



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TEMA:

**Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de
lubricantes**

AUTOR:

Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA**

TUTOR:

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

9 de marzo del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por, como requerimiento para la obtención de Título de **Ingeniería en Eléctrico- Mecánica**

TUTOR

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE LA CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Luis Orlando

Guayaquil, a los 9 días del mes de marzo del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FÁBRICA DE LUBRICANTES** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico–Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecutivamente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 9 días del mes de marzo del año 2021

EL AUTOR

Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

AUTORIZACIÓN

Yo, **MUÑOZ ALVARADO, DANIEL GEOVANNY**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del trabajo de titulación, **Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 días del mes de marzo del año 2021

EL AUTOR

Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny

REPORTE URKUND

URKUND Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: [Muñoz Daniel.docx](#) (D93152685)
Presentado: 2021-01-21 15:43 (-05:00)
Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com
Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje: TESIS MUÑOZ DANIEL [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de estas 37 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19500/1/Estudio%20de%20desbalance%20de%20tensi...>
- https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10944/4/BL00CIM_PROVEC...
- <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16451/1/Arcliniega%20Vera%2...>
- <https://docplayer.es/86274709-Universidad-tecnica-dei-noite.html>
- http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0303_EO.pdf
- <https://docplayer.es/29617838-Universidad-catolica-de-cuenca.html>

0 Advertencias. Reiniciar. Exportar. Compartir

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO - MECÁNICA
CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL
TEMA: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FABRICA DE LUBRICANTES
AUTOR: MUÑOZ ALVARADO, DANIEL GEOVANNY
Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO- MECÁNICA
TUTOR: ING. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI MGS.
Guayaquil, Ecuador
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería en Eléctrico Mecánica titulado: **“Análisis de la Calidad de Energía Eléctrica en Fábrica de Lubricantes”** del estudiante **Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny** el análisis de coincidencia indica el 1% de coincidencias.

Atentamente



Ing. Orlando Philco A. M.Sc.
Revisor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme fuerzas y entendimiento para poder haber terminado esta etapa en mis metas académicas personales.

Agradezco a mis padres por darme el amor y la paciencia que me tuvieron en el proceso de mis estudios. El amor y su dedicación en la formación es lo que se refleja en la vida de un hijo. Mis padres han sido los promotores de mis sueños, su confianza como agua en el desierto y les agradezco por ese gran apoyo en este tiempo.

Agradezco a mis hermanos por llenarme de alegría día a día y darme muchos consejos.

Agradezco a mi esposa, ya que su amor y confianza en mí me han dado fuerzas donde no ha habido y me ha empujado a luchar por alcanzar las metas que nos hemos propuesto.

No ha sido fácil el camino, pero hasta ahora Dios me ha ayudado y mis seres queridos han hecho que lo complicado no se haya notado. El desarrollo de esta tesis no lo puedo catalogar como fácil pero puedo asegurar que en este tiempo he disfrutado de cada momento, investigación y procesos que se han realizado dentro de ésta.

Agradezco a los docentes de la universidad Católica Santiago de Guayaquil por brindar sus conocimientos para así tener una buena preparación en esta gran profesión y de manera especial agradezco a mi tutor de tesis por haberme guiado en este proyecto de titulación.

Me siento orgulloso por esta gran meta que he cumplido en mi vida.

Gracias Jehová Dios por haberme regalado vida y tu paz todo este tiempo para cumplir este gran desafío

El Autor

DEDICATORIA

Esta meta se la dedico a Dios ya que gracias a Él pude lograr todo lo que me propuse, Él supo guiarme por el buen camino y darme fuerzas para no desmayar en medio de cualquier problema.

A mi esposa y a mis hijos, esperando ser ejemplo para ellos de que no hay que rendirse aunque parezca que ya no hay solución. Deseando de todo corazón transmitir siempre que la perseverancia es la virtud a la que hay que abrazar cuando parezca que está todo perdido, y la fe en nuestro creador lo puede todo.

A mis padres, por brindarme toda su confianza y paciencia, por las sonrisas que sacaron en mí a pesar de adversidades y sobre todo por siempre estar a mi lado cuando más los necesito; a mis hermanos por su ayuda dándome consejos, ánimo y cariño.

Cada momento que he vivido en estos años ha sido maravilloso, cada oportunidad de corregir un error y buscar la manera de empezar de nuevo fue de mucho aprendizaje para mí.

Gracias a todas las personas que creyeron en mí y me dieron las fuerzas necesarias para cumplir esta gran meta como es la culminación del tercer nivel de estudios.

El autor



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN
EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO**

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN**

**M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAÚL
OPONENTE**

ÍNDICE GENERAL

REPORTE URKUND	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
INDICE DE TABLAS	XV
RESUMEN	XVII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4. Objetivo General	4
1.5 Objetivos Específicos	4
1.6 Metodología	4
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA	5
2.1 Concepto de energía.....	5
2.2 Concepto de calidad	5
2.3 Fundamentos de calidad de energía eléctrica	6
2.4 Valoración de calidad de energía	10
2.5 Conexión a tierra eléctrica.....	12
2.5.1 Sistemas conectados a tierra.....	13
2.6 Estándares y Normas.....	15

2.6.1 Aspectos de la calidad según ARCONEL	15
2.6.2 Calidad del producto.....	15
2.6.3 Normativa utilizada	16
2.7 Principales problemas de calidad de energía	17
2.7.1 Distorsión armónica	17
2.7.1.1 Causas de la Distorsión armónica	18
2.7.1.2 Mediciones	19
2.7.1.3 Límites	20
2.7.1.4 Armónicos de tensión.....	21
2.7.1.5 THDv.....	22
2.7.1.6 Armónicos de corriente	22
2.7.1.7 Di (Distorsión armónica individual de corriente)	24
2.8 Desbalance en tension y corriente eléctrica	24
2.8.1 Desbalance de tensión	25
2.8.2 Limites admisibles para el desbalance en la red.....	26
2.8.3 Efectos y consecuencias del desbalance de tensiones.....	26
2.8.3.1 Efectos en motores de inducción	27
2.8.3.2 Efecto en transformadores	31
2.9 Perturbaciones	32
2.9.1 Flicker (Parpadeo)	32
2.9.2 Medición	34
2.9.3 Problemas generales de los flickers	35

2.9.4 Factor de potencia	35
2.9.4.1 Corrección del factor de potencia	37
2.9.4.2 Mejoras del factor de potencia en motores	38
2.9.4.3 Mejoramiento de FP aplicando capacitores	40
2.9.4.4 Tipos de compensación en el factor de potencia	41
2.9.5 Frecuencia	42
2.9.5.1 Variaciones de frecuencia	42
CAPÍTULO 3: LEVANTAMIENTO DE DATOS EN FÁBRICA DE LUBRICANTES	44
3.1 Descripción de la planta	44
3.2 Procesos de los productos:	44
3.3 Descripción de la Instalación	46
3.3.1 Área de almacenamiento de materias primas	46
3.4 Levantamiento de datos	47
3.4.1 Conexión del analizador de red eléctrica	48
3.5 Gráficos de los disturbios eléctricos en la planta	49
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA	58
4.1 Planta de Lubricantes	58
4.2 Análisis de cargabilidad:	60
4.3 Análisis de factor de potencia:	60
4.4 Análisis de tensiones:	60
4.5 Análisis de armónicos:	61

4.6 Estudio de la planta de tambores	63
4.7 Análisis de cargabilidad.....	65
4.8 Análisis de factor de potencia	65
4.9 Análisis de tensiones	65
4.10 Análisis de armónicos	66
4.11 Análisis de posible aumento de carga de la planta de plástico.	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO 1: Equipo analizador de red eléctrica	75

1.1 ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2:

Figura 2. 1 Distorsión de la señal eléctrica desde su generación.....	7
Figura 2. 2 Representación de mediciones eléctricas en la industria	8
Figura 2. 3 Conexión a puesta de tierra	13
Figura 2. 4 Tipos de puesta a tierra	14
Figura 2. 5 Los armónicos y sus componentes	19
Figura 2. 6 Redimensionamiento para motores sobre el desbalance según el Estándar Nema MG1	27
Figura 2. 7 Características de velocidad de par de una máquina.....	29
Figura 2. 8 Equipos de mediciones para las fallas de motores trifásicos por mala calidad de energía eléctrica.	30
Figura 2. 9 Resumen de los disturbios eléctricos.....	32
Figura 2. 10 Desarrollo a lo largo del tiempo del parpadeo a corto plazo (PST)	33
Figura 2. 11 Triángulo de potencia y sus definiciones	36
Figura 2. 12 Desplazamiento o desfase de corriente y voltaje según la carga	38
Figura 2. 13 Instalación de capacitores en motor inducción trifásico	39
Figura 2. 14 Compensación individual de cada carga.....	41
Figura 2. 15 compensación en grupo de cargas	41
Figura 2. 16 Compensación central de cargas.....	42

CAPÍTULO 3:

Figura 3. 1 Diversas presentaciones de lubricantes.....	44
Figura 3. 2 diversas presentaciones de grasa para la industria.	45

Figura 3. 3 Analizador de red eléctrica Fluke 1730	48
Figura 3. 4 Conexión trifásica del Fluke 1730	48
Figura 3. 5 Tensiones por fase (A – B – C).....	50
Figura 3. 6 Corrientes por fase (A – B – C)	50
Figura 3. 7 Potencia activa 3Ø (kW)	51
Figura 3. 8 Potencia reactiva 3Ø (Kvar).....	51
Figura 3. 9 Potencia aparente (KVA)	52
Figura 3. 10 Factor de potencia	52
Figura 3. 11 THD tensiones (%)	52
Figura 3. 12 THD Corrientes (%)	53
Figura 3. 13 Tensiones por fase (A – B – C).....	54
Figura 3. 14 Corriente por fase (A – B – C).....	54
Figura 3. 15 Potencia activa 3Ø (kW)	55
Figura 3. 16 Potencia reactiva 3Ø (kvar)	55
Figura 3. 17 Potencia aparente 3Ø (kVA)	55
Figura 3. 18 Figura 3. 8 Factor de potencia	56
Figura 3. 19 THD Tensiones (%)	56
Figura 3. 20 THD Corrientes (%)	57

1.2 INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2:

Tabla 2. 1 Orden de Armónicos y THD	21
Tabla 2. 2 tabla referencial de armónicos de tensión	22
Tabla 2. 3 Cálculo de corriente de cortocircuito	23
Tabla 2. 4 Corriente de distorsión armónica total.....	23
Tabla 2. 5 Valores referenciales de voltaje	25
Tabla 2. 6 Valores referenciales de severidad	34
Tabla 2. 7 Datos de la variación de frecuencia	42

CAPÍTULO 3:

Tabla 3. 1 Materias primas por proceso de producción	46
--	----

CAPÍTULO 4:

Tabla 4. 1 Planta de lubricantes y plásticos: tensiones y corrientes.....	58
Tabla 4. 2 Datos obtenidos de potencia activa y reactiva.	58
Tabla 4. 3 Datos de los niveles de potencia aparente y factor de potencia.	58
Tabla 4. 4 Datos de los niveles de cargabilidad del banco de transformadores	59
Tabla 4. 5 Datos de los niveles de tensiones y corriente	59
Tabla 4. 6 Datos de niveles de potencia activa y reactiva.....	59
Tabla 4. 7 Datos de potencia de aparente y factor de potencia.	59
Tabla 4. 8 Datos de cargabilidad del transformador.....	60
Tabla 4. 9 Valores máximos y mínimos de tensión respecto al nominal en por ciento.....	60
Tabla 4. 10 Resultados de la planta de lubricantes y plásticos: armónicos de tensión y corriente	62

Tabla 4. 11 Datos de armónicos de tensión y corriente	62
Tabla 4. 12 Datos de la planta de tambores: Tensiones y de corriente....	63
Tabla 4. 13 Datos de potencia activa y reactiva.....	63
Tabla 4. 14 Datos de potencia aparente y factor de potencia	63
Tabla 4. 15 Datos de cargabilidad del banco de transformadores	64
Tabla 4. 16 Datos de tensiones y corrientes	64
Tabla 4. 17 Datos de potencia activa y reactiva.....	64
Tabla 4. 18 Datos de potencia aparente y factor de potencia	64
Tabla 4. 19 Datos de cargabilidad del banco de transformadores	65
Tabla 4. 20 Valores máximos y mínimos de tensión respecto al nominal, en por ciento.....	65
Tabla 4. 21 Datos de distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente	66
Tabla 4. 22 Distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente	66
Tabla 4. 23 Datos de los equipos en desuso	67
Tabla 4. 24 Datos de potencia registrada para los valores medios y máximos	67

1.3 RESUMEN

Se presenta el trabajo de titulación que tiene como objetivo principal evaluar corrientes, tensiones, distorsión armónica y factor de potencia en bancos de transformadores de una fábrica de lubricantes en la ciudad de Guayaquil. Los aspectos mencionados forman parte de disturbios eléctricos que afectan la calidad de la energía eléctrica en los procesos de fabricación de lubricantes. Como metodología se emplea; el método descriptivo que forma un marco teórico sobre la calidad de la energía eléctrica, sus causas y efectos en máquinas eléctricas como motores, generadores etc. Se emplea el método empírico por procedimientos de obtención de datos y manejo de equipo de medición. Se emplea el método analítico por el diagnóstico y evaluación de datos con niveles y estándares. El resultado o propuesta de este trabajo de titulación logrará niveles de tensión, corriente y potencias de la energía eléctrica con proporciones de manejo de la demanda y plantear la implementación de medidas que beneficien a la empresa de lubricantes en cuanto al uso de la energía eléctrica.

PALABRAS CLAVES: Calidad de energía eléctrica, Factor de Potencia, THD, Consumo eléctrico, Banco de Transformadores, Distorsión Armónica.

ABSTRACT

The title work is presented, the main objective of which is to evaluate currents, voltages, harmonic distortion and power factor in transformer banks of a lubricant manufacturer in the city of Guayaquil. The mentioned aspects are part of electrical disturbances that affect the quality of electrical energy in lubricant manufacturing processes. As methodology is used; the descriptive method that forms a theoretical framework about the quality of electrical energy, its causes and effects in electrical machines such as motors, generators, etc. The empirical method is used by procedures for obtaining data and handling measurement equipment. The analytical method is used for the diagnosis and evaluation of data with levels and standards. The result or proposal of this degree work will achieve levels of voltage, current and power of electrical energy with proportions of demand management and propose the implementation of measures that benefit the lubricant company in terms of the use of electrical energy.

KEY WORDS: Quality of Electrical Energy, Power Factor, THD, Electrical Consumption. Transformer Bench, Harmonic Distortion.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.4 Introducción

El uso racional de energía eléctrica tiene como fin obtener el máximo rendimiento de la energía consumida y de las instalaciones necesarias para su generación, transporte, distribución y utilización; garantizando un funcionamiento sin interferencias de todos los receptores conectados a la red. Un aspecto para considerar es el de la calidad de la energía eléctrica, y en esto los disturbios y/o distorsión en las redes de alimentación producidos por algunos equipos con componentes no lineales. Dichas perturbaciones ocasionan una pérdida de rendimiento en la mayoría de cargas convencionales, sobrecargan innecesariamente las redes eléctricas y ponen en peligro el buen funcionamiento de una serie de equipos electrónicos, informáticos e incluso de máquinas eléctricas.

Los armónicos de corriente y voltaje en el suministro de CA son creados por VSD (como una carga no lineal) conectado al sistema de distribución de energía. Tales armónicos contaminan la planta eléctrica, lo que podría causar problemas si el nivel de armónicos aumenta más allá de cierto nivel. El efecto de los armónicos puede ser el sobrecalentamiento de transformadores, cables, motores, generadores y capacitores conectados a la misma fuente de alimentación con los dispositivos que generan los armónicos.

El estándar IEEE 519 recomienda prácticas y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica. La filosofía de tales regulaciones es limitar la inyección de armónicos de los clientes para que no causen niveles de distorsión de voltaje inaceptables para las características normales del sistema y limitar la distorsión armónica total general del voltaje del sistema suministrado por la empresa de servicios públicos.

Los analizadores de redes eléctricas constituyen una herramienta para obtener estos datos en una instalación (tensión, corriente potencia activa, potencia reactiva, etc.), además es indispensable contar con software y equipos de cómputo adecuados para el tratamiento y análisis de la información de campo.

1.2 Justificación

La presencia de armónicos tanto en tensión como en corriente provoca la presencia de distorsión en la potencia. La potencia distorsionada afecta el factor de potencia donde el factor de potencia disminuirá en presencia de armónicos y, en consecuencia, la potencia de distorsión. El uso de equipamiento electrónico de potencia (convertidores con tiristores o transistores de potencia en plantas industriales provocan disturbios eléctricos que generan problemas de rendimiento o paralización de procesos productivos,

Se justifica evaluar e identificar efectos de disturbios en la planta de lubricantes como medida de prevenir costos por paralización del proceso de fabricación de lubricantes.

Se debe minimizar la distorsión de voltaje resultante, ya que la distorsión de voltaje hará que las corrientes armónicas fluyan en otros circuitos conectados lineales y no lineales. Las cargas, al hacerlo, causan voltaje armónico, caídas en todas las impedancias por las que pasan que distorsionan la tensión normal sinusoidal de alimentación.

1.5 1.3 Planteamiento del problema

No existe una evaluación de la calidad de energía por distorsión de corrientes o voltaje en la planta de lubricantes. Los problemas de energía eléctrica como mal funcionamiento y falla de algunos equipos sensibles, sobrecargas en la red de distribución, mal funcionamiento del sistema eléctrico dentro de la instalación y sobrecalentamiento, ruido, vibración, daño de los devanados del motor, y fallas en transformadores a bajas cargas. Estos problemas reflejan la mala calidad de energía del sistema eléctrico que afecta la seguridad de la instalación, aumentando los costos operativos y disminuyendo la vida útil del componente del sistema.

