilar y analizar los datos medidos.

18.5.1 Otros tipos de instrumentos útiles en medición de CEL

Además de los analizadores de calidad de potencia eléctrica también existen una serie de instrumentos que puede ayudar para resolver y predecir problemas de CEL mediante condiciones de las conexiones, lugares (ambiente, temperatura y humedad) y operación de los equipos. Por ejemplo:

¹³ <http://www.textoscientificos.com/fisica/instrumentos/analizadores-redes-electricas>

- Termografías

Mediciones de temperatura por infrarrojos (termografías), puede ser una muy valiosa ayuda en la detección de conexiones sueltas y sobrecalentamiento conductores. Este tipo de mantenimiento predictivo puede ayudar a prevenir problemas de calidad de energía debido a la formación de arcos, malas conexiones y conductores sobrecargados.

Por ejemplo un sistema trifásico con una fase con diferencia de temperatura de 10°C por encima de las otras 2 fases, puede suponer una sobrecarga en la fase con mayor temperatura o probablemente esa fase este alimentando una fuente generadora de distorsiones armónicas, la cual provoca en aumento de corrientes parasitas con grandes magnitudes. En la imagen 1 se observa un ejemplo de un tablero de protección eléctrica con una fase con diferencia de temperatura de más de 10°C.

Imagen 1. Termografía-tablero protección eléctrica (diferencia de temperatura entre fases)



Medidas		°C
Sp1		40,4
Sp2		41,1
Sp3		65,0
Sp4		62,0
Sp5		43,2
Sp6		44,3
Li1	Max	51,5
	Min	31,2
	Average	40,9
Diferencia		24,6
Sp3 - Sp1		
Parámetros		
Emisividad		0.78
Temp. refl.		25 °C
Distancia		2.5 m
Temp. atmosférica		28 °C
Temp. óptica ext.		22.5 °C
Trans. óptica ext.		1
Humedad relativa		30 %

Las termografías son de gran utilidad para fines de documentación previa a la medición de CEL. Con ellas se puede lograr un resultado más acertado y preciso en

las mediciones o simplemente anexar a la documentación del estudio como evidencia de una solución después de realizada la medición y los correctivos.

Nota: Hay que tener en cuenta que en muchas instalaciones industriales requieren un permiso especial para tomar termografías y pueden poner limitaciones estrictas sobre la distribución de las mismas.

- Osciloscopios

Un osciloscopio es valioso cuando se realizan pruebas en tiempo real. En cuanto a la tensión y la corriente puede proporcionar mucha información sobre lo que está sucediendo, incluso sin realizar análisis CEL detallado sobre las formas de onda. Uno puede obtener las magnitudes de las tensiones y corrientes, distorsiones evidentes, y detectar cualquier variación en las principales señales.¹⁴

Un osciloscopio digital con almacenamiento de datos porque la forma de onda se puede guardar y analizar. Osciloscopios de esta categoría suelen tener también la capacidad de análisis de forma de onda (cálculo de la energía, el espectro análisis). Además también son útiles para las mediciones de calidad de energía y son ideales para los estudios iniciales de la planta.

- Multímetros

Los multímetros son útiles para realizar una medición previa de niveles de tensión y corrientes de la instalación. Con estas tensiones se pueden detectar problemas de sobrecargas, desequilibrios de tensión (según los límites propuestos en la NTC 1340). Las mediciones que se realizan normalmente con los multímetros son los siguientes:

- ✓ Tensiones fase-tierra
- ✓ Tensiones Fase a neutro
- ✓ Tensiones neutrales-tierra
- ✓ Tensiones fase-fase (sistemas trifásicos)
- ✓ Corrientes de fase
- ✓ Corrientes neutros

El factor más importante a considerar al momento seleccionar y utilizar un multímetro es el método de cálculo utilizado en la medición. Todos son calibrados para dar una indicación rms de la señal medida. Sin embargo, un número de diferentes métodos se utilizan para calcular el valor rms. Los tres métodos más comunes son

- ✓ Método Pico.
- ✓ Método de promedio.

¹⁴ Electrical power system quality- 2da edition

- ✓ Verdadero valor eficaz.

Estos métodos diferentes, todos dan el mismo resultado para una señal limpia, sinusoidal, pero pueden dar diferentes respuestas (gran desviación en mediciones) para señales distorsionadas. Esto es muy importante porque los niveles de distorsión de corrientes de fase y neutro dentro de la instalación.

- Medidores de Flicker

La metodología para medir el parpadeo o flicker es el estándar IEC, este método se define en la norma IEC 61000-4-15 (tal y como se mencionó en el capítulo 15.1.5) es un acercamiento muy completo a la medición de este tipo de perturbaciones y se describe con más detalle a continuación.

18.6 Duración de la medición

Tal y como las consideraciones anteriores, la duración del monitoreo depende de los objetivos planteados para la medición. Por ejemplo, si el objetivo es resolver los problemas que son causados por caídas de tensión durante fallas en el sistema de servicios públicos, la medición puede ser por un período significativo de tiempo debido a las fallas del sistema son probablemente anormales. Si el problema está relacionado con banco de condensadores, puede ser posible caracterizar las condiciones durante el período de un par de días. Problemas de distorsión de armónicos y flicker, deben ser monitoreados por un período de al menos 1 semana para obtener una gráfica de cómo los cambios en la carga y cómo las variaciones del sistema pueden afectar a estos niveles.

La duración del seguimiento se está convirtiendo en un problema menor ya que la tendencia general es utilizar equipos o sistemas de calidad de potencia permanentes, aprovechando la amplia variedad de equipos que pueden proporcionar información como parte del sistema. La duración de cada medición esta propuesta en los límites de mediciones de la IEC 61000-4-30.

18.7 Detección de la fuente de perturbación

¿Cómo encontrar la fuente de las perturbaciones? La localización de la fuente generadora de perturbación es otro aspecto de interés para el mejoramiento de la calidad de la energía; para ello se tienen en cuenta 2 aspectos de localización:

- Localización relativa.
- Localización exacta

El primer paso para identificar la fuente que genera la perturbación o distorsión es relacionar la forma de la onda detectada ya sea de tensión o corriente, con los diferentes tipos de anomalías que se presentan en CEL. Es decir analizar cuales formas de ondas de distorsiones conocidas que se asemejan a la encontrada, para así llegar a una aproximación del tipo de fuente o carga no lineal que produce ese tipo de distorsiones. Las siguientes pautas pueden ayudar a detectar ciertos comportamientos de onda¹⁵.

- Variaciones de voltaje de alta frecuencia se limitan a los alrededores de la fuente de la perturbación. De bajo voltaje (600 V y por debajo) el cableado a menudo amortigua componentes de alta frecuencia muy rápidamente debido a la resistencia del circuito, por lo que estos componentes de frecuencia sólo aparecerá cuando el monitor está situado cerca de la fuente de la perturbación.
- Las interrupciones de energía cerca del lugar de vigilancia causarán un cambio muy brusco de la tensión. Las interrupciones de energía a distancia desde la ubicación de seguimiento se traducirán en una tensión de descomposición debido a la energía almacenada en los equipos y condensadores de rotación.
- Los más altos niveles de distorsión armónica de tensión se producirán cerca de condensadores que están causando problemas de resonancia. En estos casos, una sola frecuencia suele dominar el espectro armónico de tensión.

La tabla 9 ayudará a determinar qué tipo de perturbación presenta el sistema eléctrico a monitorear, puede al momento de verificar las opciones se presenten varios problemas típicos de perturbaciones pero se también se descartarán varias, haciendo que el trabajo de medición y análisis será menos tedioso y largo:

¹⁵ Electrical power system quality- 2da edition

Tabla 9. Detección de tipo y lugar de las perturbaciones

Problemas típicos	Tipo de perturbación	Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> *Sobrecalentamiento del neutro * Desviaciones de frecuencia 	Estado estacionario	<ul style="list-style-type: none"> Neutros compartidos Cableado sobredimensionado Alta impedancia de la fuente Armónicos
<ul style="list-style-type: none"> *Interrupción *Datos distorsionados *Aumento desproporcionado en niveles de armónicos 	Transitorios	<ul style="list-style-type: none"> Fallas en instalaciones Corrientes de inrush Cableado inadecuado
<ul style="list-style-type: none"> *Lock-ups intermitentes *Parpadeo de luces *Datos distorsionados 	Sag/swell	<ul style="list-style-type: none"> Variaciones de tensión Sobretensiones cableado inadecuado
<ul style="list-style-type: none"> *Falla componente *Falla dieléctrica *Datos distorsionados *CRT onduladas *Lock-up 	Impulsos	<ul style="list-style-type: none"> Relámpago Conmutación de carga Descarga estática Cableado suelto/formación de arco
<ul style="list-style-type: none"> *Transformadores recalentados *Distorsión de la tensión *Distorsión de corriente *Motores recalentados *Datos distorsionados 	Armónicos	<ul style="list-style-type: none"> Cargas electrónicas Ancho de banda de la carga SCR/rectificador
<ul style="list-style-type: none"> *Los problemas ocurren al mismo tiempo *Los problemas ocurren en intervalos de tiempo regulares 	Todo	<ul style="list-style-type: none"> Cargas sincronizadas Cargas cíclicas
<ul style="list-style-type: none"> *Interruptor automático de transferencia no funciona *Cambio de frecuencia excesivo 	Discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> Conmutación no sincronizada de la energía

Fuente. IEEE 1159 - 1995: Guía para el monitoreo de calidad de potencia.

18.8 Determinación de límites de medición en el equipo

Los analizadores de red son diseñados para detectar parámetros anormales de un sistema eléctrico por medio de los límites y estándares definidos por las normas establecidos con respecto a la Calidad de Energía Eléctrica (CEL), ya algunos analizadores vienen con umbrales de medición predeterminados (Por defecto) de acuerdo al fabricante y país de fabricación, y que pueden ser tenidos como puntos de partida. Sin embargo, para este proyecto los valores límites estarán basados las necesidades de la medición y las siguientes normas más relevantes en Colombia:

- Estándares IEC 61000-4.
- NTC 5000 “Calidad de la Potencia Eléctrica”.
- la NTC 1340 “tensión y Frecuencia Nominales en Sistemas de Energía Eléctrica en Redes de Servicio”.
- 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.
- NTC 152 “Límites y Metodología de Evaluación en Punto de Conexión Común”
- Serie de regulaciones de la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) en la que pones mencionar las siguientes Resoluciones: 070/1998, 096/2000, 084/2002 y 0024/2005.