Ante el origen de las corrientes armónicas, como cualquier corriente generada, circularán a través de las rutas disponibles y regresarán al otro extremo de la carga no lineal. Ya que la distorsión de voltaje hará que las corrientes armónicas fluyan en otros circuitos conectados lineales y no lineales. Las cargas, como motores eléctricos, con efectos nocivos en su operación o funcionamiento.

1.6 1.4. Objetivo General

Analizar disturbios eléctricos en banco de transformadores por el aspecto de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes.

1.7 1.5 Objetivos Específicos

- Describir las causas de la baja calidad de energía eléctrica en procesos industriales
- Recolectar datos de disturbios eléctricos en planta de lubricantes
- Evaluar con normativas los datos obtenidos de disturbios eléctricos y proponer mejoras.

1.8 1.6 Metodología

La metodología para emplearse emplea tres métodos; el descriptivo que reseña las características de la calidad de la energía eléctrica, sus causas y efectos en máquinas eléctricas como motores, generadores etc. Se emplea el método empírico por procedimientos de obtención de datos y manejo de equipo de medición, en este caso un analizador de red eléctrica trifásica Se emplea el método analítico por el diagnóstico y evaluación de datos con niveles y estándares en calidad de energía eléctrica.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

1.9 2.1 Concepto de energía

Según la Real Academia Española (RAE), energía son las condiciones que tiene un cuerpo o sistema para efectuar un trabajo y es expresado generalmente en julios o kilovatios-hora (Kw/h); pues, ninguna actividad es posible sin energía, no se puede crear ni destruir, solo se la puede cambiar de un tipo a otro.

A continuación, se describen dos tipos de energía:

Energía Potencial: es la energía asociada con la naturaleza y en esta división se incluye la energía química, energía eléctrica, energía nuclear, etc.

Energía Cinética: es la energía asociada con el movimiento. Desde el punto de análisis de los autores, se puede especificar que:

Albert Einstein definió energía como $E = mc^2$

1.10 2.2 Concepto de calidad

Según RAE la calidad se define como: propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor. (Real Academia Española, 2020)

En cambio, la norma ISO (Organización Internacional de Normalización) establece la calidad como: el grado en el que las propiedades de un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con la formalidad. La misma, es una organización no gubernamental internacional que reúne a expertos para compartir conocimientos y desarrollar normas Internacionales voluntarias. Además, es la responsable de elaborar normas y guías internacionales que abarcan casi todos los campos e industrias, con el objetivo de agilizar el intercambio de bienes y servicios, y de estimular la cooperación científica, económica, tecnológica e intelectual a nivel mundial. (Alvarado Freddy, 2019)

La Sociedad Americana de Calidad (American Society for Quality) define la calidad como: Una combinación de perspectivas cuantitativas y cualitativas para la cual cada persona tiene su propia definición, ejemplos de los cuales incluyen, cumplir con los requisitos y expectativas en el servicio o producto a los que se comprometieron con búsqueda de soluciones óptimas; contribuyendo a los éxitos confirmados, cumpliendo con las todas

responsabilidades. Asimismo, la ASQ tiene como finalidad aumentar el uso e impacto de la calidad en respuesta a las diversas necesidades del mundo. (Cardiel, 2017)

1.11 2.3 Fundamentos de calidad de energía eléctrica

Dos de los principales estándares competentes hacen referencia a la calidad de energía eléctrica, *International Electrotechnical Commission* (IEC) define al término “Calidad de Energía Eléctrica”, como las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros IEC 61000-4-30 International.

Los parámetros medibles dentro de la IEC 61000-4-30 son:

- Frecuencia
- Magnitud
- Flicker
- Armónicos
- Fluctuaciones de tensión
- Interrupciones
- Desequilibrios

A su vez, la *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define el término “Calidad de Energía Eléctrica”, como la diversa variedad de fenómenos electromagnéticos inherentes a la corriente y tensión en un instante de tiempo definido y en un punto específico en la red.

Los parámetros medibles en IEEE 1159/1995 son:

- Alteraciones en los valores RMS de corriente y tensión.
- Perturbaciones transitorias.
- Forma de onda imperfecta

No obstante, a pesar de nuestra dependencia, muchas poblaciones sufren de suministros de electricidad que pueden ser poco confiables y/o de baja calidad. El número de personas que no tienen acceso a la electricidad es significativamente mayor en los países en desarrollo de Asia y el África subsahariana. Más de 260 millones de personas que viven en India no estaban conectadas a la red eléctrica principal. A pesar de que Sudán del Sur reportó una alta tasa de crecimiento de la población, fue el país con el

acceso más bajo a la electricidad en 2016. Poco más del cinco por ciento de la población tenía acceso a la electricidad.

Esta estadística muestra los países con la más alta calidad de suministro de electricidad en 2017/2018. Ese año, Noruega tuvo un puntaje índice de alrededor de 6.9, ocupando el primer lugar con otros dos países. El puntaje varió de 1 (nivel muy bajo) a 7 (nivel más alto).

La calidad de la energía implica qué tan cerca está la forma de onda de voltaje de ser una senoide perfecta con una frecuencia y amplitud constantes, Debido al uso generalizado de la electrónica de potencia en todos los lugares de la industria de la energía, la energía suministrada a los clientes ahora está distorsionada en la señal de voltaje o en la señal de corriente o en ambas. Esta distorsión tiene un gran efecto en los equipos sensibles y puede causar la interrupción de dichos equipos que resulten en consecuencias muy costosas. Véase la figura 2.1.

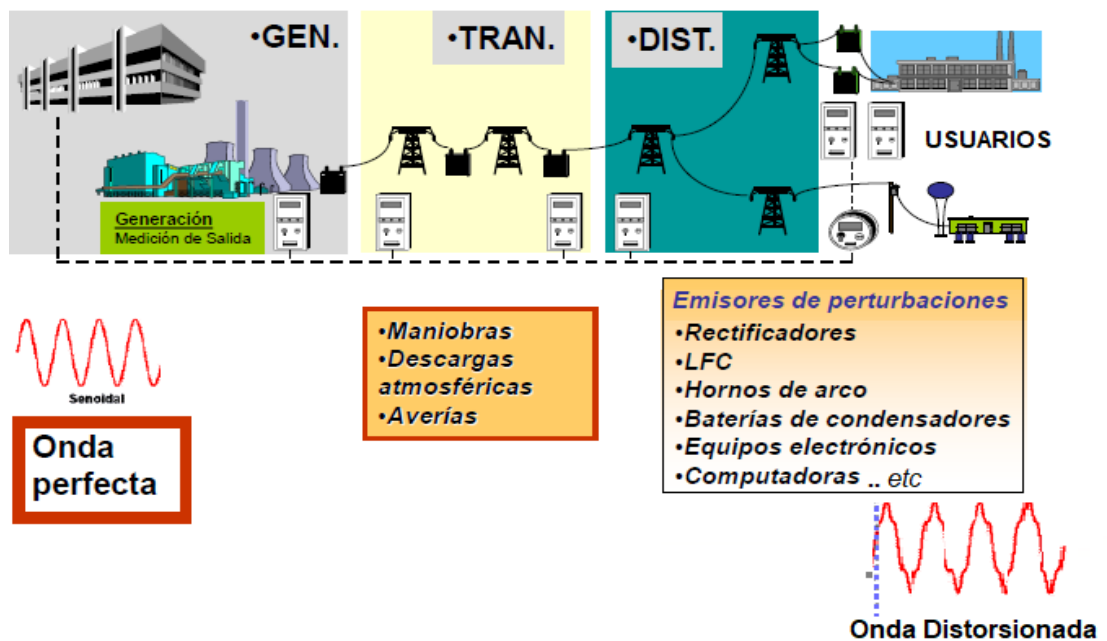


Figura 2. 1 Distorsión de la señal eléctrica desde su generación

Fuente: (Circuitor, 2015).

Desde la generación de la energía eléctrica se tiene una onda sinusoidal perfecta. Luego en subestaciones de transmisión, distribución se presentan maniobras, averías y en el suministro de la energía a los usuarios, esta señal de onda se distorsiona.

Otra definición es la frecuencia relativa y la severidad de las desviaciones en la energía entrante suministrada al equipo eléctrico de la forma de onda sinusoidal habitual, constante, de 60 Hz de voltaje o corriente. Estas desviaciones pueden afectar la operación segura o confiable de equipos como computadoras.

La calidad eléctrica es un indicador del nivel de adecuación de la instalación para garantizar y soportar que el funcionamiento de sus cargas sea viable. Cuando se habla de calidad de la energía eléctrica, se hace referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente, como a la confiabilidad del servicio de energía eléctrica.

Es importante realizar un análisis de calidad de energía por seguridad, ahorros de costos energéticos, mayor precisión en la factura eléctrica y solución de problemas. Previo a la incorporación de una nueva carga eléctrica a un panel existente, se debe realizar un estudio de carga para determinar si se cuenta con la capacidad suficiente para hacerlo. (Improselec S.A., 2019)

En la figura 2.2. se muestra una representación de las mediciones de energía.

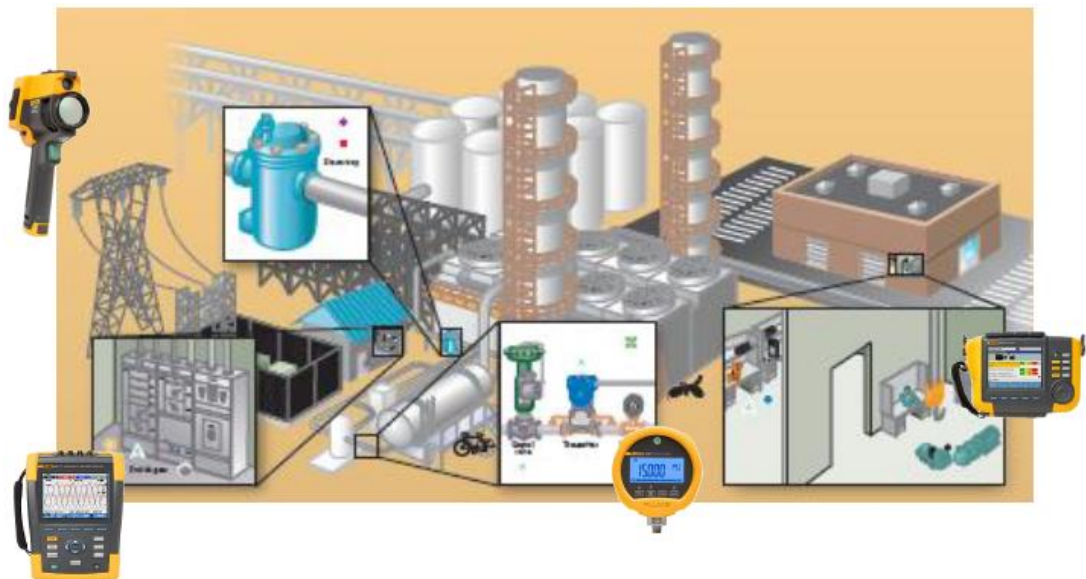


Figura 2. 2 Representación de mediciones eléctricas en la industria

Fuente. AMPROBE

Como se ve en la figura 2.2 es importante medir la energía. Los datos de las mediciones respaldan las decisiones y las acciones que reducen el consumo de energía y el costo, como:

- El análisis de actualización de los equipos y la ROI;
- El dimensionamiento correcto y la optimización del suministro/consumo;

La justificación de la introducción de controles y automatización; las solicitudes de incentivos a la compañía eléctrica; reparaciones.

El sector industrial según datos estadísticos actualizados de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), indica que el país consume alrededor del 87% de energía, y con mejora en eficiencia energética en la industria hará que este sea más competitivo, esta es una economía globalizada, así mismo el ahorro de energía es una gran alternativa para el ahorro económico de operación y también mejora la competitividad.

Algunas de las características del buen servicio energía eléctrica no dependen únicamente del productor, transmisor o distribuidor de electricidad, sino también de los equipos, fabricantes y clientes que hacen uso de la misma.

Las complicaciones son las más preocupantes. El objetivo principal de la distribuidora de energía es ofrecer energía apropiada a todos sus abonados en todo momento y en todas las condiciones. Pero a medida que la demanda eléctrica crece en tamaño y complejidad, las modificaciones y adiciones en las redes de energía eléctrica existentes se han vuelto muy necesarias. La medición y el control existente se ha vuelto aún más crítica debido al tiempo de inactividad asociado con la falla de equipos y las fallas en sus materiales de composición interna. (Erazo & Quevedo, 2018)

En la actualidad todos los instrumentos, máquinas eléctricas o electrónicas deben diseñarse para resistir algunas fluctuaciones de tensión y perturbaciones de potencia para operaciones sin problemas. Pero cuando las fluctuaciones de voltaje o las perturbaciones están más allá del rango de operación segura de los instrumentos, pueden observarse comportamientos erráticos, mal funcionamiento o daños durante la operación.

Cuando el suministro de entrada es mayor que el voltaje normal, el equipo consumirá más energía de la necesaria y también en muchos casos afecta el rendimiento de los mismos. Cuando el suministro es menor que el requerido,

la maquina no dará el óptimo rendimiento y las perdidas serán sumamente obvias.

El uso generalizado de equipos electrónicos, como máquinas CNC, equipos médicos, maquinarias textiles, (VFD), controladores lógicos programables (PLC), iluminación de bajo consumo, 6 pulsos o Rectificadores de 12 pulsos, llevaron a una variación en las cargas eléctricas. Estas cargas son a la vez los causantes principales y las principales víctimas de problemas de calidad de energía. Debido a sus cualidades de no linealidad, todas estas cargas causan perturbaciones en la alimentación eléctrica. (Erazo & Quevedo, 2018)

Es un factor relevante que contribuye al desarrollo de cualquier país mediante monitoreo continuo, ayuda a detectar, registrar y prevenir problemas.

En la actualidad las empresas generadoras y distribuidoras de electricidad tienen dos grandes retos, los cuales son:

- Si existe una gran demanda creciente de energía, se deberá aumentar también la capacidad tanto de generación como distribución eléctrica ya que estos están funcionando al margen de la capacidad, por este motivo existen las penalizaciones a los consumidores ya sean estos grandes o pequeños por tener un defectuoso sistema eléctrico.
- Calidad de energía, factor fundamental y por tal motivo hay que asegurar el adecuado y correcto funcionamiento del conjunto de equipos conectados, sabiendo que el desarrollo tecnológico viene dado de la mano de la calidad de energía.

Para que exista una buena calidad de energía es conveniente relacionar la disponibilidad del servicio eléctrico con una calidad de ondas tanto de tensión como corriente suministrada, se entiende que la desviación de una de estas magnitudes es una pérdida en calidad de energía.

1.12 2.4 Valoración de calidad de energía

Los términos como “mala calidad de la energía” generalmente significan que existe una desviación suficiente de las normas en la fuente de alimentación para causar un mal funcionamiento del equipo o una falla

prematura. Por el contrario, “buena calidad de energía” significa que hay un bajo nivel de tales desviaciones o errores de operación.

Debido a que la sensibilidad a tales desviaciones varía de un equipo a otro, lo que puede considerarse una mala calidad de energía para un dispositivo puede ser una calidad de energía perfectamente aceptable para otro.

La mala calidad de la energía afecta el funcionamiento confiable de las computadoras y los equipos basados en computadoras, que ahora son tan omnipresentes. A menudo, más importante que el efecto físico en el equipo es la pérdida de productividad resultante de fallas en el equipo informático, cálculos erróneos y tiempo de inactividad. De hecho, se ha estimado que el costo total para las empresas estadounidenses de esta pérdida de productividad es de entre 15 y 30 mil millones de dólares al año.

Una encuesta reciente de E-Source indicó que, si bien la mayoría de los encuestados no calculó el costo de sus pérdidas anuales debido a la calidad de la energía (o incluso puede atribuir erróneamente fallas en la calidad de la energía a causas de software o hardware), aproximadamente un tercio de los que informaron una cifra de pérdida decía que excedía el millón de dólares por año.

La gran mayoría de los problemas de calidad de la energía en un edificio se originan dentro del mismo edificio. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), varias agencias gubernamentales y otras organizaciones han estado estudiando estos problemas y efectos durante varios años. Como resultado, han emitido pautas de diseño y prácticas recomendadas que se sabe que reducen en gran medida, si no eliminan, la incidencia y la gravedad de los problemas relacionados con la calidad de la energía.

En muchos casos, la simple instalación de sistemas eléctricos mejorados y mejores sistemas de puesta a tierra evitará (o curará) el problema. Muchas de las técnicas simples que se exploran en este documento son relativamente económicas de instalar durante la construcción o durante la renovación importante de un edificio. Además, dado que el uso de un edificio en particular, o un área dentro de un edificio, puede variar considerablemente a lo largo de los años, las mejoras de infraestructura

recomendadas servirán para hacer que el edificio sea más útil con el tiempo, a pesar de los cambios en los inquilinos, usos finales o equipo.

En términos generales, siguiendo fórmulas generalmente bien conocidas para las cargas eléctricas esperadas por área de piso determinada, el diseñador de décadas pasadas estaba razonablemente seguro de diseñar una instalación eléctrica adecuada que se podría esperar que sirviera bien a las necesidades del edificio y sus ocupantes. en el futuro. Rara vez era necesario preocuparse por los armónicos o los transitorios. Pero el tiempo, el progreso y la micro computarización avanzaban.