En algunos casos los límites de los datos a medir puede que concuerden con las especificaciones y características del analizador de red, sin embargo para los casos en que no sean los límites deseados se proponen como soluciones lo siguiente:

1. **(Recomendado).** Recopilar los datos ingresando los umbrales permitidos tanto por las normas y el equipo, para después en el análisis de la información filtrar los datos recopilados con los límites necesarios y establecidos en los objetivos y características normales del sistema eléctrico (primer paso para realizar una medición de CEL).
2. Establecer los límites de medición bastante altos por un período de tiempo (recoger una gran cantidad de datos de CEL) y luego utilizar los datos recogidos para seleccionar umbrales adecuados para el monitoreo general.

18.9 Límites de medición según IEC 61000-4-30 (Perturbaciones lentas)

Dentro de la calidad de energía eléctrica se pueden distinguir dos clases de mediciones para cada perturbación de CEL, definida y descrita por la IEC 61000-4-30 tal y como menciona anteriormente en el capítulo 15.1.6 donde también se detallan los límites de cada una de estas mediciones. Para este proyecto se tendrán en cuenta los límites definidos en esta norma, teniendo presente el tipo de perturbación y parámetro:

- **Mediciones de Tensión Clase A**

La medición será el valor eficaz de la magnitud de la tensión durante un intervalo de tiempo de 12 ciclos, para sistemas a 60 Hz y cada Intervalo 10/12 de ciclo deberá ser contiguo y no superponerse al 10/12 de ciclo siguiente. Además que la incertidumbre tiempo - reloj no será superior a ± 16 ms y el intervalo de tiempo de medida básica para las magnitudes de los parámetros como tensión de alimentación, armónicos, interarmónicos y desequilibrio será de un intervalo de tiempo de 12 ciclos, así como la incertidumbre de la medición no deberá superar el $\pm 0,1\%$ de la tensión de referencia.

- **Mediciones de Tensión Clase B**

La medición será el valor eficaz de la tensión durante un período especificado por el fabricante. El fabricante deberá especificar el método para determinar los intervalos de 10 minutos, así como la incertidumbre no superará el $\pm 0,5\%$ de la tensión de referencia.

Perturbaciones lentas

Variaciones de frecuencia

En los sistemas eléctricos interconectados, como es el caso de Colombia, el control de este parámetro se hace en los centro de generación ya que es en ellos donde se originan las variaciones de frecuencia cuando se producen cambios fuerte en la carga. En la Tabla 10, se muestran las variaciones permisibles por la IEC 61000-4-30 y NTC 5000 que son de cumplimiento para los centros de generación. La medición de frecuencia se deberá efectuarse por una semana con intervalos entre medición de 10 min.

Tabla 10. Valores de referencias de variaciones de frecuencia.

Tipo de red	Frecuencia aceptable durante el 95% de una semana	Frecuencia aceptable durante el 100% de una semana
Redes acopladas por enlaces síncronos a un sistema interconectado.	Desde 59,8 Hz hasta 60,2 Hz	Desde 59,8 Hz hasta 60,2 Hz
Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (Redes de distribución en regiones no interconectadas e islas).	Desde 59,8 Hz hasta 60,2 Hz	Desde 59,8 Hz hasta 60,2 Hz

Fuente: Norma NTC 5000

- **Mediciones Clase A**

La lectura de frecuencia se obtendrá cada 10 s. La salida de frecuencia fundamental es la relación entre el número de ciclos integrales contados durante el intervalo de reloj de tiempo de 10 s, dividido por la duración acumulada de los ciclos enteros. En lo posible, antes de cada medición se deben atenuar los armónicos e interarmónicos para minimizar los efectos de múltiples cruces por cero. Los intervalos de tiempo de cálculo serán sin solapamiento y los ciclos individuales que se superponen el reloj de tiempo de 10 s se descartan. Además la incertidumbre de este clase de medida no excederá de $\pm 0,01$ Hz.

- **Mediciones Clase B**

El fabricante deberá indicar el proceso que se utiliza para la medición de la frecuencia como a su vez deberá especificar la incertidumbre en el rango de magnitudes de influencia de cada fabricante.

Interrupciones de corta duración ($t < 1\text{min}$)

Las interrupciones de corta duración se ocurren cuando el “valor eficaz de la tensión es inferior al 10% de la tensión declarada en todas las fases con una

duración menor a 1 min”¹⁶. Generalmente, estas interrupciones son generadas por fallas en el sistema de alimentación y de conmutación para aislar a estas, y prevenir que ocasionen problemas más grandes en el sistema interconectado; como por ejemplo las re cierres automáticos en una línea de transmisión en falla transitoria.

Hasta hace un tiempo este tipo de perturbación no se toman en cuenta para determinación de FES (Frecuencia Equivalente de Cortes de Energía) y DES (Duración Equivalente de Cortes de Energía) que los operadores de red deben cumplir para evitar sanciones, ahora estos indicadores cambiaron y por tal razón no se tiene en cuenta para determinar valores de confiabilidad y continuidad por los entes de control y mando del sistema eléctrico del país. Se registrarán las interrupciones de corta duración ocurridas durante una semana y a su vez la duración de cada una de ellas.

- **Mediciones Clase A**

No hay ninguna consideración para este tipo de mediciones así que el fabricante del instrumento de medición deberá indicar el proceso que se utiliza para la medición, así como a su vez especificar la incertidumbre en el rango de magnitudes de influencia de cada fabricante.

- **Mediciones Clase B**

Como en las mediciones de Rendimiento Clase A, al no haber restricciones, el fabricante indicará procesos y especificará los rangos de incertidumbre de la medición.

Hundimientos (sags)

Se denominan *hundimientos de tensión (SAGS)* a las disminuciones súbitas del valor nominal eficaz de tensión por debajo del 90% y por encima del 10% de la tensión declarada con una duración entre 0,5 ciclos (8,33 milisegundos) y 30 ciclos (1 minuto). Estas perturbaciones son causadas generalmente por fallas como los cortocircuitos en el sistema de servicios públicos de energía, que se evidencia como una bajada de tensión durante la falla seguido por una interrupción cuando el interruptor se abre para despejar tal falla. Por lo general, se requieren alrededor de 5 o 6 ciclos para el interruptor para operar, tiempo durante el cual se produce el hundimiento. Otro caso típico por los que se presentan estas perturbaciones es un fallo en uno de los alimentadores de una subestación o un fallo en algún lugar en el sistema de transmisión. En ambas situaciones, la culpa no es del usuario sino del sistema. A los hundimientos, a nivel industrial, se le puede hacer un análisis para determinar los valores esperados del SAG en el sistema de suministro; de

¹⁶ Norma Técnica Colombia NTC 5000. Pag. 19

manera que puedan diseñarse las instalaciones y programar los equipos necesarios para asegurar el funcionamiento óptimo de los procesos productivos.

Se deberán registrar los hundimientos ocurridos en una semana, de acuerdo a su duración y la tensión residual de hundimiento. Esta tensión residual de hundimiento, no es más que la magnitud de la máxima desviación del valor eficaz declarado (en cualquiera de las fases, para sistemas polifásicos) y la duración está determinada por el tiempo que dura la perturbación desde que la tensión baja del umbral (90% de la tensión declarada) hasta que vuelva por encima de este. En el aparato de medición se deberá establecer el umbral del hundimiento de tensión como el valor de tensión de histéresis, cuyo valor típico es igual al 2% de la tensión declarada, que previamente se debió registrar. Este valor de tensión de histéresis es de importancia en los sistemas polifásicos ya que los instrumentos de medición comienzan el registro del hundimiento cuando en cualquier canal baja la tensión eficaz por debajo del umbral de hundimiento y lo finaliza cuando la tensión eficaz de ese mismo o cualquier otro canal sube la tensión eficaz por encima del umbral de hundimiento más la tensión de histéresis. Generalmente se registra un valor denominado profundidad el cual es la diferencia entre el valor declarado y la tensión residual del hundimiento y usualmente se hace en porcentaje de la tensión declarada¹⁷.

- **Mediciones Clase A**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase A – Pag. 60.

- **Mediciones Clase B**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase B – Pag. 60).

Elevaciones (SWELLS)

Al igual que los hundimientos, se deberán registrar las elevaciones de tensión ocurridas en una semana de acuerdo con su duración y su tensión residual de elevación. La duración se mide desde que la tensión de cualquiera de las fases sube por encima de la tensión umbral de elevación hasta que en algunas de las fases (no necesariamente en la que comenzó la elevación) nuevamente baje por debajo de este umbral; mientras que la tensión residual de elevación es la máxima desviación en el valor de la tensión durante el tiempo que demore la elevación de tensión. Se deberá establecer el umbral del hundimiento de tensión como el valor de tensión declarada en el instrumento de medición y se registrará la magnitud de elevación, la cual es la diferencia entre el valor declarado y la tensión residual de

¹⁷ Norma Técnica Colombia NTC 5000.

elevación que usualmente se hace en porcentaje de la tensión declarada. Recordemos que el instrumento de medición comienza el registro de la elevación de tensión cuando en cualquier canal sube la tensión eficaz por encima del umbral de elevación y finaliza cuando en ese mismo o en cualquier otro canal sube la tensión eficaz por encima de la tensión umbral de elevación menos la tensión de histéresis, cuyo valor típico es del 2% de la tensión declarada.

- **Mediciones Clase A**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase A – Pag. 60.

- **Mediciones Clase B**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase B – Pag. 60.

Tensión de Referencia Deslizante

Para los sistemas de baja y media tensión, la tensión de referencia para la medición de las perturbaciones lentas es la tensión declarada al comercializador de energía eléctrica, mientras que para sistemas de transmisión se toma como referencia un valor que se le denomina *Tensión de Referencia Deslizante*. En los sistemas de transmisión, las tensiones en diferentes puntos del sistema pueden diferir de los valores declarados y nominales¹⁸, es por eso que se toma la tensión deslizante como valor de referencia para este tipo de sistemas. Este valor es calculado continuamente sobre un intervalo de tiempo determinado, con el fin de determinar el valor de tensión inmediatamente anterior a la ocurrencia de la perturbación lenta; si este tiempo deberá ser mayor a la duración a la perturbación. La tensión de referencia deslizante se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{RD}(n) = 0.9967 * V_{RD}(n - 1) + 0.0033xV_{\left(\frac{10}{12}\right)}rms$$

Donde;

$V_{RD}(n)$: Valor actual de tensión de referencia deslizante

$V_{RD}(n-1)$: Valor previo de la tensión de referencia deslizante

$V_{(10/12)}rms$: Valor eficaz más reciente medido sobre una ventana de 12 ciclos

¹⁸ Norma Técnica Colombia NTC 5000. Pag. 40

18.10 Límites de medición según IEC 61000-4-30 (Perturbaciones de larga duración)

Variaciones de Tensión de Estado Estable

Tal y como se mencionó en el capítulo 12 este tipo de variaciones pueden ser tanto de sobretensión como de caída de tensión y su duración debe ser mayor a un minuto. El umbral para este tipo de perturbaciones será de $\pm 10\%$ de la tensión declarada, es decir si sube la tensión en cualquier canal de medición por encima de 110% o si baja por debajo del 90% de la tensión declarada y si demora más de un minuto en volver al reponerse.

Se deberá registrar las variaciones de tensión de estado estable ocurridas durante una semana referenciándola tanto por su magnitud como su duración. Estas variaciones son ocasionadas principalmente por problemas de regulación o variaciones de cargas en el sistema de alimentación y en las subestaciones es común su corrección por medio de intercambio automático en los TAPS del transformador. Se puede percibir muy fácilmente en las luminarias, ya que están aumentan o disminuyen su luminiscencia; pero si no existen los sistemas de regulación adecuados podrían producir parada en la maquinas eléctrica (motores principalmente). Esto ocurre porque muchas de estas máquinas tienen un rango de utilización de tensión entre +6% a -13% de la tensión nominal.

- **Mediciones Clase A**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase A – Pag. 60.

- **Mediciones Clase B**

Como es una medida de tensión, el método para obtener la medición se expone en mediciones de Tensión Clase B – Pag. 60.

Desbalances de Tensión

Para la evaluación de los desbalances de tensión se deberá registrar por una semana en intervalos de 10 minutos, el porcentaje máximo de desbalance y las fases en donde este ocurre. Al finalizar el tiempo del análisis; para circuitos urbanos, el 99% de los valores registrados deberán estar por debajo de 2% de desbalance, en sistemas mayor a 69 kV y del 1.5% en sistemas menores o iguales a 69 kV; mientras que para circuitos rurales, el 95% de los valores registrados deberán estar por debajo de 2% de desbalance¹⁹.

¹⁹ Norma NTC 5000.

- **Mediciones Clase A**

El instrumento de medición tendrá que hacer la evaluación usando el método de componentes simétricos, donde el componente fundamental de la señal de entrada se mide durante un intervalo de 12 ciclos.

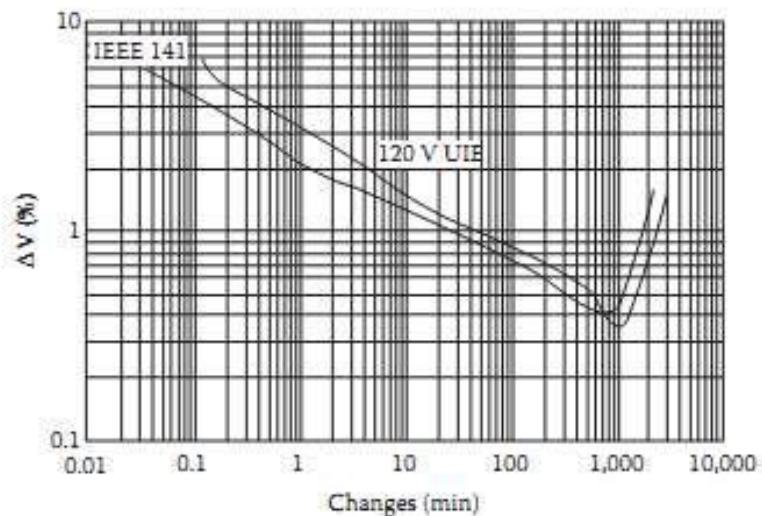
- **Mediciones Clase B**

El fabricante deberá especificar los algoritmos y los métodos utilizados para calcular el la variación de tensión de estado estable.

Parpadeo (FLICKER)

En la actualidad hay varios métodos para la medición de parpadeos o flickers, que van desde el uso de curvas estándar hasta medidores de parpadeos con altas tecnologías que utilizan filtros sintonizados conectados al sistema eléctrico para los niveles y cambios de la tensión. En los Estados Unidos no hay un estándar para la medición de parpadeo, si hay estándares IEEE que abordan el parpadeo con una curva que diferencia los parpadeos a diferentes tensiones. (110 a 220 V- ver grafica 2) basadas en normas europeas. Por otro lado los estándares de la IEC definen en la norma IEC 61000-4-15 "Técnicas de medición de Flicker", un acercamiento muy completo para realizar mediciones de parpadeos.

Grafica 2. Curvas de flickers



Fuente. IEEE Standards 141 and 519

En la gráfica anterior, Si las desviaciones repentinas de tensión ocurrieron con frecuencias específicas excedieron valores en las curvas de parpadeo, se dice que

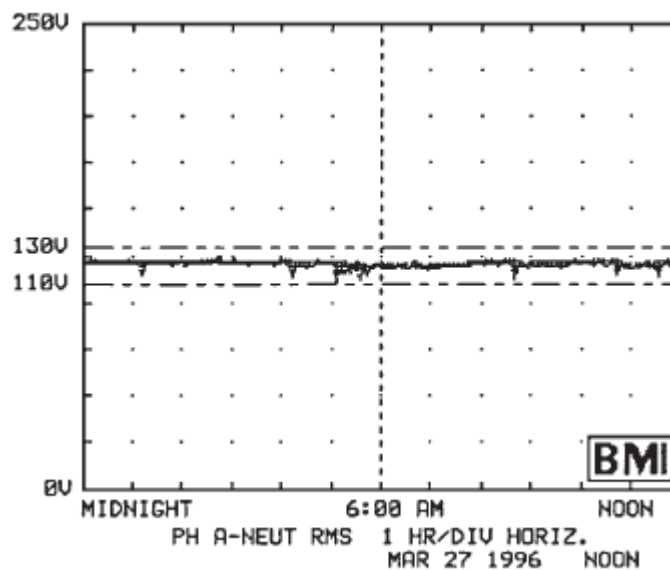
el sistema eléctrico está experimentado flickers y es necesario buscar soluciones al respecto.

Un ejemplo de lo explicado anteriormente es la gráfica 3 que muestra las variaciones de voltaje, donde las grandes desviaciones de tensión permisibles son hasta de 9,0 V rms.

$$\frac{\Delta V}{V} = \pm 8 \% \text{ (de la tensión nominal)}$$

Al comparar esto a la curva de parpadeo, se evidencia que el sistema de alimentación estaría experimentando flickers

Gráfica 3. Variaciones de voltaje RMS

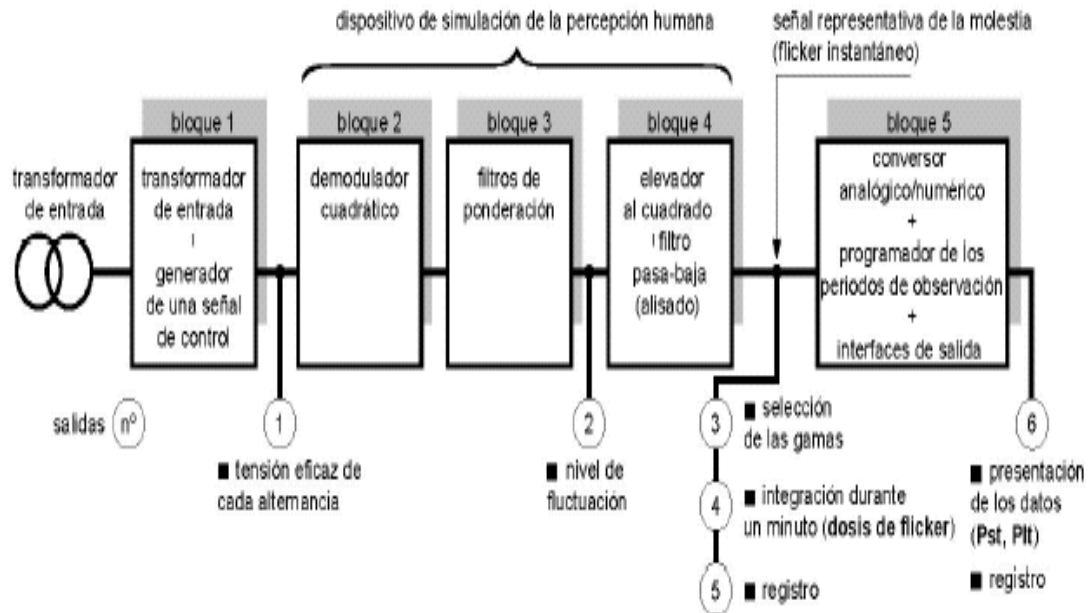


Fuente. Electrical power system quality- 2da edition

La ventaja de tal método es que es muy simple y los datos rms requeridos son bastante fáciles de adquirir. Sin embargo, el método sería la falta de precisión y la imposibilidad de obtener el contenido exacto de frecuencia del parpadeo.

El método establecido por la norma IEC 61000-4-15 "Técnicas de medición de Flicker" consta de cinco bloques, que se muestran en el siguiente diagrama:

Imagen 2. Diagrama funcional del flickérmetro



Fuente IEC 61000-4-15

Bloque 1: es un adaptador de voltaje de entrada que arroja valores de rms de voltaje a un nivel de referencia interna del equipo de medición. Esto permite que las mediciones de flickers se hagan en base a una relación de porcentaje, en lugar de depender del nivel de tensión de entrada. Es otras palabras el equipo genera una tensión de entrada por medio de un generados de señales de control.

Bloque 2: es simplemente un demodulador de cuadratura que separa las fluctuaciones que presenta la tensión (señal de modulación) de la señal principal de tensión (señal portadora), simulando así el comportamiento de la iluminación.

Bloque 3: se compone de varios filtros, que toman las fluctuaciones separadas por el bloque 2 y filtrar las frecuencias no deseadas producidas de acuerdo a la respuesta del ojo-cerebro de la iluminación. (Ver IEC 61000-4-15 para una descripción de las variables utilizadas anteriormente.)

Bloque 4 consta de un filtro de media cuadratura multiplicador y el deslizamiento. La señal de voltaje se eleva al cuadrado para simular la respuesta ojo-cerebro no

lineal, mientras que el deslizamiento de las. La salida de este bloque se considera el nivel de parpadeo instantáneo.²⁰

Bloque 5: “consta de un análisis estadístico del nivel de parpadeo instantáneo. La salida del bloque 4 se divide en clases adecuadas, creando así un histograma. Una función de densidad de probabilidad se crea sobre la base de cada clase, y desde este una función de distribución acumulativa puede ser formada. (Descripciones del diagrama de bloques)”²¹

El nivel de parpadeo se puede dividir en dos categorías, a corto plazo y largo plazo. Evaluación a corto plazo de severidad del parpadeo PST se basa en un período de observación de 10 min. Mientras que el método de largo plazo el sistema se supervisa por 24 horas. Ambos métodos son medidos desde el PCC del sistema, donde los niveles de PST superiores a 1,0 se consideran generalmente ser niveles que podrían resultar en clientes estar al tanto de las luces parpadeantes

- **Medida Clase A**

Para medidas clase A se aplica el estándar IEC 61000-4-15 “técnicas de medición de flickers”.