La frecuencia de surgimiento de un problema de calidad de la energía, según un estudio de 112 sitios de diferente ubicación, tamaño y tipo, realizado por National Power de Necedá, WI, obtiene como resultados; el sitio promedio tuvo 106 eventos de interrupción por mes, y la peor ubicación tuvo más de 4,000 eventos de este tipo. La mayoría de las interrupciones se presentan de forma aleatoria y difícil de reproducir, como una PC que se bloquea, una central que pierde llamadas o un motor que falla prematuramente.

Según el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, hasta el 80% de los problemas de calidad de la energía se relacionan con cableado o conexión a tierra inadecuados. Más adelante, se analizarán algunos problemas de calidad de la energía.

1.13 2.5 Conexión a tierra eléctrica

El término “suelo” se refiere a la tierra, o un cuerpo grande que sirve en lugar de la tierra. El término “conectado a tierra”, entonces, se refiere a un sistema en el que uno de los elementos está conectado intencionalmente a “tierra”. Los británicos usan los términos “tierra” y “puesta a tierra” en lugar de “tierra” y “puesta a tierra”, que probablemente sean más apropiados, pero esta publicación utilizará la convención estadounidense, ya que los términos que hacen referencia a tierra aparecen en la literatura y los códigos estadounidenses.

Los sistemas eléctricos no necesitan estar conectados a tierra para funcionar y, de hecho, no todos los sistemas eléctricos están conectados a tierra. Pero los voltajes a los que se hace referencia cuando se habla de

sistemas eléctricos suelen ser voltajes con respecto a tierra. Tierra, por lo tanto, representa el punto de referencia, o punto de potencial cero, al que se refieren todos los demás voltajes. De hecho, dado que los equipos computarizados se comunican con otros equipos, un voltaje de referencia cero es fundamental para un funcionamiento adecuado.

El suelo (tierra), entonces, es una buena opción como punto de referencia cero en la mayoría de los casos ya que nos rodea por todas partes. Cuando uno está parado en el suelo, su cuerpo está aproximadamente al potencial de voltaje de la tierra. Si el edificio tiene una estructura de metal, los componentes metálicos de la estructura del edificio, o la tubería de agua (si es metálica), están aproximadamente al potencial de tierra (Preditec, 2016).

En la mayoría de los casos, el servicio eléctrico de la mayoría de los edificios instalados durante las últimas décadas está “conectado a tierra”. Existen numerosas excepciones. Si un servicio eléctrico dado a un edificio está “conectado a tierra” o no, es decir, conectado intencionalmente a través de una conexión de baja impedancia a la “tierra”, está determinado por las reglas del Código Eléctrico Nacional NEC y la empresa eléctrica, al servicio de la instalación. La figura 2.3 muestra una conexión a puesta de tierra.

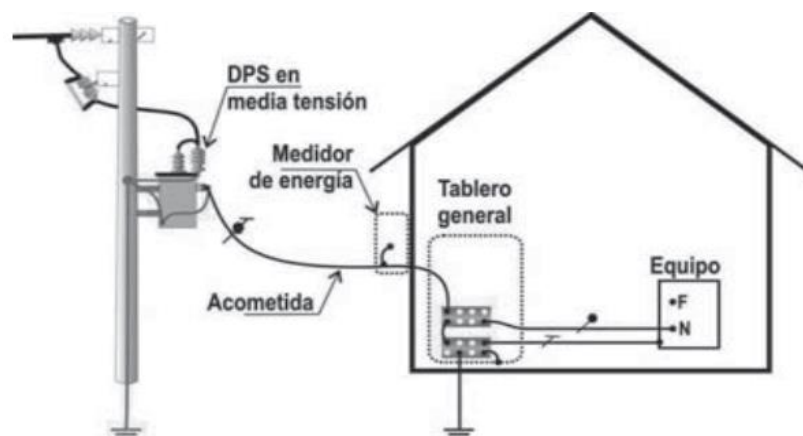


Figura 2. 3 Conexión a puesta de tierra

Fuente.

2.5.1 Sistemas conectados a tierra

Los sistemas eléctricos de conexión a tierra, tiene como primer propósito proteger al personal y la propiedad en caso de que ocurriera una falla (cortocircuito). En términos simples, si uno de los tres tramos (fases)

calientes de un servicio eléctrico sin conexión a tierra se conecta a tierra, de forma intencionada o accidental, no sucede nada. Ningún disyuntor se dispara, ningún equipo deja de funcionar. Los sistemas eléctricos sin conexión a tierra fueron populares en los edificios industriales de la primera mitad del siglo XX, porque las cargas impulsadas por motor, que eran las más comunes en ese momento, no se detenían simplemente por un cortocircuito.

Pero una consecuencia de este tipo de sistema es que es posible que la estructura de un equipo se energice a algún voltaje sobre el suelo y presente un riesgo de descarga para el personal que pueda estar tocando el equipo y un componente conectado a tierra de la estructura simultáneamente.

Un segundo propósito de un sistema de conexión a tierra es proporcionar una ruta controlada de baja impedancia para que las corrientes inducidas por rayos fluyan a la tierra sin causar daños.

Dependiendo del tipo de terreno y el nivel de la resistencia de tierra, puede conseguirlo, escogiendo alguno de los siguientes sistemas de tierra física. Véase la figura 2.4.

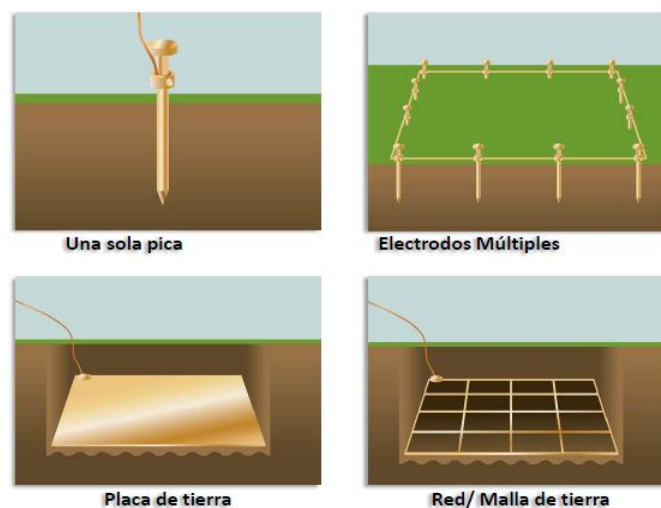


Figura 2. 4 Tipos de puesta a tierra

Fuente. AMPROBE, 2019

1.14 2.6 Estándares y Normas

A continuación, se detallan las normas internacionales de instalaciones eléctricas y de equipos:

NEC (*National Electric Code*) comprende instalaciones eléctricas y de equipos:

- UL (*Underwriters Laboratories*): especificaciones de seguridad para los equipos que sirven centros de cómputo y equipos electrónicos sencillos.
- ANSI (*American National Standard Institute*): instituto que homologa y normaliza las recomendaciones del IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para los diversos ambientes y equipos aplicados a las instalaciones eléctricas.
- La IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*):

En el Ecuador, la Calidad del Servicio será supervisada y controlada por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad Arconel- 004/015.

Sin embargo, existen otros organismos internacionales como IEC, NEMA, ANSI, IEEE que contemplan normativas similares y en caso de conflicto entre normas primara siempre la más exigente.

2.6.1 Aspectos de la calidad según ARCONEL

La calidad del servicio está argumentada por:

- Calidad del Producto
- Calidad del Servicio Técnico
- Calidad del Servicio Comercial

Debido al método de análisis empleado se dará enfoque a la “calidad del producto”.

2.6.2 Calidad del producto

Establece los parámetros a controlar siendo el distribuidor el único encargado de realizar las mediciones, levantamiento de datos,

procesamiento de datos y la evaluación de requerimientos suscitados en consumidores. Cuando el ARCONEL requiera la información, esta deberá ser presentada en cualquier momento.

La regulación ARCONEL-004/01 (CONELEC 004/01) en el inciso calidad del producto engloba los parámetros a analizar.

2.6.3 Normativa utilizada

IEEE Std. 519-1992. - IEEE prácticas y requisitos para el control de armónicos en el Sistema de energía eléctrica.

IEC-61000. -Guía general sobre mediciones armónicas e inter-armónicas.

IEC-61000-3-3.- limitación de los cambios de tensión, fluctuaciones de tensión y parpadeo de baja tensión, para equipos con corriente nominal ≤ 16 A por fase y no sujetos a conexión condicional.

IEC-61000-3-5. - limitación de fluctuaciones de voltaje y parpadeo en sistemas de suministro de energía de bajo voltaje para equipos con corriente nominal superior a 75 A.

IEC-61000-3-6. - Límites-Evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones distorsionantes a sistemas de potencia MV, HV y EHV.

IEC-61000-3-7. - Límites-Evaluación de los límites de emisión para la conexión de instalaciones fluctuaciones a sistemas de potencia MV, HV y EHV.

IEC-61000-4-15. - Técnicas de prueba y medición- Medidor de fluctuación de fase- especificaciones funcionales y de diseño.

La norma IEC 61000-4-30 -Métodos de medición de la calidad de energía eléctrica.

EN-50160.- Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.

IEEE Std. 1100-2005. - IEEE para alimentar y poner a tierra el equipo electrónico.

Regulación del ARCONEL (CONELEC 004/01)

1.15 2.7 Principales problemas de calidad de energía

A continuación, se nombran los principales problemas:

- Distorsión Armónica/ Armónicos
- Desbalance (en tensión y corriente eléctrica)
- Surges/Sobretensión
- Dips /Sags/Bajadas de Tensión
- Swell/ Subidas de Tensión
- Cortes/Apagones/Interrupciones
- Flicker
- Impulsos transitorios (Ruido)
- Cambios de Frecuencia

2.7.1 Distorsión armónica

Es el grado de deformación que tiene una señal periódica en comparación con una función Senoidal Pura, expresado en por ciento.

Un armónico se define como “un componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia fundamental”. Es decir, un armónico se entiende como tensiones y/o corrientes presentes en un sistema eléctrico a un múltiplo de la frecuencia fundamental (180, 300, 420, 540, 600Hz, etc.).

En los tiempos actuales puede presenciar corrientes de tipo de ondas distorsionadas, tomando en consideración el concepto establecido por el científico matemático Francés Fourier, referente a que los armónicos son definidos como tensiones en donde el valor de frecuencia se presenta con valores múltiplos enteros integrales de la frecuencia, que dependiendo del país al que se aplica puede variar, desde 50 o 60 Hz. Esto quiere decir que para poder calcular la forma de una corriente distorsionada a partir de que, es una onda continua pero no senoidal y que es la sumatoria total de la onda fundamental más los armónicos. (Erazo & Quevedo, 2018).

2.7.1.1 Causas de la Distorsión armónica

Una carga se dice no lineal cuando ante una tensión de entrada sinusoidal, la corriente consumida por dicha carga no es sinusoidal. Los equipos capaces de producir la distorsión armónica de las tensiones y corrientes son los llamados "equipos no lineales", es decir, aquellas máquinas o equipos electrónicos que realizan un consumo de corriente no senoidal de la red eléctrica.

Las cargas no lineales en general, pueden producirse por:

- Sistemas de iluminación (Balastos electrónicos)
- Motores eléctricos de corriente alterna que operan con variadores de velocidad
- Motores de cd que operan con tiristores
- Fuentes ininterrumpidas (UPS)
- Equipo de cómputo
- Hornos de inducción y de arco.

Para determinar el grado de distorsión de una señal es necesario recurrir al análisis en el dominio de la frecuencia. Se utilizan los algoritmos matemáticos basados en los desarrollos de Fourier. En particular, se aplica el Teorema de Fourier, según el cual, cualquier señal periódica y continua de periodo T puede descomponerse en una suma infinita de señales senoidales de frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

El espectro de frecuencias de una señal es una representación que permite conocer las amplitudes y ángulos de desfases relativos de cada una de las componentes senoidales que integran a la señal distorsionada. Se obtiene mediante la Transformada de Fourier o su aplicación digital denominada FFT (*Fast Fourier Transform*). Esta transformación se puede asimilar de forma muy simplificada a una proyección sobre un plano amplitud-frecuencia de las amplitudes de las distintos componentes senoidales que integran la señal. Véase la figura 2.5.

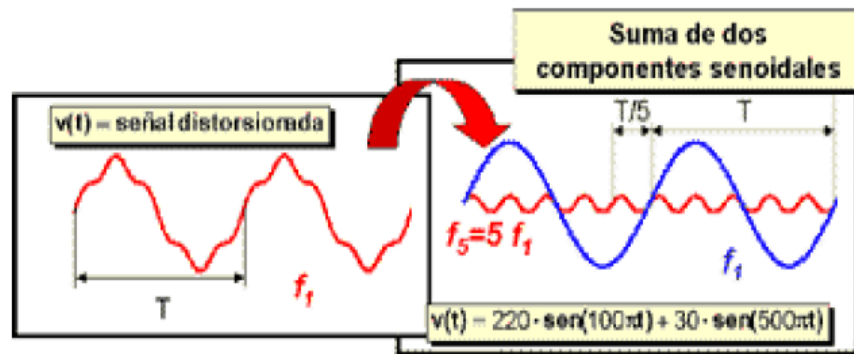


Figura 2. 5 Los armónicos y sus componentes

Fuente.

En cuanto a la calidad, según la norma para los armónicos, se debe calcular el factor de distorsión total por armónicos.

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) \times 100$$

Donde:

V_i : "Factor de distorsión armónica individual de voltaje".

THD: "Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje".

V_i : "Valor eficaz (rms) del voltaje armónico "i" (para $i = 2 \dots 40$) se encuentra expresado en voltios".

V_n : "Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios".

2.7.1.2 Mediciones

El distribuidor de energía eléctrica debe efectuar de forma mensual, lo cual se describe a continuación:

- Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los terminales de bajo voltaje, no menos de 5.
- Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.

- Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
- En cada punto de medición, para cada mes, el registro se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de distorsiones armónicas, se efectuarán mediciones de monitoreo de armónicas de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo (Donolo, Bossio, & Castellino, 2008).

2.7.1.3 Límites

Los límites de valores eficaces rms de los voltajes armónicos individuales V_i' y los THD que se expresan en voltajes nominales de un punto de medición no deben superar los valores límites como son V_i' y THD' que se detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Orden de Armónicos y THD

Orden (n) de la Armónica y THD	Tolerancia V/I o $I/THD/I$ (% respeto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V>40kV (otros puntos)	V≤40kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2	6
7	2	5
11	1,5	3,5
13	1,5	3
17	1	2
19	1	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
>25	$0,1+0,6*25/n$	$0,2+1,3*25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5
9	1	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2
4	1	1
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores de 12	0,2	0,5
THD	3	8

Fuente. (León Tovar, 2017)

2.7.1.4 Armónicos de tensión

Los armónicos son una forma de distorsión de la forma de onda de voltaje o corriente. Un armónico se refiere a un componente de una forma de onda de una frecuencia que es un múltiplo de los fundamentales, 50 o 60 Hz generales. Por ejemplo, el tercer armónico para los sistemas de distribución eléctrica de EE.UU. sería $3 \times 60\text{Hz} = 180 \text{ Hz}$. Los armónicos son una condición de estado relativamente estable, a diferencia de las condiciones momentáneas, como caídas o transitorios. (Olikara, 2015).

Son ondas senoidales donde la frecuencia está dada por valores múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz).

El período de evaluación es de una (1) semana. En las condiciones normales de operación, se deben calcular los percentiles al 95% de los valores de distorsión armónica individual de tensión (Dv) y distorsión armónica total de tensión (THDv), para cada fase. Los percentiles calculados para cada fase, deben ser menor o igual a los valores de referencia, tal como muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 tabla referencial de armónicos de tensión

Rango de tensión (Voltaje en PCC)	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total – THDv (%)
$V \leq 1,0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

Fuente.IEEE

2.7.1.5 THDv

Los valores de Dv y THDv calculados para cada fase no deben sobrepasar los valores referenciales (como muestra en la tabla 2.2).

De sus siglas THD corresponde a la tasa de distorsión total o tasa de distorsión total global. Es utilizada regularmente para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

En la tabla 2.2 se detallan los valores establecidos de:

Dv (Distorsión armónica individual de tensión)

THDv (Distorsión armónica total de tensión) calculados para cada fase no deben sobrepasar los siguientes valores de referencia de acuerdo a la norma IEEE 519-2014.

2.7.1.6 Armónicos de corriente

El período de evaluación es de una (1) semana. En condiciones normales de operación, los percentiles que se calculan a continuación para la distorsión individual de corriente (Dh) y la distorsión total de demanda (TDD), para cada fase, no deben sobrepasar los valores de referencia.

Se recomienda que la corriente de carga I_L sea calculada como el valor máximo de corriente rms de todas las fases agregada en intervalos de 10 min., durante un periodo de evaluación mínimo de una semana.

$$I_{sc} = \frac{S}{\sqrt{3 \times \frac{U_{cc}}{100} \times U_s}}$$

Dónde:

S= "Potencia Aparente del transformador VA".

U_{cc} = "Tensión porcentual de cc del transformador".

U_s = "Tensión del secundario en voltios".

I_{sc} = "Intensidad de cortocircuito del secundario".

A continuación, en la tabla 2.3 puede ver el cálculo de corriente de cortocircuito y en la tabla 2.4 la corriente de distorsión armónica total.

Tabla 2. 3 Cálculo de corriente de cortocircuito

Potencia del transformador MT/BT (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tensión de cortocircuito u_{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7
<i>Tensión de cortocircuito u_{cc} normalizada para los transformadores MT/BT de distribución pública.</i>						

Fuente. (Erazo & Quevedo, 2018)

Tabla 2. 4 Corriente de distorsión armónica total

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics)^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fuente. (León Tovar, 2017)

2.7.1.7 Di (Distorsión armónica individual de corriente)

La distorsión armónica individual de corriente es conocida como la categoría de distorsión, dada en términos porcentuales de orden h en relación con la individual. (León Tovar, 2017)

1.16 2.8 Desbalance en tensión y corriente eléctrica

La mayoría de las redes industriales son trifásicas, donde las perturbaciones dinámicas y las que están en régimen de estado estable producen variaciones en los niveles de tensión (de una fase respecto de las demás), que se denominan “desbalance de tensiones” o “desequilibrio de tensiones”. El grado de desbalance de las tensiones no se encuentra acotado por ninguna reglamentación vigente nacional, desde un punto de vista técnico este modo de operación es inconveniente principalmente para motores eléctricos.

Un sistema trifásico de tensiones está desbalanceado si se cumple una o ambas de las siguientes condiciones:

- Las magnitudes de las tensiones de fase o de línea son diferentes
- Los ángulos de los fasores de estas tensiones son diferentes de las condiciones balanceadas.

Un sistema de generación simétrico, es aquel donde las tres tensiones tienen igual magnitud de voltaje y sus fasores están a 120° entre sí. Una carga trifásica simétrica, es aquella que genera tres corrientes de magnitudes y fases iguales respecto a la tensión. El desequilibrio de tensión se considera como un problema de calidad de la energía de significativa preocupación, en la distribución de electricidad. Aunque las tensiones normalmente están equilibrados a nivel de generación y de transmisión, las tensiones a nivel de distribución pueden desequilibrarse debido al sistema desigual de impedancias y a la distribución de las cargas monofásicas. El desbalance de tensiones (unbalance voltage o imbalance voltage según IEEE) es un fenómeno que ocurre en sistemas.

El desbalance trifásico es el fenómeno que ocurre en sistemas trifásicos donde las tensiones y/o ángulos entre fases consecutivas no son iguales. El balance perfecto de tensiones es técnicamente inalcanzable. El continuo

cambio de cargas presentes en la red, causan una magnitud de desbalance en permanente variación. La mera conexión de cargas residenciales, de naturaleza monofásica, provocan un estado de carga en el sistema trifásico que no es equilibrado entre fases, de allí las caídas de tensión del sistema tampoco serán equilibradas, dando por resultado niveles de tensión desiguales.

2.8.1 Desbalance de tensión

El período de medida debe ser una semana, para circuitos urbanos, 99% de los valores de desbalance de tensión evaluado en un periodo de agregación de 10 minutos deben estar dentro de los valores de referencia.

Los valores de referencia del desbalance, de acuerdo al nivel de tensión, se puede ver en la tabla 2.5.

Tabla 2. 5 Valores referenciales de voltaje

Rango de tensión	Valor de referencia
$V_n < 69\text{kV}$	2,0%
$V_n > 69\text{kV}$	1,5%

Cuando se habla de un desbalance de tensiones primero hay que destacar sobre sistemas eléctricos ideales que son de igual magnitud, de igual frecuencia y desfase de 120° entre sí, pero para poder balancear perfectamente las tensiones es casi imposible; pues, esto no se puede llevar a cabo porque son fenómenos que perjudican los sistemas eléctricos trifásicos donde existe una diferencia entre el ángulo de fases o la tensión del mismo. La misma puede ocasionar problemas como son los sobrecalentamientos. Asimismo, existe un continuo cambio en las cargas de red, lo cual causan un desbalance constante. Un sistema de simétrico de generación, es aquel donde sus tensiones están desfasadas 120° entre sí, de manera técnica el desbalance está definido como:

$$Des = \frac{\text{Componentes de Secuencia -}}{\text{Componentes de Secuencia +}}$$

Dónde:

Des=Desbalance

Componentes de Secuencia- =Componentes de Secuencia Negativas
Componentes de Secuencia + = Componentes de Secuencia Positivas

El análisis de sistemas desbalanceados puede darse por la representación de tres sistemas trifásicos, esto se hace referencia al teorema de Fontescue que dice; un sistema en desequilibrio se podría remplazar por tres subsistemas que se denominan secuencia positiva, negativa y cero (Henríquez, Olano, & Salguero, 2015).

2.8.2 Limites admisibles para el desbalance en la red

La mayoría de normativa toma en cuenta el desbalance ya que es un factor muy importante pues los problemas generados a motores e instalaciones son graves y pueden hacer que un mal funcionamiento provocar errores fatales que hacen aumentar los costos. Desde el lado de las normativas estas estiman el desbalance con variación del 1% al 3% poniendo a este último en muchos casos como aceptable, pero idealmente debería ser 0%, pues la más mínima cantidad daña los sistemas eléctricos. Cualquier desequilibrio causa operación ineficiente de los sistemas de transmisión que frecuentemente están muy cargados. En el diseño de los sistemas de distribución (Tensiones bajas), el suministro a cargas monofásicas es uno de los propósitos importantes, así el sistema y las cargas conectadas deben diseñarse e implementarse para ser más tolerante al desequilibrio.

2.8.3 Efectos y consecuencias del desbalance de tensiones

Cuando un motor de inducción es alimentado por un sistema de tensiones trifásico desequilibrado por un largo periodo de tiempo (al menos la constante térmica de la máquina), se producen en su funcionamiento efectos anormales sobre la corriente, el calentamiento, la potencia y la velocidad, respecto a su operación bajo un sistema de tensiones equilibrado. De acuerdo a la norma ANSI C84.1-1995, Electrical Power Systems and Equipment Voltaje Ratings (60 Hz), solamente el 66% de las tensiones de distribución entregadas por las distribuidoras eléctricas a plantas industriales cumplen con un 1% de desequilibrio de fases.

Por otra parte, el 98% de las tensiones generadas en sistemas públicos de energía tienen menos de 3% de desequilibrio de tensiones. Solamente un 2% de las tensiones disponibles en las redes de distribución públicas tiene un desequilibrio mayor del 3%. Las normas NEMA MG1 de motores eléctricos y generadores, recomiendan limitar el desequilibrio a un máximo de 1%. Cuando las tensiones entre fases (AB – BC y CA) están desequilibradas, la corriente aumenta rápidamente en devanados del motor, y si se permite que estén presentes de forma permanente, se dañará el motor de manera irreversible. Es posible operar un motor bajo condiciones de desequilibrio de tensiones, siempre que se realice un "Derating" o disminución de la potencia que se saque por el eje de la máquina.

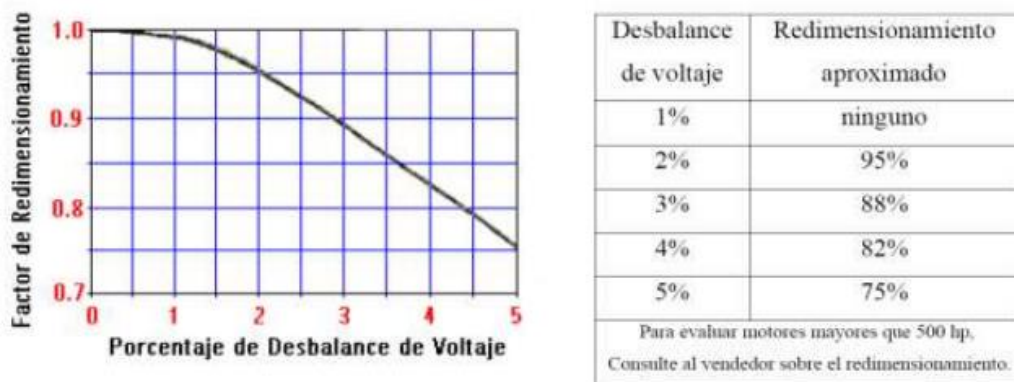


Figura 2. 6 Redimensionamiento para motores sobre el desbalance según el Estándar Nema MG1

Fuente. (Henríquez, Olano, & Salguero, 2015)

De la figura 2.6, se puede ver que un desbalance de tensión del 2% requiere alrededor de un motor de 5% más grande. Un desbalance de tensión del 3% requiere de un motor 12% más grande, o motores con un factor de servicio de 1.15.

2.8.3.1 Efectos en motores de inducción

El motor de inducción, debido a la simetría de su estructura electromagnética interna, se comporta como un conjunto equilibrado de impedancias, por lo tanto, solo aparecerán desequilibrios en las corrientes debido al desequilibrio de las tensiones (León Tovar, 2017).

El sistema de tensiones desequilibrado al ser aplicado al motor trifásico de inducción, que tiene una estructura magnética simétrica, produce corrientes desiguales en sus fases, las que producen en cada fase campos magnéticos de diferente magnitud, dando como resultante, en el entrehierro del motor, dos campos giratorios, un flujo magnético giratorio en el sentido de giro del motor y un flujo magnético que gira en dirección contraria a la rotación del rotor, tendiendo así a producir corrientes de línea desequilibradas en el motor. Seguidamente, para un determinado porcentaje de desequilibrio de tensión y una carga dada, las corrientes en las fases y la elevación de temperatura serán mucho mayores que cuando opera bajo las mismas condiciones de carga, pero con tensiones equilibradas, afectando por lo tanto la potencia nominal del motor. Si las tensiones de alimentación de un motor no son idénticas entre sí, se tendrá la condición de desequilibrio de tensiones.

Es importante verificar el desbalance a carga completa. Los motores de inducción sin carga tienen desbalances altos.

- Un motor de inducción cargado completamente no debería tener mas de un 3% de desbalance en corriente.
- Un desbalance de 1% en voltaje causara un 8% de desbalance en corriente.
- Los desbalances causan que la temperatura del motor aumente y esto ocasiona fallas en los devanados.
- Hay que redistribuir las cargas de una fase y verificar que las conexiones de las cargas estén apretadas.
- Medir con pinza amperimétrica ó DMM + accesorio de pinza.

Así, los efectos de aplicar un sistema de tensiones desequilibrado sobre el motor de inducción trifásico son:

- Corrientes desequilibradas en los bobinados que excedan considerablemente la corriente que se presenta con condiciones de tensión equilibradas.
- La elevación de temperatura en el devanado del estator, para la misma potencia, es siempre mayor que en operación con tensiones

equilibradas debido al incremento de las pérdidas producidas por las componentes de secuencia negativa de las corrientes y voltajes.

- La potencia permisible del motor será menor que la potencia nominal para reducir la posibilidad de daño del motor.
- Disminución del torque efectivo porque la componente de secuencia negativa crea un torque tipo freno en el motor.
- Reducción de la velocidad de plena carga pues un deslizamiento mayor está asociado con el incremento de pérdidas en el rotor.
- Vibraciones fundamentalmente a una frecuencia igual al doble de la frecuencia nominal. (López & Ventura, 2019)

Cuando se trata de la disminución del torque efectivo esto se debe a que la máquina no puede generar todo su par ya que el campo magnético que gira en sentido inverso del sistema de secuencia negativa provoca un par de frenado negativo, que debe sustraerse del par básico ligado al campo magnético de rotación normal la figura 2.7 muestra las diferentes características de velocidad de par de una máquina de inducción con una fuente de alimentación desbalanceada.

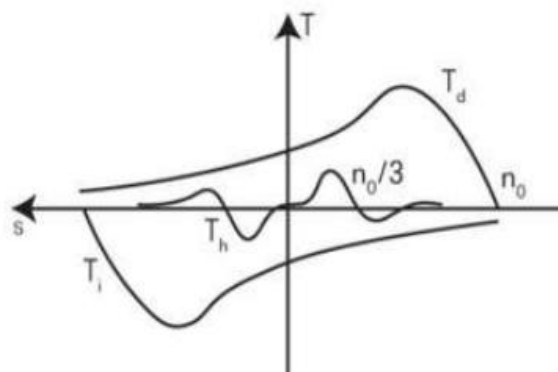


Figura 2. 7 Características de velocidad de par de una máquina de inducción.

Fuente.

La curva real del estado estacionario es la suma ponderada de estas curvas con relaciones de desbalance al cuadrado como pesos conforme el par aumenta con el cuadrado de la carga. Se puede observar que la zona de funcionamiento normal donde es casi recta la parte de línea T_d (La parte que comienza en la parte superior de la curva que cruza eventualmente el eje horizontal a velocidad síncrona), T_i y T_h son negativas. Por otra parte,

mecánicamente los cojinetes pueden sufrir daños mecánicos a causa de las componentes del par inducido a frecuencia doble de la del sistema. El estator y en particular el rotor se calientan excesivamente, lo que conduce a un envejecimiento térmico acelerado, ese calor se presenta por la inducción de corrientes generadas por el campo magnético inverso en la rápida rotación (en sentido relativo) según se mira desde el rotor, en base a esto la curva de desclasificación NEMA e IEC se ha construido en base al supuesto: “el incremento porcentual de la elevación de temperatura en el motor, respecto a la elevación de temperatura nominal, es aproximadamente dos veces el factor de desequilibrio PVU al cuadrado”, así: *Incremento Porcentual de la Elevacion de Temp. del bobinado* = $2 * PVU^2$ Este supuesto se basa en que solo la tensión de secuencia negativa aporta perdidas extras al motor y por lo tanto la tensión de secuencia positiva debería tener una magnitud igual a la nominal. Muchas veces para controlar este calor adicional hay que operar la máquina a menos de su capacidad nominal, lo que puede llegar a requerir colocar una máquina de mayor potencia nominal para suplir la carga. (López & Ventura, 2019)

En la figura 2.8 se aprecian equipos de mediciones para las fallas de motores de inducciones trifásicos por motivos de mala calidad de energía eléctrica.



Figura 2. 8 Equipos de mediciones para las fallas de motores trifásicos por mala calidad de energía eléctrica.

Fuente. (Carrera & Paz, 2018)

2.8.3.2 Efecto en transformadores

Los transformadores sometidos a tensiones de secuencia negativa, las transforman de la misma manera, que las tensiones de secuencia positiva. El comportamiento en relación con las tensiones de secuencia cero depende de la conexión del primario y secundario y específicamente, de la presencia de conductor neutro. Por lo tanto, si en un lado tiene una conexión delta, la corriente de secuencia cero se transforma en una corriente circulante que genera calor en la delta, el flujo magnético asociado a esta componente pasa a través de las piezas estructurales del transformador (Donolo, Bossio, & Castellino, 2008).

Todo lo descrito hasta ahora también se engloba en disturbios de la energía eléctrica. Los disturbios eléctricos incluyen oscilaciones de voltaje (sobre tensión, bajo voltaje, picos de voltaje), interrupción, variaciones de frecuencia, distorsión armónica, ruidos eléctricos, entre otros.

El ruido eléctrico es la suma de señales indeseables a la señal original, son de una frecuencia mucho mayor que la de la señal sobre la cual, están montadas.

Entre sus causas, se debe a:

- interferencias de radiofrecuencias (RFI)
- interferencias electromagnéticas (EMI).

Como efectos se anotan los siguientes:

- Líneas blancas al azar en monitores y pantallas de televisiones.
- Sonido con ruidos de fondo en equipos de sonido en general.
- En computadoras personales, los programas no responden, así como pérdida o corrupción de datos, a tal grado de que la PC se quede “inhibida”
- Comportamientos “extraños” en algunos equipos.
- Daño permanente de circuitos.

En la figura 2.9 se muestra la señal sinusoidal y los diferentes disturbios, como: ruido, oscilaciones de voltaje, transitorio, distorsión armónica, interrupción y variaciones de frecuencia.

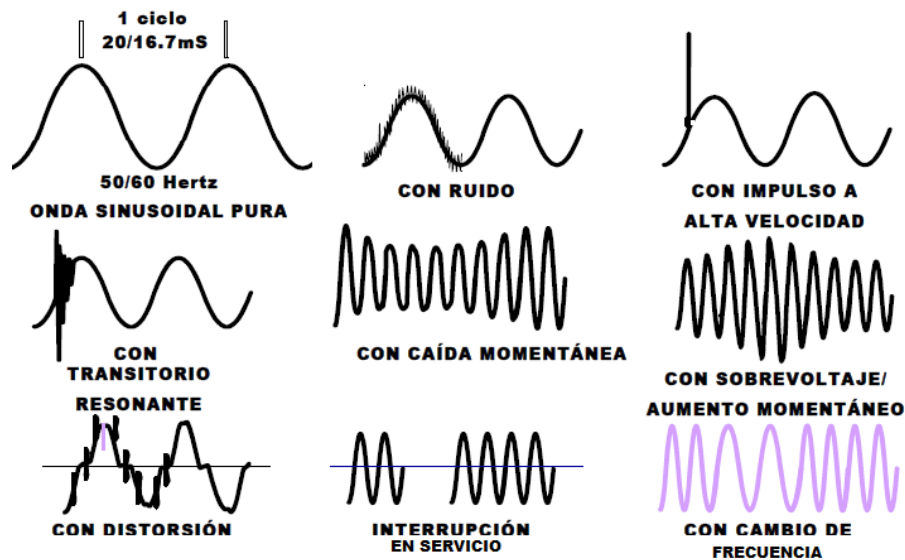


Figura 2. 9 Resumen de los disturbios eléctricos

Fuente. (Cardiel, 2017)

1.17 2.9 Perturbaciones

A continuación, se detallan los siguientes parámetros:

2.9.1 Flicker (Parpadeo)

El parpadeo se refiere a la impresión subjetiva de cambios en la densidad de la luz o una impresión de inestabilidad de las percepciones visuales, causada por estímulos luminosos con fluctuaciones temporales de la densidad de luz o la distribución espectral. Desde una perspectiva técnica, las variaciones de voltaje provocan cambios en la densidad de la luz en las lámparas, lo que puede dar lugar a percepciones visuales denominadas parpadeo. A partir de un cierto valor umbral, la aparición de parpadeo puede resultar inquietante. El efecto perturbador de las variaciones de voltaje depende aquí del alcance de la tasa de repetición y de la forma de curva del cambio de voltaje. La fuerza del parpadeo a corto plazo y la fuerza del parpadeo a largo plazo son medidas definidas del efecto perturbador.