- **Medida Clase B**

No hay requisitos.

Interrupciones de larga duración (t > 1min)

Las interrupciones de larga duración se ocurren cuando el “valor eficaz de la tensión es inferior al 10% de la tensión declarada en todas las fases con una duración mayor a 1 min”²², igual situación que las perturbaciones de corta duración pero con tiempos superiores a 1 minuto.

- **Mediciones Clase A**

Al igual que en las interrupciones cortas, no hay ninguna consideración para este tipo de mediciones así que el fabricante del instrumento de medición deberá indicar el proceso que se utiliza para la medición, así como a su vez especificar la incertidumbre en el rango de magnitudes de influencia de cada fabricante.

²⁰ Electrical power system quality- 2da edition

²¹ Electrical power system quality- 2da edition

²² Norma Técnica Colombia NTC 5000. Pag. 19

- **Mediciones Clase B**

Como en las mediciones de Rendimiento Clase A, al no haber restricciones, el fabricante indicará procesos y especificará los rangos de incertidumbre de la medición.

Armónicos eléctricos

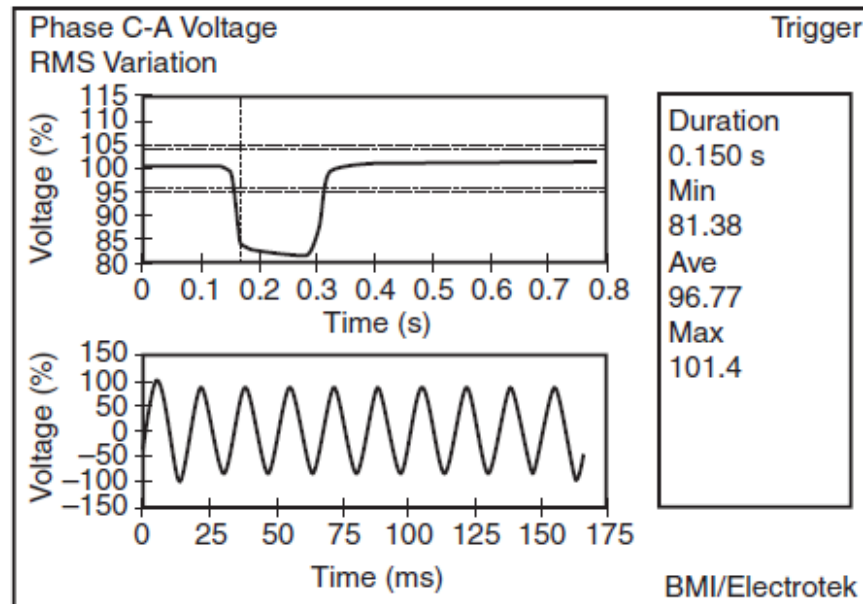
Los analizadores de perturbaciones de CEL, tienen por lo general limitaciones para realizar mediciones y monitoreo de armónicos eléctricos, ya que los resultados que arrojan no son del todo completos. Por ejemplo los cálculos de transformada de Fourier son en algunos casos muy básicos y no calcula armónicos de orden inferior. Por esta razón, se desarrollaron instrumentos para realizar mediciones y análisis espectral o análisis armónico; estos son algunas de los requerimientos especiales para catalogar un equipo como instrumento para medir armónicos.

- Medir voltaje y corriente de manera simultánea para la información de flujo de potencia armónica.
- Medir tanto en magnitud y ángulo de fase de las componentes armónicas individuales (también necesario para los cálculos de flujo de potencia).
- Sincronización y una velocidad de muestreo lo suficientemente rápido para obtener una medición precisa de los componentes armónicos de hasta al menos el armónico 37^a.
- Caracterizar niveles estadísticos de distorsión armónica (los niveles armónicos cambian con las condiciones de carga y las condiciones del sistema).

Sin embargo los instrumentos más recientes combinan las funciones de medición y monitoreo de perturbaciones cortas, largas y análisis de armónicos. Utilizando procesadores más rápidos y completos, donde además los datos obtenidos son analizados y complementados con otros programas tales como hojas de cálculos y procesadores gráficos.

Estos instrumentos recogen los datos en bruto y guarda los datos en el almacenamiento interno para descarga remota. Análisis fuera de línea se lleva a cabo con un potente software que puede producir una variedad de resultados estadísticos. El gráfico 4 muestra un resultado típico para una tensión sag. Se muestran tanto la variación de rms para los primeros 0,8 s y la forma de onda real para los primeros 175 ms.

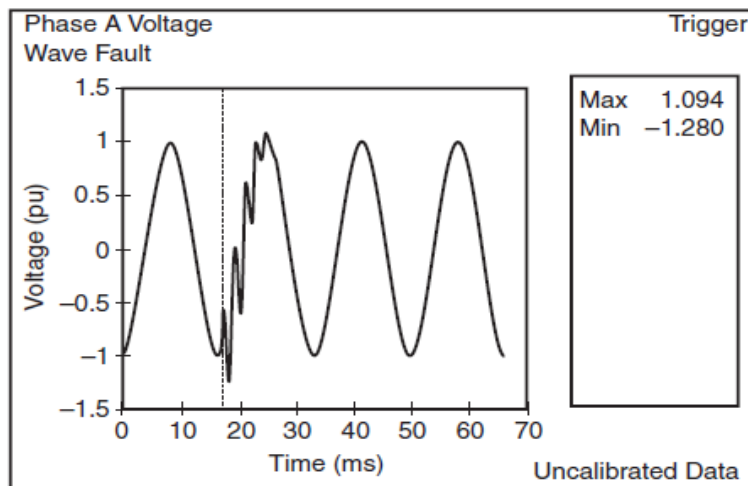
Grafica 4. Ejemplo de una tensión SAG.



Fuente. Electrical power system quality- 2da edition

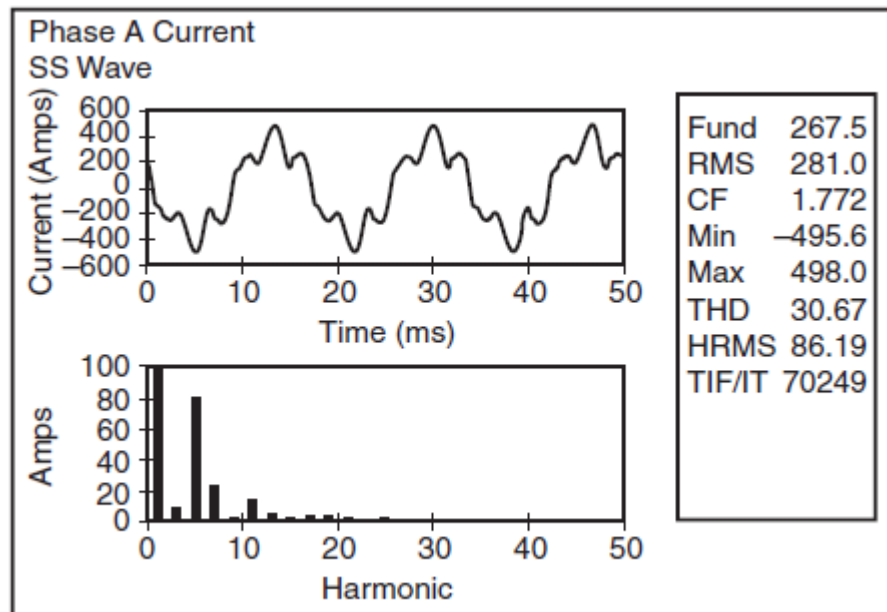
El gráfico 4 muestra una típica captura de defectos de una onda de condensador de conmutación. Y el gráfico 5 muestra la capacidad de informar los armónicos de una forma de onda distorsionada. Tanto la forma de onda real y el espectro armónico se pueden obtener.

Grafica 5. Ejemplo defectos de una onda de condensador de conmutación



Fuente. Electrical power system quality- 2da edition

Grafica 6. Ejemplo armónicos de una forma de onda distorsionada.



Fuente. Electrical power system quality- 2da edition

Lista de datos necesarios para realizar una medición y monitoreo armónicos. Esta lista tiene datos adicionales a los descritos en el capítulo 18.3, ya que el estudio de armónicos eléctricos es aún más complejo por su análisis y cantidad de conceptos, que perturbaciones como interrupciones y variaciones de tensión.

- Un diagrama unifilar del sistema que se va monitorear
- Capacidad de corto circuito y relación X/R del sistema que suministra la energía eléctrica en el PCC.
- KVA de todas las máquinas rotativas presentes en el sistema aguas abajo.
- Reactancia y resistencia de todos los cables, buses, reactores limitadores de corriente y reactores saturables.
- KVA, impedancias y conexiones de todos transformadores de potencia.
- Los KVAr y KV de todos los capacitores y reactores shunt.
- Los datos de placa, número de fases, pulsos y conexiones de los convertidores.
- La configuración específica del sistema y los procedimientos de operación.

- La tensión máximo esperado para el sistema que alimenta las cargas.
- Para instalaciones de hornos eléctricos de arco es necesario conocer las corrientes y voltajes del lado secundario y primario del transformador.
- Límites armónicos permitidos por la empresa que suministra la energía eléctrica en el PCC. (límite establecido por la norma IEEE-519 de 1992)

Armónicos de tensión y corriente

- **Medida Clase A**

Los límites para la medición de armónicos de tensión y corriente se definen en las normas las cuales deben ser cumplidas cada una para realizar una medición con excelentes resultados:

- IEC 61000-4-7:

Para realizar una medición de armónicos eléctricos, circuito de entrada debe ser apropiado para las corrientes que hay que analizar. Los parámetros de tensión de entrada apropiados varían desde 0,1 V a 10 V, con 0,1 V es el valor predeterminado y adecuado. El valor preciso de la tensión de entrada se calcula con los valores descritos en la Tabla 11.

Para el caso de corrientes DC, los valores de intensidad nominal r.m.s oscilan entre: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10, 20, 50, 100 A.. Cuando sea necesario para evaluar los armónicos de una orden superior a 15 y con un nominal corriente superior a 5 A con la máxima precisión, es aconsejable utilizar derivaciones externas o transductores de corriente combinados para dar un intervalo igual a la corriente nominal del equipo probado.