Las variaciones de voltaje, causadas por dispositivos individuales (en la red de bajo voltaje), están permitidas si el factor de perturbación de parpadeo resultante no es mayor que 1. El factor de perturbación de parpadeo a largo plazo promediado a partir de doce valores no debe exceder un valor de 0,65. El método más simple para evaluar el valor es la curva = 1

pu. Pu representa aquí la "unidad de percepción" y es el nivel máximo de tolerancia para la sensibilidad a la interferencia del ojo humano con respecto a su percepción de las fluctuaciones de la luz. Tampoco se permite exceder el valor = 1 pu en combinación con todos los interferentes.

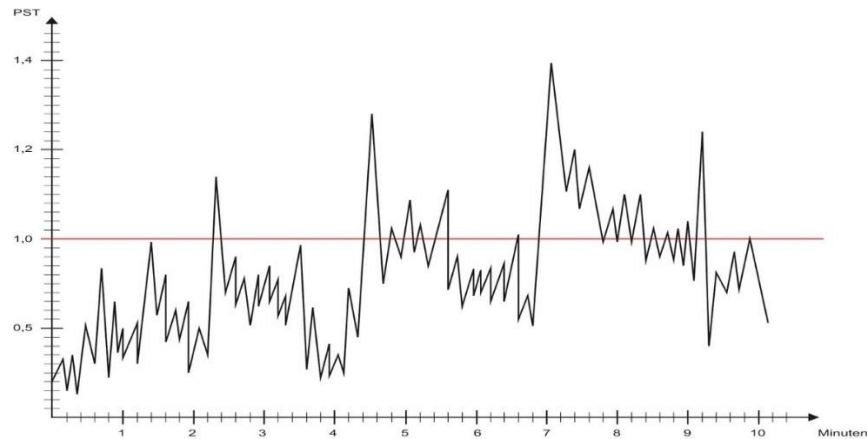


Figura 2. 10 Desarrollo a lo largo del tiempo del parpadeo a corto plazo (PST)

Fuente: (Energética, 2019)

La Severidad de Larga Duración (Plt) se constituye en el indicador utilizado para evaluar su impacto, el cual es evaluado en un periodo de dos (2) h. El Plt se rige al estándar IEC 61000-4-15: 2003. (Erazo & Quevedo, 2018)

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N Pst^3}{N}}$$

Plt: Calcula la severidad del flicker a largo plazo con intervalos de tiempos de 2 horas.

Pst: Calcula la severidad del flicker en espacio de tiempos cortos con intervalos de 10 minutos. Si el valor de Pst es >1 se considera que es perjudicial.

La medida debe ser aplicada en periodo de una semana. El 95% de los datos por cada fase deben ser ≤ a los valores de referencia suministrados en la tabla 2.6.

Tabla 2. 6 Valores referenciales de severidad

Rango de tensión	Valor de referencia Plt
Vn < 69kV	1,0 p.u.
Vn > 69kV	0,8 p.u.

Los niveles muy altos de parpadeo provocan un aumento en el esfuerzo de mantenimiento y fallas en los equipos electrónicos, hasta e incluyendo la destrucción (fuentes de alimentación de red).

Además, el parpadeo hace que los empleados se cansen más rápidamente, se vuelvan irritables y pierdan la concentración, especialmente en las estaciones de trabajo de los edificios de oficinas. El ajuste continuo del nervio óptico a las condiciones cambiantes de iluminación provoca cansancio rápidamente y finalmente se transfiere a la sensibilidad general de la persona.

En índices de severidad de corta duración (Pst) se evalúa en intervalos de 10 minutos descrito en las normas IEC, la cual se describe en la siguiente ecuación:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Donde:

-Pst: Índice de severidad de flicker de corta duración.

-P_{0.1}, P₁, P₃, P₁₀, P₅₀: Estos se refieren a los niveles flickers que se sobrepasan en valores de porcentajes 0.1%,1%,3%,10%, 50% del tiempo total de la etapa de análisis.

2. 9.2 Medición

La sensación de parpadeo instantáneo es la medida de parpadeo constante requerida por la norma IEC61000-4-15 para generar valores estadísticos de parpadeo a corto plazo (Pst), más de 10 minutos, y parpadeo a largo plazo (Plt), durante 2 horas.

La sensación de parpadeo instantáneo es muy difícil de medir debido a que da resultados muy dinámicos. Se describe dentro del registrador como

números con mucha más precisión que se muestra simplemente debido a la complejidad de su naturaleza.

La toma de datos de cada punto de medición, en un porcentaje del 15% de los transformadores de distribución en bajo voltaje no menores a 5. Para poder realizar la selección de los diversos puntos se examina los diversos niveles de voltajes, en que zona se encuentra como son rurales o urbanas y topología de la red , después de seleccionar los diferentes puntos la empresa que distribuye la energía eléctrica debe realizar la notificación correspondiente al ARCONEL, esta selección debe realizarse aproximadamente 2 meses antes de la medición De acuerdo a la norma IEC-60868 la medición para efecto Flicker debe realizar en un intervalo de tiempo de 10 minutos aproximadamente.

2.9.3 Problemas generales de los flickers

Cuando existen instalaciones eléctricas en las cuales se encuentran conectados arranques de motores de refrigeración, arranque-paro, hornos de arco eléctrico, arranque de diversos motores y soldadoras eléctricas, entre otros. Los servicios residenciales deben ser diseñados con un valor máximo del 3%. (Donolo, Bossio, & Castellino, 2008).

El parpadeo es usualmente dado por la energización de cargas eléctricas que necesitan corrientes grandes para poder arrancar, si existen arranques con mucha frecuencia en la red o si lo diversos requerimientos de corriente de las cargas fluctúan rápidamente durante los ciclos de operaciones.

En una manera más formal se dice que las fluctuaciones de voltajes se definen como la variación cíclica en los voltajes.

2.9.4 Factor de potencia

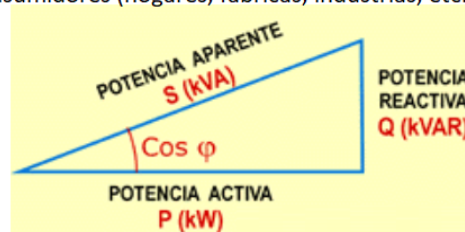
El factor de potencia es una "instantánea" de la eficacia con la que un consumidor utiliza la energía eléctrica suministrada por la red. O también es el factor de potencia mide la eficiencia de su consumo eléctrico, a la hora de convertirlo en potencia útil, como luz, calor o movimiento mecánico.

En términos técnicos, es la relación entre de potencia activa o útil medida en kilovatios (kW) respecto a la potencia aparente total (potencia activa y reactiva) medida en kilovoltio-amperios (KVA). Es decir, calculada como:
 $FP = kW/KVA$

El factor de potencia es un índice atribuido al usuario El valor mínimo admitido para el factor de potencia se discrimina de acuerdo con la potencia que demanda el usuario final, de la siguiente forma: usuarios con potencias superiores a 10kW su factor de potencia no debe bajar de 0.9010.

La potencia aparente (kVA) es la suma vectorial de la potencia activa requerida (kW) y la potencia reactiva (kVAR). $S^2 = Q^2 + P^2$. Véase figura 2.11.

Potencia Aparente es la suma algebraica de ambas potencias representa la potencia total que se toma de la red de distribución eléctrica. Lo que se transmite a través de líneas de distribución para hacerla llegar hasta los consumidores (hogares, fábricas, industrias, etc.)



La Potencia Reactiva representa pérdidas eléctricas en la línea de transmisión eléctrica.

La Potencia Activa es la que se aprovecha en forma real, se expresa en Watts y para el caso que nos ocupa es de suma importancia.

Figura 2. 11 Triángulo de potencia y sus definiciones

Fuente. El autor

Si bien no realiza ningún trabajo 'útil', la potencia reactiva es un elemento esencial e ineludible de las redes eléctricas. Un consumidor con un factor de potencia menor que un vecino de tamaño idéntico requerirá que la red suministre kVA adicionales. Como tal, se debe generar y transmitir energía adicional, lo que tiene costos incrementales inherentes para el consumidor y el proveedor.

Las compañías eléctricas abordan los costos adicionales de varias maneras. Por lo general, a los consumidores se les factura en función de su demanda de kVA en lugar de la demanda de kW para fomentar un uso más eficiente de la energía o, en algunos casos, los consumidores pueden enfrentar sanciones por tener un factor deficiente.

Generalmente, un consumidor tendrá un acuerdo de conexión con un proveedor de energía que dicta y define los requisitos del factor de potencia.

Salir de estos límites puede resultar en sanciones, imponer restricciones a la expansión o, en casos extremos, desconexión. Por lo tanto, en general, lo mejor para el consumidor es monitorear y regular el factor de potencia.

2.9.4.1 Corrección del factor de potencia

La corrección del factor de potencia (PFC) es el proceso de reducir la demanda de kVA de un consumidor generando localmente los requisitos de potencia reactiva del sitio. La generación local da como resultado una reducción de la potencia reactiva extraída de la red y, por lo tanto, una reducción de los kVA totales consumidos.

El PFC se logra más comúnmente mediante la instalación de bancos de capacitores de tamaño óptimo que se encienden y apagan automáticamente en función de los requisitos de potencia medidos para lograr un factor de potencia objetivo (normalmente 0,95 o mayor). Al mejorar el factor de potencia, los consumidores están mejorando enormemente la eficiencia de su sitio y potencialmente generarán grandes reducciones en los costos de energía.

Los beneficios incluyen:

- Tarifas reducidas de PFC y penalizaciones en su factura de electricidad.
- Mayor capacidad de carga/equipo disponible.
- Mayor eficiencia del sistema.
- Calidad mejorada del suministro eléctrico.
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero
- Mayor vida útil de la maquinaria de la planta.

En la figura 2.12 se aprecia el desplazamiento o desfase de corriente y voltaje según la carga.

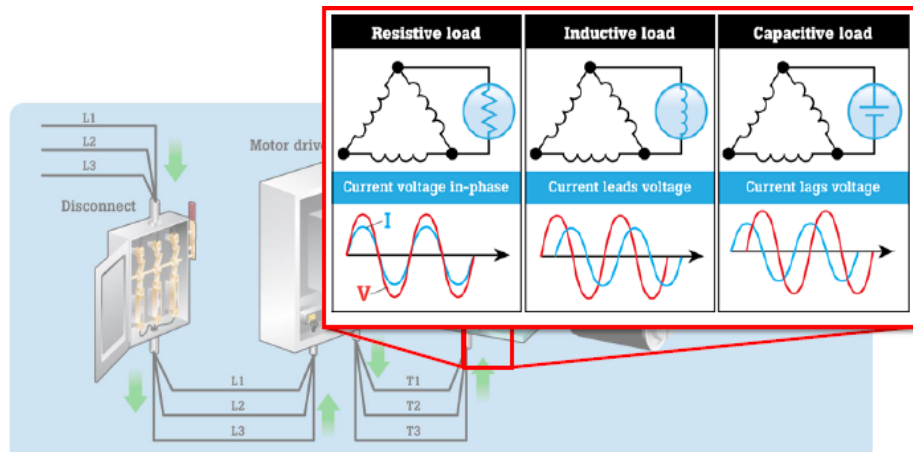


Figura 2. 12 Desplazamiento o desfase de corriente y voltaje según la carga Fuente.

Como se ha indicado, el factor de potencia es la relación de la potencia activa (W) utilizada en un circuito de CA con respecto a la potencia aparente (VA) entregada al motor.

2.9.4.2 Mejoras del factor de potencia en motores

La discusión de las causas del factor de potencia deficiente debería conducir naturalmente a algunas posibles soluciones o formas de mejorar su factor de potencia.

- ❖ Explorar el reemplazo de motores existentes por otros más eficientes energéticamente con alto factor de potencia.
- ❖ Especificar y utilizar balastos de iluminación de alto factor de potencia
- ❖ Asegurar que los motores tengan el tamaño adecuado para su aplicación y ciclo de trabajo.
- ❖ Instale condensadores: su factor de potencia principal contrarresta el factor de potencia retardado inductivo.
- ❖ Utilizar motores síncronos.

En muchos casos, la instalación de condensadores puede ser el enfoque más sencillo y rentable para mejorar el factor de potencia. Idealmente, para el máximo beneficio del sistema, los condensadores deben ubicarse lo más cerca posible del equipo infractor (Henríquez, Olano, & Salguero, 2015).

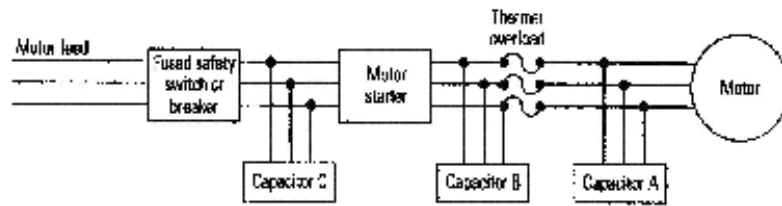


Figura 2. 13 Instalación de capacitores en motor inducción trifásico

Fuente. (Crushtymks, 2014)

Para los motores de inducción, los condensadores se pueden instalar en varios lugares, como A, B o C en la ilustración. En estos lugares, los condensadores de tamaño adecuado se activan cuando se activa el motor.

La ubicación A es ideal para instalaciones nuevas, de modo que las sobrecargas térmicas se pueden dimensionar para que coincidan con el consumo de corriente reducido o para motores existentes donde se puede cambiar la protección de sobrecarga. Sin embargo, NEMA tiene algunas precauciones sobre la conmutación de los condensadores con los motores.

La ubicación B entre el arrancador y el relé de sobrecarga es buena para motores existentes donde las sobrecargas ya están dimensionadas para la corriente existente.

La ubicación C funciona mejor para motores con requisitos de arranque y paradas frecuentes o especiales o velocidad variable.

Los condensadores también se pueden ubicar en el punto de distribución para varios motores; pero es posible que se requiera alguna conmutación automática para adaptar la capacitancia a los cambios en las cargas del motor.

También se puede ubicar un banco de condensadores en el servicio principal. Esta aplicación suele ser la instalación de menor costo. Es posible que se requiera un banco de condensadores automático o una combinación de automático y fijo para adaptarse a la carga de la instalación. Esta aplicación le permite aprovechar cualquier reducción en los costos de servicios públicos debido al factor de potencia mejorado, pero no mejora la carga de los sistemas de distribución de energía de su instalación (Crushtymks, 2014).

Los motores síncronos son buenos en situaciones donde la operación a velocidad constante es esencial. A diferencia de un motor de inducción, un motor síncrono requiere alimentación de CC y CA; pero muchos están

emocionados por sí mismos. Un motor síncrono entrega kilovatios adelantados, muy parecido a un condensador.

La presencia de armónicos en un sistema requiere filtros de armónicos sintonizados, una combinación de inductores y condensadores, para corregir el factor de potencia. Los filtros están "sintonizados" a frecuencias armónicas específicas.

Los variadores de velocidad y otros equipos sensibles pueden ser susceptibles a voltajes transitorios debido a la conmutación de condensadores.

Estos problemas deben identificarse y abordarse a medida que se implementan las medidas de mejora del factor de potencia.

2.9.4.3 Mejoramiento de FP aplicando capacitores

Los capacitores son dispositivos que consisten estructuralmente en dos superficies separadas por un dieléctrico, el cual almacena energía electrostática. A continuación, se describen los más utilizados en el medio y el cual se diferencia por la eficiencia y costos.

Entre los diferentes bancos de capacitores existe:

- Capacitores automáticos o fijos: Consta normalmente de celdas capacitivas que poseen valores distintos o idénticos, dependiendo del arreglo en el que se encuentren agrupados este banco de capacitores automáticos. Es más, se emplea de manera confiable y económico. Estos bancos se encargan automáticamente de vigilar, supervisar reducir pérdidas y mantener el FP en valores óptimos.
- Banco de capacitores fijos: Están conectados a la alimentación para sistemas, donde existe un medio de conexión y suspensión de arrancadores de los motores, para la compensación de energía reactiva a pie de máquina. Además, son bastante útiles al momento de mejorar el FP de una sola carga o grupos de cargas, se presenta la posibilidad de implementar un interruptor externo, tanto en tableros o gabinetes.
- Uso de convertidores de moderna tecnología: Se utilizan convertidores digitales como los AC/DC, que hace una especie de balance entre potencias para evitar pérdidas, aumentando el voltaje de entrada a

valores de referencias programables, el cual mantiene un alto FP en la entrada, con esto se ve reflejada en valores superiores de FP mayores a 0.95, lo del THD disminuyen alrededor de un 15% y su eficiencia es mayor al 90%.

2.9.4.4 Tipos de compensación en el factor de potencia

Existen 3 conceptos para desarrollar la compensación en paralelo, las más utilizadas son:

- **Compensación individual:** Como su palabra lo indica, es una compensación individual para cada carga que consume energía reactiva y corrige la potencia de manera individual, esto normalmente se utiliza con motores o cargas que tienen un uso continuo y cuyo consumo individual de potencia reactiva es elevado. Este método es muy eficaz, ya que el condensador es instalado en cada carga. Véase la figura 2.14.

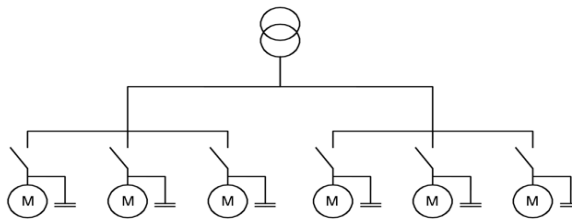


Figura 2. 14 Compensación individual de cada carga
Fuente. (Erazo & Quevedo, 2018)

- **Compensación en grupo:** Varios consumidores están definidos por la misma potencia e idéntico periodo de funcionamiento y serán compensados por uno o varios condensadores comunes con un mismo interruptor, su costo es mucho menor. La figura 2.15 muestra una compensación en grupo de cargas.

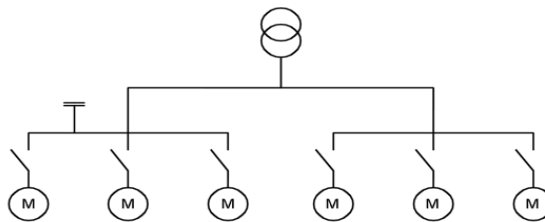


Figura 2. 15 compensación en grupo de cargas
Fuente. (Erazo & Quevedo, 2018)

- **Compensación central:** Este es instalada a proximidad de los TDP, con esto hay una mayor utilización y suministro de kVAR, requerido en ese momento; esta elección es una de las más utilizadas por el bajo costo y efectividad y, porque la instalación se fija en un solo punto. En la figura 2.16 se puede ver una compensación central de cargas.

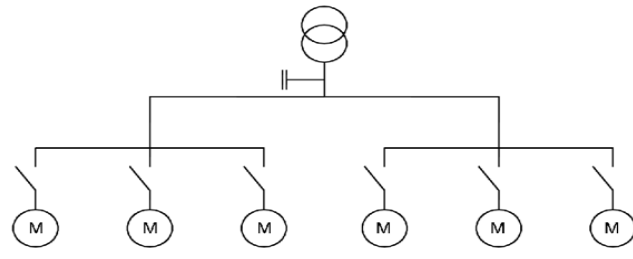


Figura 2. 16 Compensación central de cargas
Fuente. (Erazo & Quevedo, 2018)

2.9.5 Frecuencia

La frecuencia en Ecuador es de 60Hz. Este valor es determinado por la velocidad de los alternadores en las estaciones de generación.

El intervalo de la medida debe cumplir 7 días. Los valores de frecuencia tomados cada 10 min. se agruparán para un período de una semana, de tal forma que puedan ser evaluados los valores de percentil del 95 % y 100% los valores máximos y mínimos, excluidos los valores de frecuencia durante períodos de interrupciones del servicio, de tal forma que los valores se encuentren dentro del rango permitido. La tabla 2.7 muestra los datos de la variación de frecuencia.

Tabla 2. 7 Datos de la variación de frecuencia

Frecuencia aceptable durante el 95% de los datos tomados en una semana	Frecuencia aceptable durante el 100% de los datos tomados en una semana
$59.8\text{Hz} \leq \text{Frecuencia} \leq 60.2\text{Hz}$	$57.5\text{Hz} \leq \text{Frecuencia} \leq 63\text{Hz}$

Fuente. El autor

2.9.5.1 Variaciones de frecuencia

Las variaciones de frecuencia existen cuando una variación en la frecuencia senoidal que está inmerso en la red eléctrica, está dada por 50Hz o 60Hz, dependiendo del país o región. Normalmente es muy poco probable que existan cambios en la frecuencia en condiciones normales de la red

eléctrica. Estos producen en centros de generación, donde la obtención se logra a través de la generación por combustión interna, paneles fotovoltaicos, generación eólica o en plataformas de explotación petrolera.

Los dispositivos específicos son los reguladores de tensión, conjunto motor-generator, reactancias controladas, condensadores controlados, estabilizadores magnéticos, arrancadores de motores, equipos protectores de sobretensiones.

Los dispositivos de corrección universales son; los acondicionadores de red, filtros activos de corriente, repartir las cargas monofásicas, instalaciones de equipos correctores.

CAPÍTULO 3: LEVANTAMIENTO DE DATOS EN FÁBRICA DE LUBRICANTES

1.18 3.1 Descripción de la planta

La fábrica se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil El terreno ocupado tiene un área de 16000 m². La planta inició su funcionamiento en 1985 con la producción de grasas. En 1990 se inician las operaciones de mezcla de lubricantes, La planta tiene una capacidad de producción de 11900 barriles/mes (499.800 gls/mes).

También se encuentra en la misma instalación una fábrica de tambores o tanques de 55 galones de capacidad que se utilizan para el envasado de aceites y grasas y que además son comercializados para la exportación de concentrados de frutas. Esta planta fue instalada en 1991, con una capacidad inicial de 12.000 unidades por mes.

1.19 3.2 Procesos de los productos:

El proceso utilizado para aceites es un proceso físico mientras que para la elaboración de grasas se basa en un proceso de reacciones químicas.

- **Aceites lubricantes:** Los aceites lubricantes son una mezcla de varios tipos de aceites refinados llamados bases, con aditivos que le confieren las propiedades requeridas. Para obtener una buena homogeneización se utiliza calor y mezcla por recirculación. Véase la figura 3.1.



Figura 3. 1 Diversas presentaciones de lubricantes.

Fuente. (Can Stock Photo, 2021)

Los tipos de aceites que se producen en la planta son:

- ◇ Automotrices: Para motores de dos y cuatro tiempos a gasolina y a

diesel.

- ◇ Industriales: Para sistemas hidráulicos, compresores y equipos neumáticos.
- ◇ Línea Marina: Para lubricación de motores marinos.
- ◇ Procesos: Para uso en los procesos productivos de la industria del caucho y textil.
- **Grasas:** Las grasas son lubricantes semi sólidos que permanecen en contacto con las partes móviles y no se escurre por acción de la gravedad o cambio de presión. Están compuestas por el 10% de espesantes y 90% de aceites y aditivos. Se manufacturan los siguientes tipos de grasa: de sodio, inorgánica, de calcio y de litio. La figura 3.2 muestra diversas presentaciones de grasa para la industria.



Figura 3. 2 diversas presentaciones de grasa para la industria.

Fuente. (Perfo Partes de Mexico, S.A, 2021)

El álcali (sustancia química de óxido o hidróxido metálico soluble en agua), cambia de acuerdo al tipo de grasa que se quiere producir, siendo hidróxido de sodio e hidróxido de litio para las grasas de sodio y litio respectivamente. Los aditivos que se utilizan son antioxidantes, anti incrustantes, aditivos para extrema presión, entre otros.

- **Productos asfálticos:** Para este tipo de productos se utiliza como materia prima, el asfalto, el cual es una mezcla de hidrocarburos polimerizados e hidrocarburos pesados oxidados. Se presentan semi fluidos o sólidos, de manera natural o como residuos de la destilación de ciertos crudos. Estos productos se fabrican durante los meses de zafra (abril a junio) dado que se utilizan como lubricantes de los cojinetes en los molinos de los ingenios azucareros, y en menor escala como lubricantes de los engranajes abiertos de molinos y

hornos rotatorios de las industrias de cemento y caucho.
A continuación, en la tabla 3.1 se detalla las materias primas por proceso de producción.

Tabla 3. 1 Materias primas por proceso de producción

PROCESO	MATERIA PRIMA
Elaboración de aceite lubricantes	Aceites básicos Aditivos
Elaboración de grasas lubricantes	Aceites básicos Aditivos Hidróxidos Ácidos grasos (sebos)
Elaboración de Productos Asfálticos	Asfalto Aceites básicos Aditivos Solvente (tricloroetileno)

Fuente. El autor

1.20 3.3 Descripción de la Instalación

3.3.1 Área de almacenamiento de materias primas

Son 16 tanques de acero y cimentación de hormigón para el almacenamiento de básicos y diesel, la capacidad total de almacenamiento de los tanques es de 31000 barriles. Los tanques no disponen de cubetos de seguridad. Dos bodegas cerradas para envases vacíos y empaques.

Área de producción de aceite

- Sección de mezcla: Para el mezclado de las bases con los aditivos se cuenta con nueve tanques de acero. Cada uno cuenta con su respectivo equipo de bombeo para cargar y descargar el producto, así como para la homogeneización correspondiente. Además, se cuenta con un tanque para productos asfálticos con capacidad para 20.000 gls.
- Sección de aditivación: La aditivación se efectúa en un tanque rectangular con capacidad para 546 gls, en el que se mezclan los aditivos y después se bombean al tanque correspondiente.
- Área de llenado de aceite: Para el envasado del producto se cuentan con 6 llenadoras de varias capacidades que funcionan con aire comprimido.

Área de producción de grasas

En este apartado se sitúa en la segunda planta del área de envasado del producto, en ella se dispone de 4 tachos con capacidad para 26 barriles cada uno. Para el envasado, que se realiza en la planta baja se cuenta con 3 llenadoras neumáticas.

Área de almacenamiento de producto de terminado

Área abierta para almacenamiento de tambores con capacidad para almacenar 567.000gls. Una bodega de envases menores.

Área de servicios

A continuación, se detallan los siguientes servicios en las instalaciones:

- Dos calderos a diesel que trabajan con aceite térmico como medio de transmisión de calor.
- Un sistema de enfriamiento consta de un intercambiador de calor y una torre de enfriamiento.
- Dos compresores de tornillo
- Dos generadores a gasolina y uno a diesel
- Planta de tratamiento de agua del río Guayas.
- Banco de transformadores y capacitores.
- Muelle de madera que se extiende aproximadamente 100 m en la margen del río Guayas.

1.21 3.4 Levantamiento de datos

Se efectúa el levantamiento de datos en los bancos de transformadores, de la Planta de Lubricantes y Tambores. Dicho levantamiento de datos de calidad de energía eléctrica, será por 7 días en cada banco de transformador durante las 24 horas del día.

Para la ejecución de este trabajo se instaló un analizador de redes marca Fluke 1730. El cual mide los parámetros eléctricos tales como. Tensión, corriente, Potencias activa, reactiva y aparente, factor de potencia. Distorsión armónica Total entre otros.



Figura 3. 3 Analizador de red eléctrica Fluke 1730

Fuente: (Reportero Industrial, 2014)

El analizador permite comparar varios puntos de datos al mismo tiempo y construir una imagen completa del uso de la energía, con ayuda del software de aplicación de análisis energético. Se lo instaló en el banco de transformadores que alimenta la planta de lubricantes y después de una semana en el banco de transformadores que alimenta la planta de tambores.

3.4.1 Conexión del analizador de red eléctrica

En la figura 3.4 se ilustra la conexión del analizador, se coloca las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N(neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.

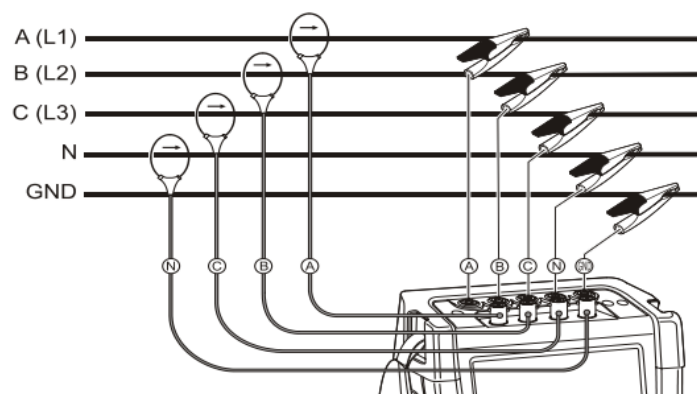


Figura 3. 4 Conexión trifásica del Fluke 1730

Fuente; (FLUKE, 2012)

Conexiones de entrada, realice las conexiones de tensión: comience por la conexión a tierra y, después, en sucesión N, A (L1), B (L2) y C (L3). Para

obtener resultados de medida correctos, conecte siempre la entrada de conexión a tierra. Compruebe que las pinzas amperimétricas están firmemente fijadas y completamente cerradas alrededor de los conductores. Para medidas monofásicas, utilice la entrada de corriente A (L1) y las entradas de tensión de conexión a tierra, N(eutro) y fase A (L1). A (L1) es la fase de referencia para todas las medidas, configure el analizador según la tensión de línea, la frecuencia y la configuración del cableado del sistema de alimentación que desee medir. Las pantallas de osciloscopio y fasor son útiles para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectados correctamente (FLUKE, 2012).

1.22 3.5 Gráficos de los disturbios eléctricos en la planta

Los datos detallados de las lecturas tomadas por el analizador serán entregados en archivo digital, debido a lo extenso del mismo, (más de 20 mil mediciones) los principales resultados serán analizados a continuación.

Consideraciones:

- En la planta de lubricantes, el analizador estuvo instalado 11 días, los cuales fueron realizadas en 2 fines de semana, días en los que la demanda de la planta es menor, por lo que se tomó como periodo de análisis una semana, de jueves a jueves con el fin de que los valores promedios se acerquen más a la realidad de la demanda.

- Se mostraron los datos obtenidos en las 24 horas, pero para efectos de promedios se utilizó el horario de consumo normal de la planta, de 6:00 am a 12 am. Para la planta de lubricantes y plásticos y de 6.00 am a 4.00 pm para la planta de tambores; ya que en los horarios no laborables la demanda baja considerablemente afectando por defecto los valores promedios

A continuación, se detallan en las figuras 3.5 hasta 3.20 las gráficas de niveles de tensiones, corriente de armónicos, potencias y THD del banco de transformadores que alimenta la planta de lubricantes y plásticos, y del banco de transformadores que alimenta la planta de tambores.

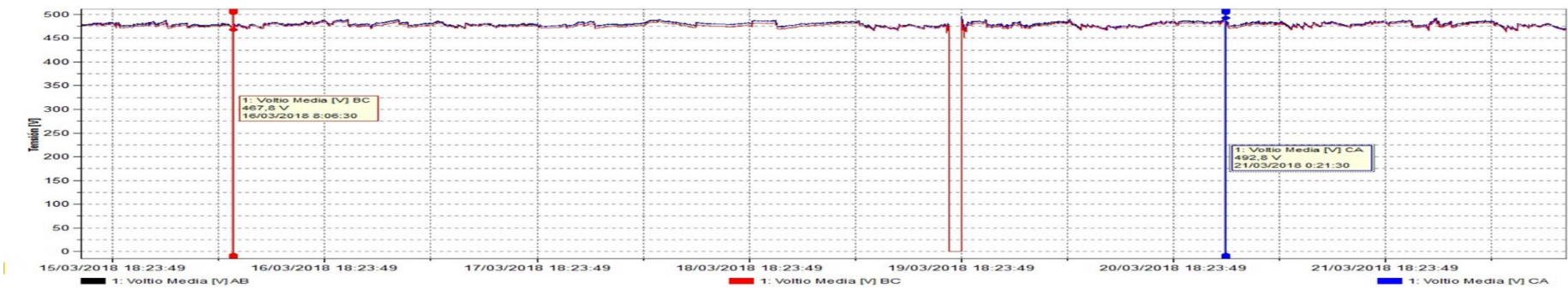


Figura 3. 5 Tensiones por fase (A – B – C)

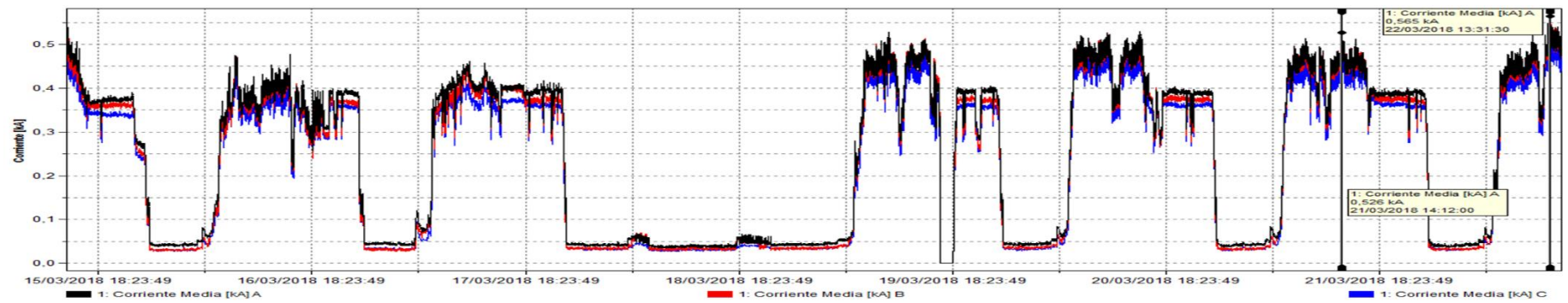


Figura 3. 6 Corrientes por fase (A – B –C)

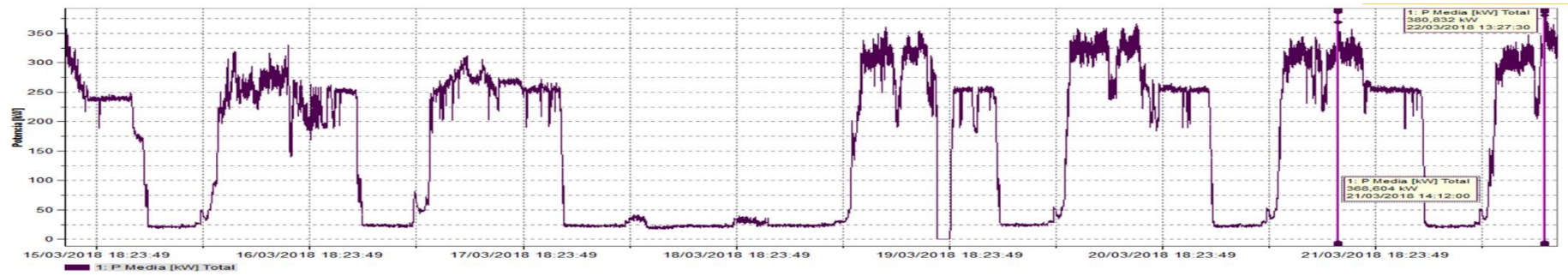


Figura 3. 7 Potencia activa 3Ø (kW)