Nota: Para la medida clase A, se exige que la variación de la tensión de entrada no debe variar $\pm 0,15$ ²³

- IEC 61000-4-30:

La medida debería ser el r.m.s. valor de la magnitud de la corriente nominal durante un intervalo de tiempo de 10 ciclos para un sistema con frecuencia de 50 Hz o intervalo de tiempo de 12 ciclos para un sistema de potencia de 60 Hz. Cada intervalo de 10/12-cycle debe ser contiguo y no se solapan²⁴

²³ Norma IEC 61000-4-7

²⁴ Norma IEC 61000-4-30

Tabla 11. Requisitos de precisión para la medición de tensión y corriente.

Clase	Medida	Condiciones	Errores máximos
A	Tensión	$U_m \geq 1\% U_{nom}$ $U_m < 1\% U_{nom}$	5% U_m 0,05% U_m
	Corriente	$I_m \geq 3\% I_{nom}$ $I_m < 3\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,15\% I_{nom}$
	Potencia	$P_m > 150\text{ W}$ $P_m < 150\text{ W}$	$\pm 1,5\text{ W}$ $\pm 1\%$ de P_m
B	Tensión	$U_m \geq 3\% U_{nom}$ $U_m < 3\% U_{nom}$	5% U_m 0,15% U_m
	Corriente	$I_m \geq 10\% I_{nom}$ $I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,5\% I_{nom}$

Fuente. Norma IEC 61000-4-30

- **Medida Clase B**

El fabricante deberá especificar límites y umbrales de medición

Nota: El analizador con el cual se va a realizar el monitoreo debe ser un instrumento que no consuma una potencia superior a 3 VA.

Variaciones de tensión de larga duración (subtensiones y sobretensiones)

- **Medida Clase A**

El valor RMS de la tensión se mide en intervalos de tiempo de 10/12-cycle y los límites de evaluación de los parámetros de sobretensión y subtensión se calculan con ciertos porcentajes de la tensión nominal. La ecuación para determinar estos porcentajes está en la imagen 3.

Imagen 3. Parámetros de sobretensión y subtension

$$\text{(underdeviation assessment)} \left\{ \begin{array}{l} U_{\text{under}} = 0 \text{ if } U_{\text{r.m.s}} > U_{\text{din}} \\ \text{otherwise} \\ U_{\text{under}} = \left(\frac{U_{\text{din}} - U_{\text{r.m.s}}}{U_{\text{din}}} \right) * 100\% \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\text{(overdeviation assessment)} \left\{ \begin{array}{l} U_{\text{over}} = 0 \text{ if } U_{\text{r.m.s}} < U_{\text{din}} \\ \text{otherwise} \\ U_{\text{over}} = \left(\frac{U_{\text{r.m.s}} - U_{\text{din}}}{U_{\text{din}}} \right) * 100\% \end{array} \right. \quad (5)$$

Fuente. Norma IEC 61000-4-30

Nota:

En sistemas monofásicos, hay un único valor de evaluación de sobretensión y subtension para cada intervalo. En sistemas de trifásicos, hay tres valores para cada intervalo, y seis para sistemas de 4 hilos.

- **Medida Clase B**

Ninguno especificado.

RESUMEN LÍMITES Y TIEMPOS DE MEDICION

Tensión de alimentación

- ✓ **Intervalo de medición:** una semana mínima de evaluación.
- ✓ Medición de valores cada 10 min,
- ✓ El número o porcentaje de los valores durante el intervalo de medición que supera los s podrían ser contados.
- ✓ Uno o más 95% de los valores semanales, expresada en voltios, podría compararse con los valores bajos altos de a medición de la tensión
- ✓ El número de valores consecutivos que exceden los valores contractuales altas y / o bajas podría ser contado.

Flicker

- ✓ **Intervalo de medición:** una semana mínima de evaluación.
- ✓ Valores de 10 min (PST) y / o los valores de 2 h (PLT) podrían ser considerados.
- ✓ Una probabilidad valor semanal del 99% (o más) de probabilidades porcentuales valores semanales de Pst, o el 95% (u otro porcentaje) para Plt, podría compararse con los valores normales de flickers.

Sags y Swell

- ✓ **Intervalo de medición:** periodo de evaluación mínimo de un año.
- ✓ Definir tensión declarada del sistema.
- ✓ Nota Para los clientes de baja tensión, la tensión declarada suele ser igual a la tensión nominal del sistema de alimentación. Para los clientes media y alta tensión, la tensión declarada puede ser diferente de la tensión nominal.
- ✓ Las técnicas de intervalos de mediciones pueden ser ajustadas de acuerdo al sistema.
- ✓ Los umbrales de los swell pueden ser ajustados.
- ✓ Estas perturbaciones deben ser medidas en diferentes lugares.

Interrupciones lentas y rápidas

- ✓ **Intervalo de medición:** periodo de evaluación mínimo de un año.
- ✓ Los límites de para categorizar entre interrupciones de tensión "corto" y "largo" podrán ser establecidos en la medición. El recuento de las interrupciones de tensión, y la duración total de las "largas" interrupciones de tensión durante el intervalo de medición, pueden ser considerados.

Desequilibrio de tensión

- ✓ **Intervalo de medición:** una semana mínima de evaluación.
- ✓ Valores de 10 min y / o valores 2-h, podrán ser considerados.
- ✓ El número o por ciento, de los valores durante el intervalo de medición que supera los valores contractuales podrían ser contados;
- ✓ Los valores del peor caso pueden ser comparados con los valores normales de operación (el intervalo de medición puede ser diferente para esta posibilidad, por ejemplo, un año)
- ✓ Uno o más del 95% de los valores semanales pueden ser comparados.

Tensiones armónicas

- ✓ **Intervalo de medición:** una semana mínima de evaluación, para los valores de 10 min, y la evaluación diaria de 3 segundos (150/180-cycle) durante al menos una semana.
- ✓ Cada 3 segundos (150/180-cycle) intervalo de tiempo y / o valores de 10-min podrían ser considerados.

Interarmónicos

- ✓ **Intervalo de medición:** una semana mínima de evaluación, para los valores de 10 min, y la evaluación diaria de 3 segundos (150/180-cycle) durante al menos una semana.
- ✓ Cada 3 segundos (150/180-cycle) intervalo de tiempo y / o valores de 10-min podrían ser considerados.

Tabla 14. Resumen de límites de medición para cada perturbación

18.11 Seguridad en las mediciones de CEL

Las preocupaciones de seguridad y los procedimientos para realizar medidas de calidad de energía, independientemente de la finalidad y/u objetivos se explican y recomiendan en este capítulo.

- Precauciones de instalación

Durante la instalación de los instrumentos de monitoreo de la calidad de la energía, la seguridad del encargado de la medición y personas presentes en el lugar de la

misma deben ser garantizadas, en segundo nivel la integridad del sistema a supervisar y por último la del propio instrumento.

Sin importar el tipo de medición, objetivos, duración y demás descrito en este proyecto, las normas de seguridad impuestas por la empresa contratada para la medición y la que solicita el monitoreo siempre deben ser acogidas en su totalidad sin omisión alguna. Mientras que muchas instalaciones son de naturaleza temporal y por lo tanto no pueden utilizar las mismas prácticas como para instalaciones permanentes, los implementos de protección y medidas de seguridad nunca deben verse comprometidos.

A continuación se explica cada una de las mínimas medidas de seguridad que se deben tener en cuenta para los monitoreo de CEL

Los cables de conexiones del equipo de medición deben ser conectados sin obstaculizar las maniobras de emergencia que se puedan realizar en tableros o cajas de conexiones de protecciones eléctricas. Si los tableros de protecciones tienen que permanecer abiertas durante el monitoreo, se proporcionarán los medios adecuados para limitar el acceso a la zona e informar los operarios o encargados del sitio acerca del equipo y la medición que se estará realizando durante cierto tiempo.

Nota: Si es posible, los “caimanes” o ganchos de ajuste de las pinzas del equipo, pueden ir ajustadas a un objeto sólido para evitar la desconexión accidental.

- Parámetros del equipo (protecciones eléctricas del instrumento)

El fabricante del instrumento tiene que especificar el tamaño del fusible interno del equipo; esto baja para proteger el cable de prueba en contra de las condiciones de sobrecarga. Además, la capacidad de interrupción del fusible deberá ser equilibrada con la corriente de corte disponible en el punto de conexión. Es fundamental garantizar que la pinzas de tensión y corriente estén clasificadas para el voltaje máximo que puede estar presente y que se instala de manera mecánicamente segura.

- Instalación del instrumento de medición

El instrumento de medición tiene que ser colocado de forma segura para reducir al mínimo el riesgo de que el instrumento se mueva o aflojen las conexiones de las pinzas

Los instrumentos de medición no deben quedar expuestos a excesivo calor, humedad y polvo, y no solo dañar física e internamente el equipo sino además poner en peligro el proceso de recolección de datos. Tampoco puede estar

expuesto a campos electromagnéticos de baja y alta frecuencia, descarga estática, choques y las vibraciones

El instrumento de medición se colocará de manera que no represente un peligro para las personas que trabajan en la zona. Si es posible, el instrumento de medición no será colocado en un lugar donde pueda estar expuesta a mucha gente. Además, la ubicación no debería suponer un riesgo para la persona que instale el instrumento de medición. Hay muchos lugares que son demasiado estrechos, o de otras maneras restringidos físicamente, para permitir la conexión adecuada de los cables. En estas situaciones, se puede seleccionar una ubicación alternativa, pero nunca se debe forzar la instalación.

18.12 Cláusulas contractuales de las mediciones de calidad de energía eléctrica

Los términos y condiciones de un contrato en el que se acuerda una medición de calidad de energía por parte de un contratista y una empresa cliente e interesada de estudio, deberá tener términos y condiciones alcanzables por una parte y aceptables para la otra.²⁵

- El punto de partida en este tipo de contratos debe ser la especificación de considerar los valores límites, planificación de las normas pertinentes para CEL.
- Con el fin de garantizar que los resultados sean concluyentes y precisos, el contrato debe especificar que los resultados pueden variar por las siguientes condiciones: Interferencia en la medición por terceros, acciones laborales de la empresa (es decir, desconexión del equipo por emergencia en el lugar de medición), ausencia de energía por parte del OR.
- El contrato debe indicar el coste económico de las medidas a cargo de las partes interesadas. Esto puede depender de los resultados de la medición.
- Los términos de este contrato deberán especificar la duración del contrato, el tiempo de medición, los parámetros de calidad de energía a medir y la ubicación eléctrica del instrumento(s) de medición.
- El contrato también debe especificar para claridad de la conexión del equipo, que la instalación del instrumento depende el tipo de conexión y suministro del sistema a medir o por acuerdo mutuo de las partes.