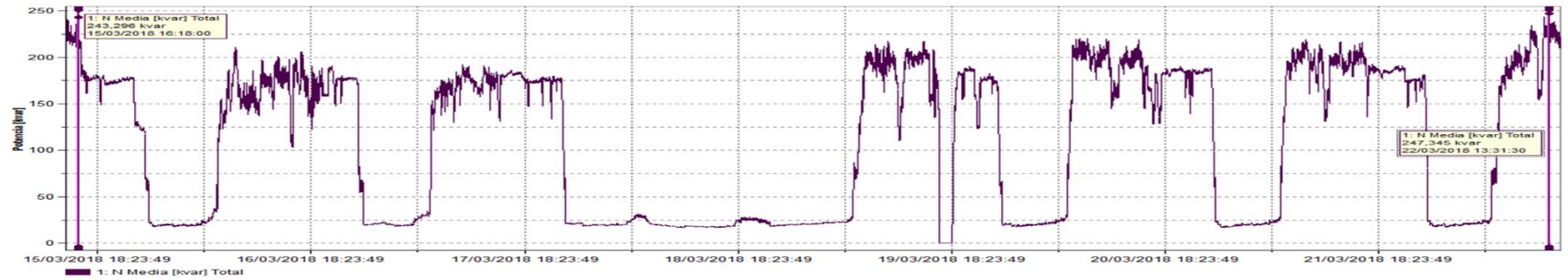


Figura 3. 8 Potencia reactiva 3Ø (Kvar)

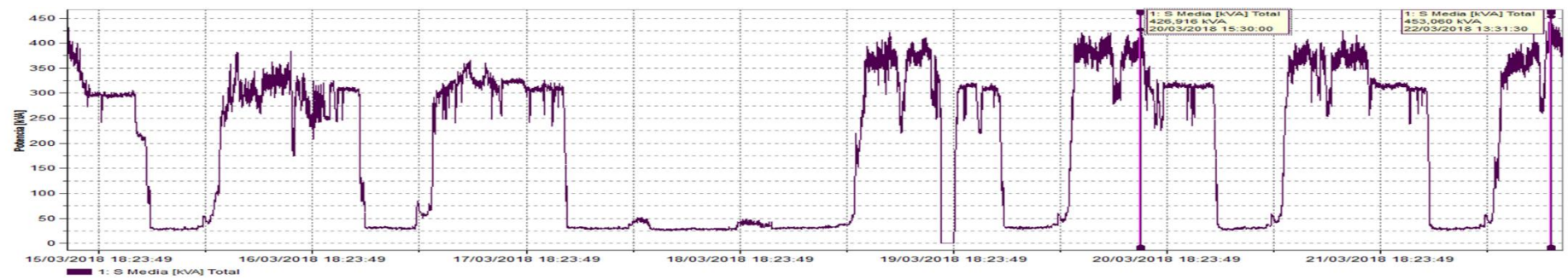


Figura 3. 9 Potencia aparente (KVA)

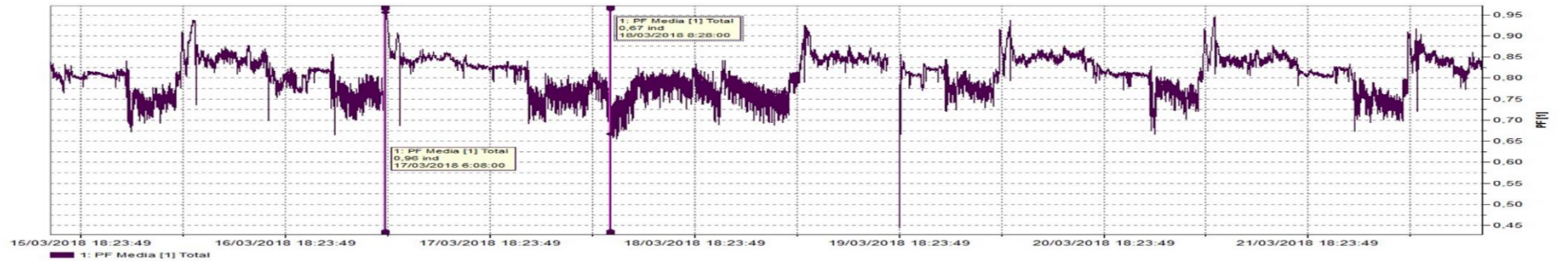


Figura 3. 10 Factor de potencia

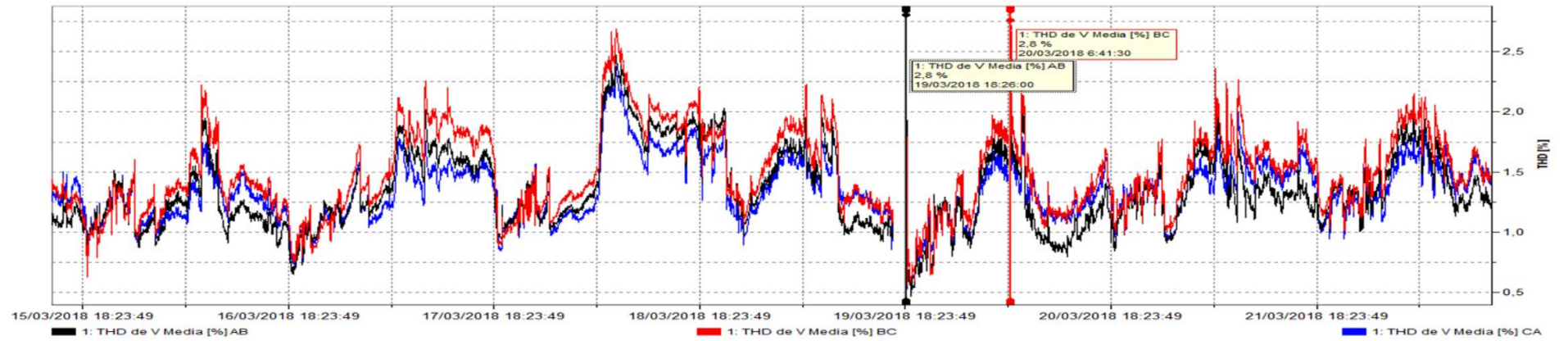


Figura 3. 11 THD tensiones (%)

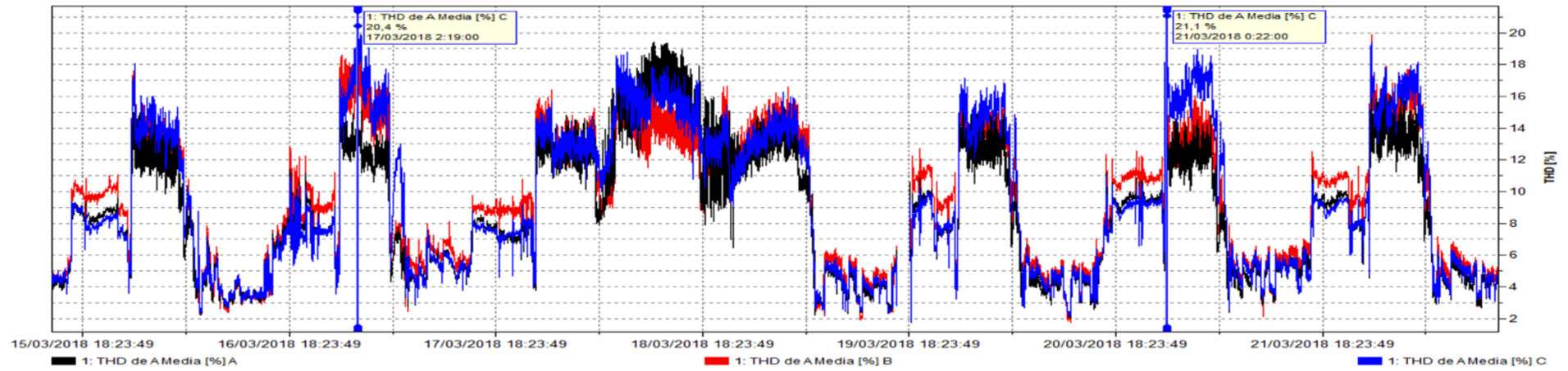


Figura 3. 12 THD Corrientes (%)

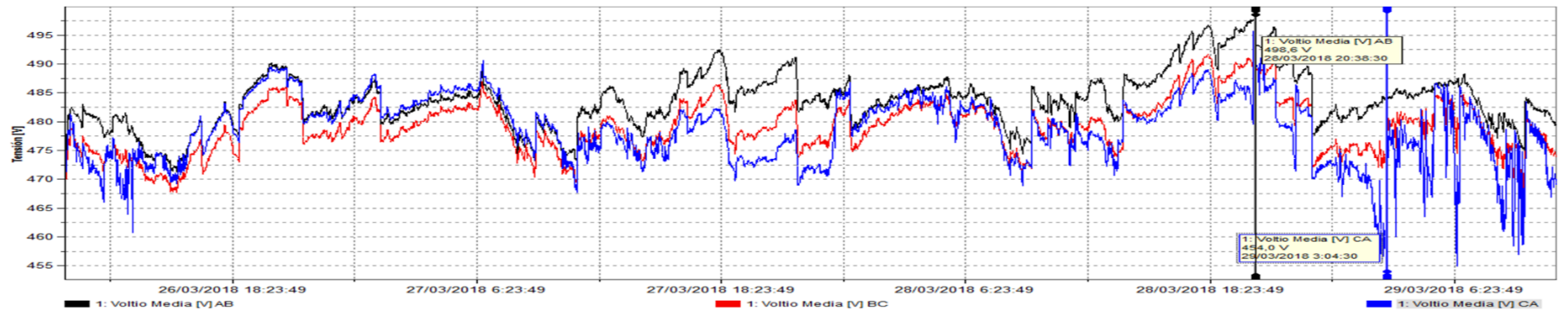


Figura 3. 13 Tensiones por fase (A – B – C)

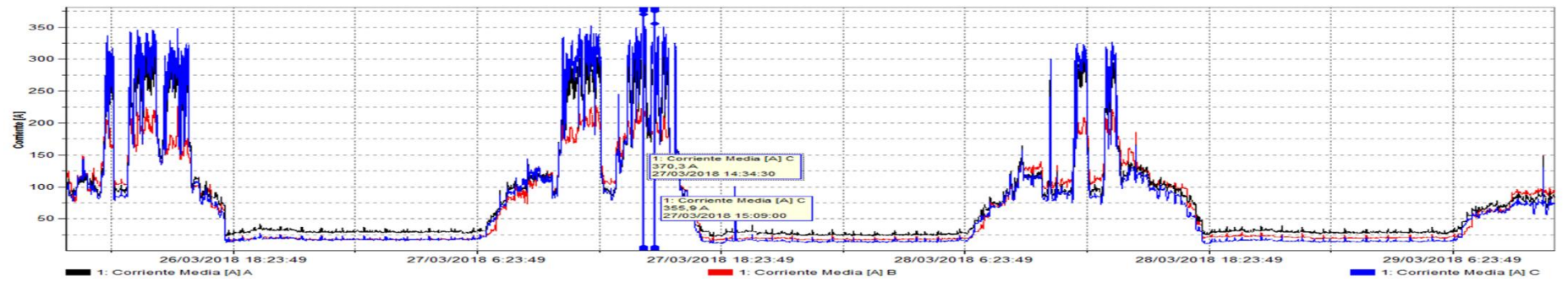


Figura 3. 14 Corriente por fase (A – B – C)



Figura 3. 15 Potencia activa 3Ø (kW)

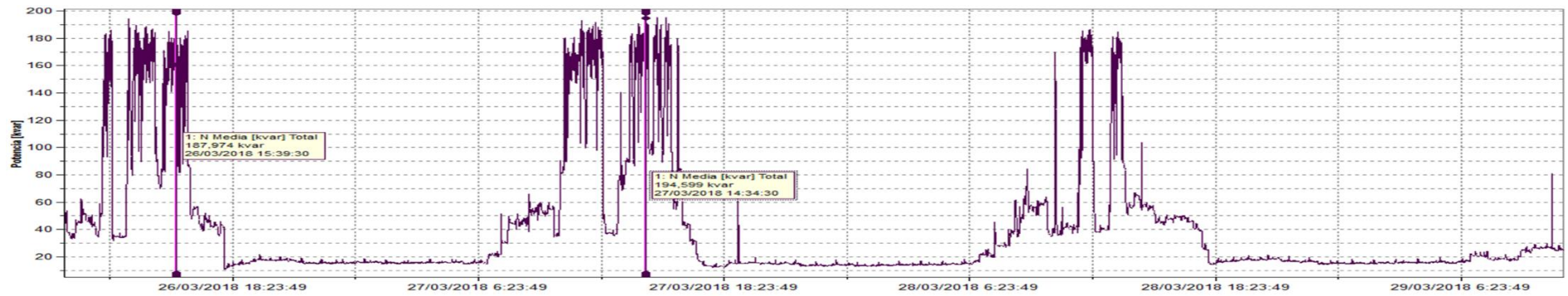


Figura 3. 16 Potencia reactiva 3Ø (kvar)

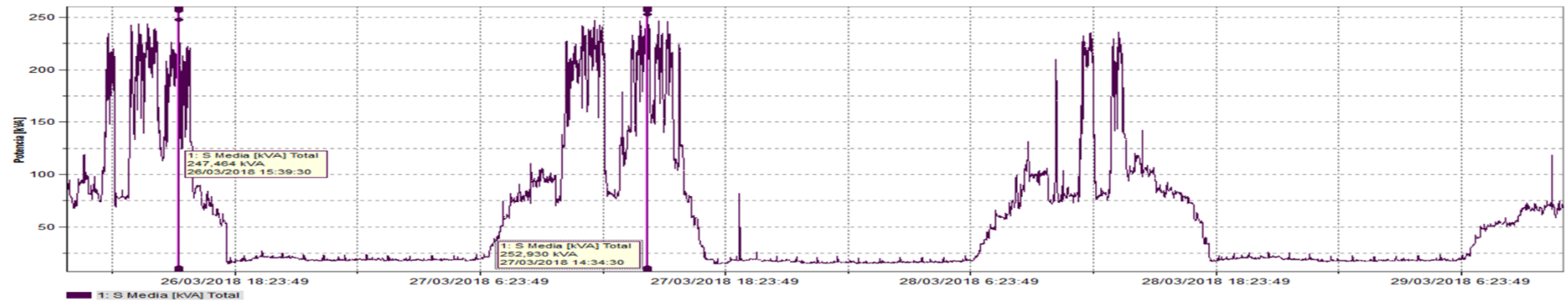


Figura 3. 17 Potencia aparente 3Ø (kVA)

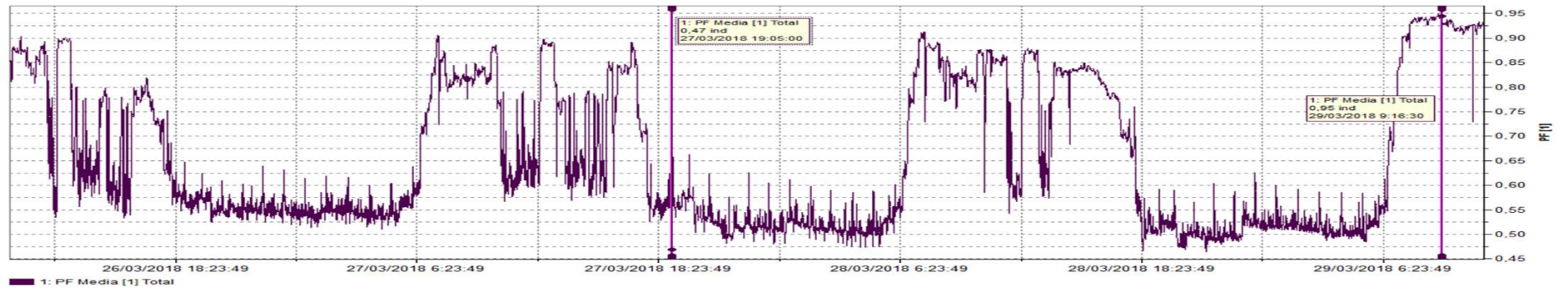


Figura 3. 18 Figura 3. 8 Factor de potencia

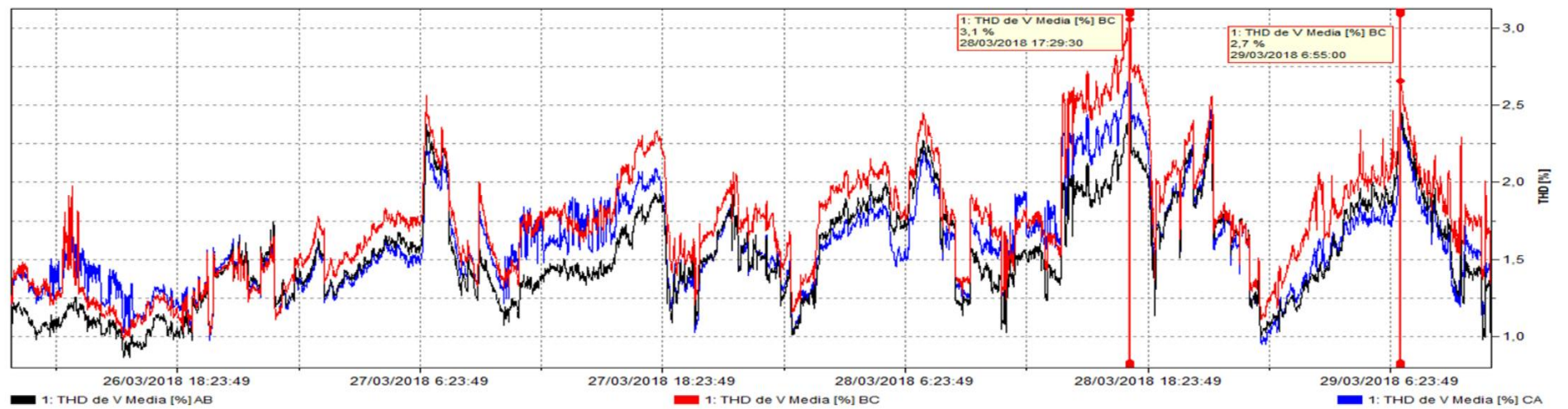


Figura 3. 19 THD Tensiones (%)