²⁵ Norma IEC 61000-4-30

- Los términos del contrato deberán especificar el uso de los métodos de medición y la incertidumbre descrita en la parte de las normativas.
- El contrato debe especificar el método para la determinación de la indemnización, en caso de que una de las partes no cumplir con los términos del contrato.
- El contrato podrá contener disposiciones para la solución de controversias relativas a la interpretación de las mediciones.
- El contrato tendrá que abordar el tema de acceso a los datos y la confidencialidad.
- Los tiempos de medición son un término muy importante en el contrato de medición, muchos parámetros de Calidad de la Energía (tensión, armónicos, flicker) pueden mostrar variaciones entre días laborables y fines de semana. Para estos, el período de evaluación debe ser por un mínimo semana (o un número entero de semanas)


Para realizar una medición de calidad de energía donde sea necesario un contrato de servicio de este tipo, es necesario dejar en claro todas las condiciones y términos claros, para evitar y aclarar cualquier inconformidad de las partes implicadas.

18.13 Informe de calidad de energía eléctrica

Teniendo en cuenta lo descrito y explicado en el capítulo anterior referente a la metodología de medición de calidad de energía eléctrica; se realiza un paso a paso para realizar un informe detallado y completo de la medición realizada.

18.13.1 Ejemplo de informe

Anexo 2

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA 1970	Universidad de la Costa CUC	FECHA
	Medición de calidad energía eléctrica	Pag.1

INFORME DE CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA

Datos generales:

- Nombre del cliente
- Nombre de encargado(s) de la instalación
- Nombre de persona(s) que realiza el informe

Objetivo de la medición

Antes de realizar cualquier medición, la primera consideración a tener en cuenta deben ser los objetivos del monitoreo ya que a partir de estos se pueden determinar aspectos importantes para la medición.

- Selección de equipo de medición.
- Posibles causas de las distorsiones.
- Parámetros y límites de los umbrales.
- Métodos y necesidades de almacenamiento de los datos medidos.

Para ello, al momento de hacer el reconocimiento y toma de datos previos a la medición lo más indicado es realizar las siguientes preguntas:

- ¿Razón por la cual quieren realizar las mediciones de CEL?
- ¿Qué problemas se han presentado en el sistema eléctrico?
- ¿Qué equipos se han visto afectados? (De ser necesario)
- ¿Qué cargas están conectados en el sistema eléctrico?
- ¿Equipos críticos y/o sensibles?
- ¿el sistema eléctrico cuenta con un diagrama unifilar para alta, media y baja tensión?

Datos generales del sistema eléctrico donde se hace la instalación

Con el formato de inspección previa a la medición (anexo 1), se pueden registrar los datos necesarios para caracterizar el sistema eléctrico. Con esto se puede determinar el equipo pertinente para la medición.

A continuación se puede resume en un listado, la información más relevante a la hora de registrar los datos iniciales del sistema:

1. Lista de problemas que presenta el sistema (por ejemplo fallas inesperadas en el sistema de control, interrupciones cortas y largas de energía, pérdida de datos o información). En otras palabras razones por la cual se quiere monitorear el sistema eléctrico.
2. Características de los equipos que presentan los problemas (aplicación, funcionamiento, datos eléctricos). Los tiempos entre fallas y duración de las mismas.
3. Posibles fuentes generadoras de las perturbaciones (cargas no lineales como variadores, arrancadores, sistemas electrónicos de control y potencia).
4. Finalmente, datos eléctricos del sistema eléctrico tales como:
 - Placa de datos transformadores
 - Cargas inductivas y banco de condensadores
 - Cargas presentes en el sistema
 - Niveles de tensión del sistema
 - Diagramas unificables

Fecha y hora

Ingresar fecha, hora de inicio y hora final de la medición.

Ejemplo:

La presente medición se ejecutó en terreno los días 13, 14, 15, 16, 18 y 19 de julio de 2005. La elaboración del informe se desarrolló los días 21, 22 y 25 de julio de 2005.

Lugar de instalación del instrumento

Ingresar lugar de la empresa donde se instaló el equipo.

Ejemplo:

Cristalería Peldar, tablero de protecciones eléctrica maquina 1

En caso de ser el PCC (punto de conexión común) solamente ingresar nombre y dirección de la empresa.

Ejemplo:

Cristalería Peldar. Kilómetro 15 autopista calle 30 Soledad, Departamento del Atlántico.

Instrumentos(s) de medición:

Ingresar instrumento(s) utilizados en la medición:

Ejemplo

1. Analizador de redes CIRCUTOR – AR 5.
2. Cámara termografía FLIR T400
3. Pinza FLUKE

Documentación y normas aplicables en la medición

Ingresar las normas utilizadas para realizar esta medición e informe de los datos recopilados.

Ejemplo:

- ✓ Resolución CREG 070 de 1998 / Reglamento de distribución.
- ✓ Resolución CREG 047 de 2004 / Factor de potencia.

- ✓ Norma IEEE – 519 /92 / Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia.
- ✓ RETIE / Reglamento técnico de instalaciones eléctricas de Colombia.
- ✓ NTC 2050 / Código eléctrico colombiano.
- ✓ Resolución CREG 025/95 / Código de Redes.
- ✓ NTC 1340 (Por la cual se establecen los rangos máximos y mínimos permisibles de tensiones en barras).

Tiempos y límites de medición

Ingresar los límites ingresados en equipo de medición, teniendo en cuenta la hipótesis planteada en el formato de inspección previa sobre el tipo de perturbación que puede estar afectado el sistema.

Por ejemplo:

Posible perturbación generadora de los problemas en el sistema eléctrico medido:
Armónicos eléctricos.

- Intervalo de medición: una semana mínima de evaluación, para los valores de 10 min, y la evaluación diaria de 3 segundos (150/180-cycle) durante al menos una semana.
- Variación de tensión de entrada: no superior a ± 0.15 V.

Requisitos de precisión para la medición de tensión y corriente.

Clase	Medida	Condiciones	Errores máximos
A	Tensión	$U_m \geq 1\% U_{nom}$ $U_m < 1\% U_{nom}$	5% U_m 0,05% U_m
	Corriente	$I_m \geq 3\% I_{nom}$ $I_m < 3\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,15\% I_{nom}$
	Potencia	$P_m > 150$ W $P_m < 150$ W	$\pm 1,5$ W $\pm 1\%$ de P_m
B	Tensión	$U_m \geq 3\% U_{nom}$ $U_m < 3\% U_{nom}$	5% U_m 0,15% U_m
	Corriente	$I_m \geq 10\% I_{nom}$ $I_m < 10\% I_{nom}$	$\pm 5\% I_m$ $\pm 0,5\% I_{nom}$

Fuente. Norma IEC 61000-4-30

Análisis de las mediciones

Aunque este proyecto no profundiza en el tema del análisis y soluciones de los datos medidos, si se habla sobre normativas y análisis de datos basados en ellas. A continuación se presenta un ejemplo de un análisis corto:

Ejemplo:

Análisis de armónicos de tensión.

Se presenta un análisis de la distorsión armónica total y la distorsión armónica individual de tensión. Se comparan estos porcentajes de distorsión con los máximos exigidos por las recomendaciones aplicables.

- El máximo %THD de tensión registrado fue de 4,1%, y no excede el límite establecido por la norma IEEE-519 de 1992, del 5%. Este evento se registró el 16 de julio de 2005 a las 02:36. Sin embargo, se observa que el valor solo está un 18% por debajo del límite establecido por la norma anteriormente mencionada.
- Los tres armónicos que presentan mayor porcentaje de distorsión armónica individual de tensión (%Vn) son el tercero, quinto y séptimo, con valores de 2,6%, 2,4% y 1,8%, respectivamente; pero ninguno excede el límite establecido por la norma IEEE-519 de 1992, del 3%. Sin embargo, se observa que el %Vn del tercer armónico solo está un 13,3% por debajo del límite establecido por la misma norma

Valores de referencia de THD

Rango de Tensión	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica Total-THDv (%)
1 kV < Vn ≤ 69 kV	3,0	5,0
69 kV < Vn ≤ 161 kV	1,5	2,5
Vn ≥ 161 kV	1,0	1,5

.Fuente: Estándar 519 – 1992
Análisis de armónicos de corriente.

Se presenta un análisis de la distorsión armónica total y la distorsión armónica individual de corriente. Se comparan estos porcentajes de distorsión con los máximos exigidos por las recomendaciones aplicables.

- El máximo %TDD de corriente registrado fue de 24,6, y excede el límite establecido por la norma IEEE-519 de 1992, del 12%, para el rango $50 < 100$ de la relación $I_{sc}/I_L = 59$. Este evento se registró el 16 de julio de 2005 a las 00:52.
- El armónico que presenta mayor porcentaje de distorsión armónica individual de corriente (%In) es el quinto, con un valor de 23%, y excede el límite establecido por la norma IEEE-519 de 1992, del 10%, para el rango $50 < 100$ de la relación $I_{sc}/I_L = 59$.

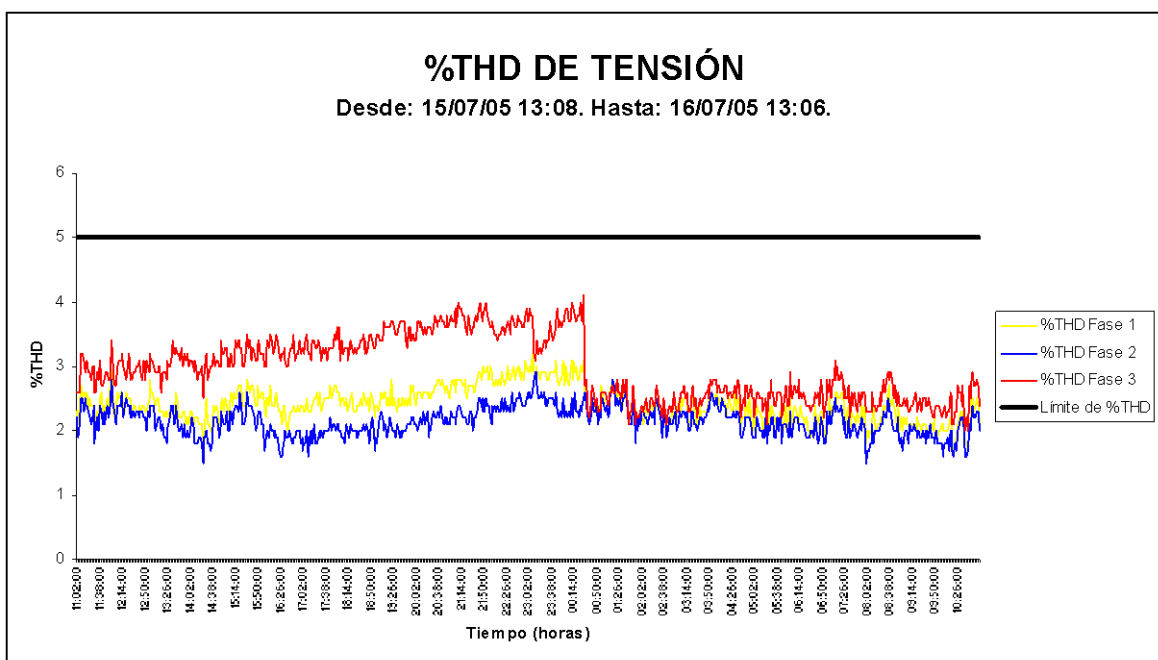
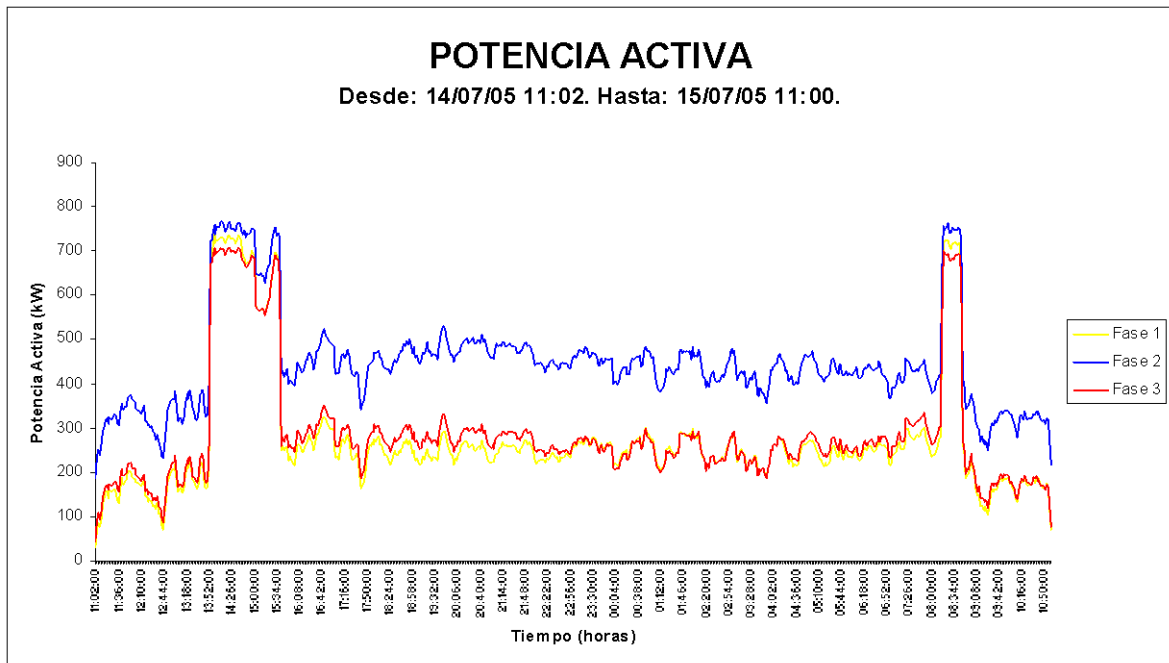
Límites de distorsión en corriente para sistemas de distribución 120V < Vn ≤ 69kV						
Relación I_{sc}/I_L	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	h ≥ 35	TDD
< 20*	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Límites de distorsión en corriente para sistemas de subtransmisión 69kV < Vn ≤ 161kV						
< 20*	2,0	1,00	0,75	0,30	0,15	2,5
20 < 50	3,5	1,75	1,25	0,50	0,25	4,0
50 < 100	5,0	2,25	2,00	0,75	0,35	6,0
100 < 1000	6,0	2,75	2,50	1,00	0,50	7,5
> 1000	7,5	3,50	3,00	1,25	0,70	10,0
Límites de distorsión en corriente para sistemas de transmisión (Vn > 161 kV), generación distribuida y cogeneración						
< 25*	1,00	0,50	0,38	0,15	0,10	1,50
25 < 50	2,00	1,00	0,75	0,75	0,15	2,50
≥ 50	3,00	1,50	1,15	1,15	0,22	3,75

Fuente. Estándar 519 -1992

Gráficas y tablas de la medición

Estas graficas por lo general son proporcionadas por el mismo equipo y aportan al informe detalles de la medición, visualización de las señales de onda por hora, día y semana de tensión, corriente, potencia, armónicos entre otras

Ejemplo:



Conclusiones

Ingresar las conclusiones de la medición (en este proyecto no se profundiza en análisis y eliminación de perturbaciones y distorsiones en la red).

- Se registraron desbalances de tensiones que exceden el límite del 5% establecido por la norma NTC-1340. La fase 3 estuvo por debajo del valor nominal de tensión en un -12,8% y fue la que más contribuyó al desbalance. A partir del momento en que se terminó la repotenciación del circuito Industrial Sur, por parte del Operador de Red, dicho desbalance en las tensiones se redujo y no volvió a superar el límite establecido.
- Se presentó un desbalance de corrientes máximo de 113%, siendo la fase 3 la que menos corriente registró, 6 A. Esto generó que la tensión en la fase 3, en ese mismo instante, aumentara a un valor de 7.790 V (por encima del valor nominal de 7621 V, pero que no excedió el límite establecido por la norma NTC-1340). Aún con cargas altas el desbalance en corriente supera el límite establecido en la norma NTC-1340. Esto puede estar causando el desbalance en las señales de tensión

Recomendaciones

Ingresar recomendaciones y sugerencias para eliminar las perturbaciones presentes en el sistema (en este proyecto no se profundiza en análisis y eliminación de perturbaciones y distorsiones en la red).

Ejemplo:

- Efectuar una revisión a los bancos de condensadores (subestación 3) existentes en la planta para determinar si la mala operación de alguno de ellos está causando penalización por consumo de reactiva y una medición de carga en cada uno de los transformadores de la planta, para verificar si los bancos de capacitores para corrección del factor de potencia son adecuados y suficientes.
- Realizar seguimiento a los armónicos que están presentes en los sistemas eléctricos de la planta, si continúan elevando su porcentaje de incidencia en las redes, buscar la fuente que genera armónicos y medir cual orden de armónico está afectando al sistema para corregirlo o instalar un filtro que elimine el orden de armónico presente.

Anexos

- Formato de inspección

Adjuntar junto con este archivo los datos recopilados en el formato de inspección previa a la medición.

- Diagrama unifilar

Adjunta también el diagrama unifilar que proporcionó el cliente (en caso de haberlo). Este diagrama es vital para el análisis y medición de CEL por la potencia de las cargas instaladas y los niveles de tensión presentes en el sistema.

- Registros fotográficos

Los registros fotográficos dan una excelente presentación al informe y además aporta una visualización gráfica del lugar de medición, conexión del equipo y el tipo de equipo utilizado.

Formatos de inspección

 <p>UNIVERSIDAD DE LA COSTA 1970</p>	<p>FORMATO DE INSPECCION TRANSFORMADORES UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC</p>
Fecha: _____	
Cliente o empresa: _____	
Persona a cargo: _____	
PLACA TRANSFORMADOR	
N° serie: _____	Conexión: _____
Fabricante: _____	Taps: _____
Potencia kVA _____	Posicion Taps _____
Tension alta: _____	
Tension baja: _____	
CONDICIONES OPERACIÓN	
Potencia: _____	Descripcion de lugar
T °C ambiente: _____	_____
T °C trafo: _____	_____
Observaciones	
Encargado de la visita: _____	



**FORMATO DE INSPECCION
MOTORES
UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC**

Fecha: _____

Cliente o empresa: _____

Persona a cargo: _____

PLACA MOTOR

N° serie: _____

Tension: _____

Fabricante: _____

Corriente: _____

Potencia: _____

Tipo aisl. _____

FRAME: _____

Frecuencia _____

RPM: _____

Variador o arrancador? [si] [no]

CONDICIONES OPERACIÓN

Potencia: _____

Corriente _____

T °C ambiente: _____

Tiempo operación _____

T °C motor: _____

Observaciones

Encargado de la visita: _____

19. CONCLUSIONES

La instalación de cargas no lineales en los sistemas eléctricos genera corrientes y tensiones con frecuencias y niveles diferentes a los diseñados para la correcta operación de la red eléctrica. Estas nuevas condiciones son llamadas perturbaciones y distorsiones de las ondas sinusoidales de los parámetros eléctricos. Por esta razón definir y establecer los límites y tiempos de medición para cada una de estas perturbaciones ya sean de tipo de larga o corta duración es primordial para establecer el instrumento de medición pertinente para determinados casos, es ahí donde las normas nacionales e internacionales juegan un papel vital en todo proceso de medición de calidad de energía eléctrica, puesto que ellas brindan directrices y normatividades necesarias para los equipos, pasos y metodologías de monitoreo y la recopilación de datos. 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 (de línea a neutro) o entre los conductores de fase (línea a 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 a medir puede tomarse de forma directa así como en el caso de los sistemas de baja tensión, a través de transductores de medida.

La metodología desarrollada en este proyecto está basada en las normas nacionales e internacionales vigentes relacionadas con la medición, monitoreo y recopilación de datos de las perturbaciones de calidad de energía eléctrica. La norma internacional IEEE 1159 proporciona algunas directrices y lineamientos para el planteamiento de la metodología propuesta en este proyecto teniendo en cuenta las características del sistema eléctrico dependiendo el lugar, condiciones, objetivos, tiempos y límites de medición. , mientras que los estándares y normativas tales como IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30, NTC 5000 (norma colombiana) y la IEEE 519 aporta los límites, métodos y tiempos de medición para cada perturbación.

El último paso de la metodología propuesta en este proyecto establece medidas de seguridad a la hora de realizar las mediciones de CEL y algunas sugerencias contractuales que proporcionan una orientación sobre los factores y términos que deben ser considerados de realizar un contrato para la medición de calidad de energía eléctrica.

El informe de CEL y los formatos de inspección previa fueron creados como guía para realizar un completo y exitoso monitoreo de calidad de energía eléctrica. En el informe de CEL se explica de manera detallada cada requerimiento y paso a paso explicado en la metodología de medición, y con el fin de hacerlo más de explícito se ejemplificó cada contenido del informe. Los formatos de inspección previa esta diseñados para recopilar todos los datos precisos para caracterizar

correctamente el sistema eléctrico a monitorear. Todos los datos motores, transformadores, interruptores y los diagramas unifilares son necesarios para establecer una ruta de medición y monitoreo, y posteriormente realizar un análisis acertado y concluyente que pueda dar soluciones y recomendaciones apropiadas.

20. BIBLIOGRAFÍA

1. Enríquez Harper, G. (2004). El abc de la calidad de la energía eléctrica / Gilberto Enríquez Harper. México: Limusa, c2004.
2. Guerrero Tapias, C., González Púa, C., & Juliao Fortich, D. (2004). Manual para el curso de Calidad de la Energía Eléctrica [CD-ROM] / Carlos Enrique Guerrero Tapias, David Henrique Juliao Fortich; dir. Christian González Púa. Barranquilla.
3. Coll Vilori, F., & González Púa, C. (2002). Índices de calidad de la energía eléctrica en la industria [cd-rom] / Fabián Enrique Coll Vilori; dir. Christian González Púa. Barranquilla
4. Berdugo Lora, J., Orozco Regino, J., & Núñez Suárez, A. (2002). Investigación sobre calidad de energía eléctrica, normalización y necesidad de reformas [cd-rom] / Jhon Jairo Berdugo Lora, Jeinny Aura Orozco Regino; dir. Ariel Núñez Suárez. Barranquilla.
5. Suárez, J., di Mauro, G., Anaut, D., di Mauro, R., & Strack, J. L. (2013). Análisis de la calidad de la energía en un centro de cómputos. (Spanish). INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería, 21(1), 30-40
6. <http://www.creg.gov.co/>
7. Blanco Wilches, M., & Cárdenas Guerra, C. (2008). CPE Metodología de análisis de la calidad de la potencia eléctrica dentro del esquema regulatorio colombiano [recurso electrónico] / María Angélica Blanco Wilches; dir. Carlos Cárdenas Guerra. Barranquilla : Universidad del Norte, 2008
8. Guerra Sánchez, K., Rivera Feria, D., & Zurek Varela, L. (2008). Diagnóstico de la calidad de la potencia eléctrica suministrada en los puntos de conexión común (PCC) para cargas de la Costa Atlántica del sector industrial y comercial [recurso electrónico] / Karina Isabel Guerra Sánchez, Dawy Rivera Feria; dir. Leandro Zurek Varela. Barranquilla : Universidad del Norte, 2008
9. Torres Sánchez, H., Acero, G., Flechas V., J., Saucedo B., J., Quintana, C., Torres, H., & ... Saucedo B., J. (n.d). Energía eléctrica un producto con calidad CEL / Horacio Torres [et al.]. Bogotá, Col. : Icontec, [2003].

10. Román Lumbreras, M. (2006). Filtros activos de potencia para la compensación instantánea de armónicos y energía reactiva
11. Macri, M. G., & Benedetti, M. M. (2012). Análisis multirresolución del motor trifásico de inducción sometido a huecos de tensión. (Spanish). INGENIARE - Revista Chilena De Ingeniería, 20(1), 66-78.
12. Percy R., V., Vladimir, S., Julio R., G., & Marco A. de, A. (2008). Consideraciones sobre el efecto de los armónicos de tiempo en motores trifásicos asincrónicos. (Spanish). Revista De Ingeniería Energetica, 29(1), 47-52.
13. Arjona Escorcía, S., Sabat Tarud, J., & Molina, N. (2005). Solución para armónicos particularmente a los efectos que genera la instalación de variadores de velocidad en las líneas de procesos industriales [CD-ROM] / Shirley Dayana Arjona Escorcía, Jairo Jesús Sabat Tarud ; dir. Nataly Molina. Barranquilla.
14. Marrero, S., González, I., & Legrá, A. A. (2007). Análisis de la compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados con armónicos. (Spanish). Revista De Ingeniería Energetica, 28(2), 8-14.
15. Martínez Morato, D. (2012). Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL.
16. Meléndez Frigola, J., Herraiz Jaramillo, S., & Colomer Llinàs, J. (2010). Calidad de onda en el servicio eléctrico: causas y efectos de las perturbaciones que afectan la calidad de la electricidad
17. González Ruiz, F. (2010). Ahorro energético en motores de inducción trifásicos: análisis de diferentes variables de influencia
18. Estudio sobre diagnóstico de fallos en motores PMSM basado en el análisis de armónicos de corriente y vibraciones' 2012, OAlster, EBSCOhost, viewed 20 August 2013.
19. Romero Rueda, I., de Armas Teyra, M., Pérez Mena, B. M., & Guerrero Rojas, Y. (2012). Evaluación energética de motores asincrónicos ante armónicos y desbalance de voltaje en una empresa minera. (Spanish). Minería Y Geología, 28(1), 49-61.
20. Jornet Alvarez, A 2005, 'Contribución al estudio de las ondas de campo armónico y las pérdidas adicionales que se originan en los motores eléctricos de inducción asíncronos alimentados con convertidor de

frecuencia en modulación del ancho de los impulsos', TDX, EBSCOhost, viewed 20 August 2013.

21. Blanco Wilches, M, & Cárdenas Guerra, C 2008, CPE Metodología De Análisis De La Calidad De La Potencia Eléctrica Dentro Del Esquema Regulatorio Colombiano [Recurso Electrónico] / María Angélica Blanco Wilches ; Dir., Carlos Cárdenas Guerra, n.p.: Barranquilla : Universidad del Norte, 2008., Catálogo SIBILA.
22. Solano, J, Petit Suárez, J, Plata, G, & Núñez, V 2012, 'Caracterización, identificación y localización de huecos de tensión: revisión del estado del arte. (Spanish)', Ingeniería Y Ciencia, 8, 15, pp. 191-220, Academic Search Complete,
23. Moreno-Sánchez, R, Núñez-Gutiérrez, C, Visairo-Cruz, N, & de Jesús Lira-Pérez, J 2012, 'Monitorización de anomalías transitorias eléctricas. Detección y aislamiento de impulsos y muescas eléctricas. (Spanish)', DYNA - Ingeniería E Industria, 87, 4, pp. 424-430, Fuente Académica Premier.
24. Calidad De La Potencia Eléctrica (CPE) : Definiciones Y Términos Fundamentales NTC 5000 2002-09-08 / ICONTEC 2002, n.p.: Bogotá : ICONTEC, c2002..
25. Clarkson, P, & Wright, P 2010, 'Sensitivity analysis of flickermeter implementations to waveforms for testing to the requirements of IEC 61000-4-15', IET Science, Measurement & Technology, 4, 3, pp. 125-135, Academic Search Complete.
26. IEEE std 519-1992, IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems.
27. IEEE std 1159-1995, IEEE recommended practice for monitoring electrical power systems
28. IEC 61000 Parte 4-30, COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA (CEM), métodos de medición de los parámetros de calidad de energía eléctrica.

21. ANEXOS

- 1. Carta de entrega y autorización del autor para la consulta, reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado.**
- 2. Anexo Formulario de la descripción de la tesis de grado**
- 3. Material anexo**
- 4. Formatos de inspección previa.**
- 5. Formato informe de CEL**

Anexo 1 Carta de entrega y autorización del autor para la consulta, reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo de tesis y trabajos de grado

Barranquilla, 22 de Enero de 2015

Trabajo de grado

Yo **Oscar Mauricio Cervantes Roa**, identificado con C.C. No.-**1'015.401.786**, actuando en nombre propio y como autores de la tesis y/o trabajo de grado titulado "Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa - CUC" aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de Ingeniero Eléctrico; hacemos entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizamos a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Los AUTORES - ESTUDIANTES, manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizaron sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción

por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, LOS ESTUDIANTES - AUTORES, asumirán toda la responsabilidad, y saldrán en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los XX días del mes de Enero de Dos Mil Quince 2015.

AUTOR – ESTUDIANTE:

FIRMA

Anexo 2 Formulario de la descripción de la tesis de grado

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

Metodología de medición de calidad de energía eléctrica en base a normas nacionales e internacionales para la Universidad de la Costa – CUC.

AUTOR AUTORES

Apellidos completos	Nombres completos
Cervantes Roa	Oscar Mauricio

DIRECTOR (ES)

Apellidos completos	Nombres completos
Silva Ortega	Jorge Iván

JURADO (S)

Apellidos completos	Nombres completos
Balbis Morejon	Milen
Ospino Castro	Adalberto

ASESOR (ES) O CODIRECTOR

Apellidos completos	Nombres completos
Hernández Herrera	Hernán

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELÉCTRICO

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA: Pregrado

NOMBRE DEL PROGRAMA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Anexo 3 Material anexo

CIUDAD: Barranquilla

AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO: 2015

NÚMERO DE PÁGINAS: 93

TIPO DE ILUSTRACIONES:

Ilustraciones Planos

Láminas Mapas

Retratos Fotografías

Tablas, gráficos y diagramas

MATERIAL ANEXO (Vídeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ minutos.

Número de casetes de vídeo: _____ Formato: VHS ____ Beta Max ____ $\frac{3}{4}$ ____
Beta Cam ____

Mini DV ____ DV Cam ____ DVC Pro ____ Vídeo 8 ____ Hi 8 ____

Otro. ¿Cuál? _____

Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____

Número de casetes de audio: _____

Número de archivos dentro del DVD (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado):

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientará).

ESPAÑOL

Analizador de redes eléctricas

Monitoreo

Perturbaciones eléctricas

Recopilación de datos

INGLES

Data collection

Electrical disturbances

Power analyzer quality

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS:(Máximo 250 palabras-1530 caracteres):

En este proyecto se describen las perturbaciones que generan distorsión a las señales de potencia eléctrica y que son tenidas en cuenta en el estudio y monitoreo de Calidad de Energía Eléctrica CEL; por ello se propone una metodología y procedimiento para la medición y registro de estos parámetros obtenidos por un analizador de redes, relacionando todo el proceso con la normativa y regulación nacional e internacional vigente en Colombia. Esta metodología y procedimiento se plantea para ser utilizada por los centros de

investigación y desarrollo de la Universidad de la Costa – CUC que requieran realizar este tipo de mediciones.

Por otro lado, este proyecto también presentará un formato de inspección práctico basado en la metodología presentada para que los estudiantes de ingeniería eléctrica y docentes de la Universidad desarrollen destrezas y experticia en el manejo del monitoreo y medición de CEL, teniendo presente que la universidad puede desarrollar estas actividades con el analizador de redes con el que cuenta.

Abstract

In this project are explain perturbations the distortion at generating electrical output signals and are considered in the electrical power systems quality study and monitoring; As well as proposes a methodology for the measurement and registers of these parameters obtained for power analyzer quality, entire process relating to the national/international rules and regulations existing in Colombia. This methodology it is proposed to be used by Universidad de la Costa CUC research and development center, required to perform this type of measurement.

On the other hand, this project will also present a series of practical guides for electrical engineering students and teachers the university develops skill and expertise in the handing power analyzer quality available. Thus at the time of make the methodology of measuring and recording parameters the electrical power quality, their development is much simpler and clear.