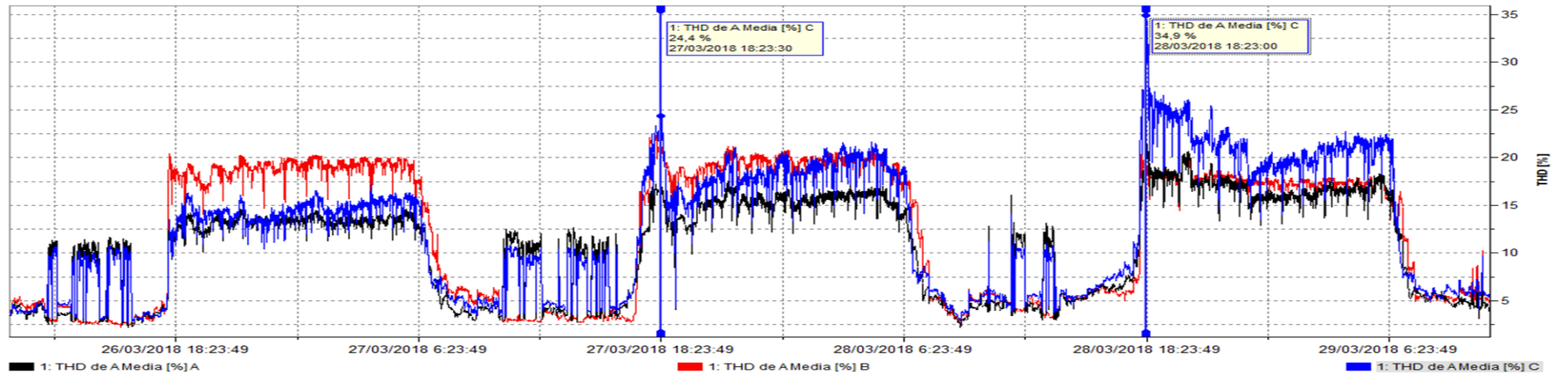


Figura 3. 20 THD Corrientes (%)

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA

1.23 4.1 Planta de Lubricantes

En 12 días, por 24 horas se obtuvieron los siguientes niveles de tensiones y corrientes.

Tabla 4. 1 Planta de lubricantes y plásticos: tensiones y corrientes.

	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)
Valor Medio	277,71	275,86	275,97	479,89	476,87	480,11	249,98	239,97	227,83
Valor Max.	285,44	283,10	283,49	492,84	489,45	493,52	564,62	561,33	532,92
Valor Min.	264,50	262,21	261,31	457,34	451,80	455,80	34,57	27,23	26,62

En 12 días, por 24 horas se obtuvieron los siguientes niveles de potencia activa y reactiva.

Tabla 4. 2 Datos obtenidos de potencia activa y reactiva.

	Pa(kW)	Pb(kW)	Pc(kW)	P3Ø(kW)	Qa(kvar)	Qb(kvar)	Qc(kvar)	Q3Ø(kvar)
Valor Medio	58,47	52,68	52,96	164,11	36,88	39,70	33,51	110,93
Valor Max.	133,04	125,51	124,35	380,83	82,42	89,07	78,33	247,35
Valor Min.	6,72	3,99	5,96	17,33	5,34	5,80	1,71	16,91

En 12 días, por 24 horas se obtuvieron los siguientes niveles de potencia aparente y factor de potencia.

Tabla 4. 3 Datos de los niveles de potencia aparente y factor de potencia.

	Sa(kVA)	Sb(kVA)	Sc(kVA)	S3Ø(kVA)	CosØ
Valor Medio	69,25	66,12	62,75	198,34	0,81
Valor Max.	155,11	153,76	145,84	453,06	0,96
Valor Min.	9,64	7,44	7,33	25,53	0,65

En 12 días, por 24 horas se obtuvieron los siguientes niveles de cargabilidad del banco de transformadores.

Tabla 4. 4 Datos de los niveles de cargabilidad del banco de transformadores

	750 kVA
Valor Medio	26%
Valor Max.	60%
Valor Min.	3%

Desde el jueves 15 a jueves 22, de 6.00 am a 12 am., se obtuvieron los siguientes niveles de datos de tensiones y corriente.

Tabla 4. 5 Datos de los niveles de tensiones y corriente

	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)
Valor Medio	277,21	275,69	275,64	479,31	476,57	479,24	365,50	354,66	336,96
Valor Max.	283,71	281,77	282,70	489,79	488,00	491,38	564,62	561,33	532,92
Valor Min.	264,50	262,21	261,31	457,34	451,80	455,80	40,30	31,24	32,22

Desde el jueves 15 a jueves 22, de 6.00 am a 12 am., se obtuvieron los siguientes niveles de datos de potencia activa y reactiva.

Tabla 4. 6 Datos de niveles de potencia activa y reactiva.

	Pa(kW)	Pb(kW)	Pc(kW)	P3Ø(kW)	Qa(kvar)	Qb(kvar)	Qc(kvar)	Q3Ø(kvar)
Valor Medio	85,80	78,64	78,23	242,67	53,43	57,80	49,69	161,72
Valor Max.	133,04	125,51	124,35	380,83	82,42	89,07	78,33	247,35
Valor Min.	8,17	5,16	7,36	21,07	6,44	6,90	1,71	19,64

Desde el jueves 15 a jueves 22, de 6.00 am a 12 am., se obtuvieron los siguientes niveles de datos de potencia de aparente y factor de potencia.

Tabla 4. 7 Datos de potencia de aparente y factor de potencia.

	Sa(kVA)	Sb(kVA)	Sc(kVA)	S3Ø(kVA)	CosØ
Valor Medio	101,21	97,70	92,79	291,89	0,83
Valor Max.	155,11	153,76	145,84	453,06	0,96
Valor Min.	11,25	8,63	8,94	29,60	0,67

Desde el jueves 15 a jueves 22, de 6.00 am a 12 am., se obtuvieron los siguientes niveles de datos de cargabilidad del transformador.

Tabla 4. 8 Datos de cargabilidad del transformador

	750 kVA
Valor Media	39%
Max.	60%
Min.	4%

1.24 4.2 Análisis de cargabilidad:

Como se puede apreciar en las Tabla 4.8, el banco de transformador presenta en el periodo, una cargabilidad media del 39%, llegando a valores máximos de 60 %. En las grafica 3.7 se puede apreciar que los momentos de máxima son picos ocurridos cada día.

1.25 4.3 Análisis de factor de potencia:

Como se puede apreciar en la tabla 4.7 y la gráfica 3.8 el factor de potencia se mantiene inductivo en todo el periodo, en rangos de 0.67 a 0.96, siendo el valor medio de 0.83. Dichos valores no son buenos, pero la planta presenta corrección de factor de potencia por alta tensión no registrada por el analizador.

1.26 4.4 Análisis de tensiones:

Utilizando los valores de la Tabla 4.1, para conocer el rango de las tensiones mínimo y máximo en el periodo, respecto a los valores nominales se obtiene lo siguiente. Véase la tabla 4.9.

Tabla 4. 9 Valores máximos y mínimos de tensión respecto al nominal en por ciento.

	277 V			480 V		
	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)
Valor Max.	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Valor Min.	-5%	-5%	-6%	-5%	-6%	-5%

Como se puede apreciar, las tensiones por fase se encuentran en un rango de -6% a 2% del nominal, lo que se encuentra dentro del rango establecido y permitido por las normas de $\pm 10\%$.

1.27 4.5 Análisis de armónicos:

En las normas eléctricas se especifican ciertos umbrales porcentuales para los valores totales de distorsión armónica (THD) de tensión y corriente. A continuación, se describen los fenómenos correspondientes a su presencia:

❖ THD para tensión

- Menor al 5%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.
- Entre 5 y 8%: contaminación armónica, puede que se produzca algún funcionamiento incorrecto.
- Mayor al 8%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto. Pues, es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

❖ THD para corriente

- Menor al 10%: situación normal, sin riesgos de funcionamiento incorrecto.
- Entre 10 y 50%: contaminación armónica con riesgo de aumento de temperatura, y la necesidad consiguiente de sobredimensionar cables y fuentes.
- Mayor al 50%: contaminación armónica importante, es probable que se produzca algún funcionamiento incorrecto. Es necesario un análisis profundo y la instalación de dispositivos de atenuación.

A continuación, se presentan el resultado, donde se obtuvieron los siguientes niveles de datos armónicos de tensión y corriente; durante 7 días por 24hs.

Tabla 4. 10 Resultados de la planta de lubricantes y plásticos: armónicos de tensión y corriente

	THD Ua %	THD Ub %	THD Uc %	THD Ia %	THD Ib %	THD Ic %
Valor Max.	2,51	2,76	2,41	19,45	19,92	21,10
Valor Medio	1,35	1,49	1,35	8,70	9,48	9,40

Desde el jueves 15 a jueves 22, de 6.00am a 12am., se obtuvieron los siguientes niveles de datos de armónicos de tensión y corriente.

Tabla 4. 11 Datos de armónicos de tensión y corriente

	THD Ua %	THD Ub %	THD Uc %	THD Ia %	THD Ib %	THD Ic %
Valor Max.	2,45	2,76	2,33	15,03	16,56	17,47
Valor Promedio	1,28	1,44	1,33	6,22	7,07	6,45

Se puede apreciar en las tablas 4.10 y 4.11 y en la figura 3.11, que los índices de THD para tensión son similares, si se toma el período completo o el horario laboral y en ambos casos, menores al 5%, tal como muestran las normas.

En cambio, los valores de THD de corriente aumentan cuando se consideran mediciones de todo el día y no sólo del período de labores; en ambos casos el valor medio se mantiene por debajo del 10%, no es perjudicial, pero se tienen picos y mayores al 10%.

En concomitante, observando la figura 3.12, se puede apreciar que los índices de distorsión armónica de corriente, se elevan durante los períodos donde las planta no labora; o posee una menor demanda, y aunque estos porcentajes superan en promedio el 10% recomendado, estos se producen durante horas de poca demanda de carga y de baja corriente. Además, están por debajo del umbral de 50% mencionado anteriormente. Por tanto, estas distorsiones, aunque aparentemente elevadas, no representan motivo de alarma.

1.28 4.6 Estudio de la planta de tambores

A continuación, en la tabla 4.12 se puede ver los resultados de los datos obtenidos de tensiones y corrientes, durante 3 días por 24hs.

Tabla 4. 12 Datos de la planta de tambores: Tensiones y de corriente

	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)
Valor medio	278,22	278,54	275,61	483,77	479,27	478,72	78,90	66,34	72,59
Valor max.	287,44	287,67	285,34	498,60	494,96	495,87	325,37	231,78	370,28
Valor min.	269,38	271,14	262,95	471,29	467,73	453,96	22,48	15,36	10,92

En la tabla 4.13 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: potencia activa y reactiva, durante 3 días por 24hs.

Tabla 4. 13 Datos de potencia activa y reactiva

	Pa (kW)	Pb (kW)	Pc (kW)	P3Ø (kW)	Qa (kvar)	Qb (kvar)	Qc (kvar)	Q3Ø (kvar)
Valor Medio	14,92	13,04	15,29	43,24	14,89	11,94	12,38	41,20
Valor Max.	46,16	52,06	68,31	161,57	79,76	44,38	73,89	195,82
Valor Min.	3,90	0,66	2,28	7,62	1,28	3,90	0,80	10,65

En la tabla 4.14 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: Potencia aparente y factor de potencia, durante 3 días por 24hs.

Tabla 4. 14 Datos de potencia aparente y factor de potencia

	Sa(kVA)	Sb(kVA)	Sc(kVA)	S3Ø(kVA)	CosØ
Valor Medio	21,85	18,40	19,90	60,90	0,66
Valor Max.	88,68	63,81	100,62	252,93	0,95
Valor Min.	6,31	4,25	3,07	14,73	0,46

En la tabla 4.15 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: Cargabilidad del banco de transformadores, durante 3 días por 24hs.

Tabla 4. 15 Datos de cargabilidad del banco de transformadores

	750 kVA
Valor Media	8%
Valor Max.	34%
Valor Min.	2%

En la tabla 4.16 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: tensiones y corrientes, durante 3 días por 12hs.

Tabla 4. 16 Datos de tensiones y corrientes

	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)	Ia(A)	Ib(A)	Ic(A)
Valor Medio	277,29	277,59	274,85	482,03	477,83	477,32	127,22	111,53	127,14
Valor Max.	284,37	285,78	282,37	495,79	490,94	490,77	325,37	231,78	370,28
Valor Min.	269,38	271,14	263,98	471,29	467,73	454,97	22,48	16,14	12,06

En la tabla 4.17 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: Potencia activa y reactiva, durante 3 días por 12hs.

Tabla 4. 17 Datos de potencia activa y reactiva

	Pa(kW)	Pb(kW)	Pc(kW)	P3Ø(kW)	Qa(kvar)	Qb(kvar)	Qc(kvar)	Q3Ø(kvar)
Valor Medio	24,45	24,59	26,41	75,46	23,20	18,29	22,08	65,86
Valor Max.	46,16	52,06	68,31	161,57	79,76	44,38	73,89	195,82
Valor Min.	4,17	1,12	2,57	7,92	1,28	4,16	0,80	10,95

En la tabla 4.18 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: Potencia aparente y factor de potencia, durante 3 días por 12hs.

Tabla 4. 18 Datos de potencia aparente y factor de potencia

	Sa(kVA)	Sb(kVA)	Sc(kVA)	S3Ø(kVA)	CosØ
Valores Medios	35,18	30,89	34,82	101,82	0,78
Valores Max.	88,68	63,81	100,62	252,93	0,95
Valores Min.	6,31	4,56	3,35	14,98	0,50

En la tabla 4.19 muestra los resultados de los datos obtenidos en la planta de tambores: Cargabilidad del banco de transformadores, durante 3 días por 12hs.

Tabla 4. 19 Datos de cargabilidad del banco de transformadores

	750 kVA
Valor Media	14%
Valor Max.	34%
Valor Min.	2%

1.29 4.7 Análisis de cargabilidad

Como se puede apreciar en la tabla 4.19, el banco de transformador presenta en el período una cargabilidad media del 14%, llegando a valores máximos de 34%. Por tanto, en la figura 3.17 se puede observar que los momentos de máxima, son picos ocurridos cada día.

1.30 4.8 Análisis de factor de potencia

Como se muestra en la tabla 4.18 y la figura 3.18, el factor de potencia se mantiene inductivo en todo el periodo, en rangos de 0.50 a 0.95, siendo el valor medio de 0.78. Estos valores no son buenos, pero la planta presenta corrección de factor de potencia por alta tensión no registrada por el analizador.

1.31 4.9 Análisis de tensiones

Utilizando los valores de la tabla 4.1, para calcular el rango de tensiones mínimo y máximo, respecto al valor nominal se obtiene lo siguiente: Véase la tabla 4.20.

Tabla 4. 20 Valores máximos y mínimos de tensión respecto al nominal, en por ciento.

	277 V			480 V		
	Uan(V)	Ubn(V)	Ucn(V)	Uab(V)	Ubc(V)	Uca(V)
Valor max.	3%	3%	2%	3%	2%	2%
Valor min.	-3%	-2%	-5%	-2%	-3%	-5%

Como se puede observar, las tensiones por fase se encuentran en un rango de -5% a 3% del nominal, lo que se encuentra dentro del rango establecido y permitido por las normas de $\pm 10\%$.

1.32 4.10 Análisis de armónicos

A continuación, en la tabla 4.21 se puede apreciar los resultados de los datos de la planta de tambores: distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente, durante 3 días por 24hs.

Tabla 4. 21 Datos de distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente

	THD Ua%	THD Ub%	THD Uc%	THD Ia%	THD Ib%	THD Ic%
Valor Max.	2,45	3,06	2,72	21,49	22,37	34,93
Valor Promedio	1,53	1,74	1,61	10,87	12,16	12,55

La tabla 4.22 muestra los resultados de datos de distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente, durante 3 días por 12hs.

Tabla 4. 22 Distorsión armónica total (THD) tensiones y corriente

	THD Ua %	THD Ub %	THD Uc%	THD % Ia	THD % Ib	THD % Ic
Valor Max.	2,45	3,06	2,72	18,27	22,13	22,57
Valor Promedio	1,53	1,79	1,69	6,72	5,90	7,19

Se puede ver en las tablas 4.21, 4.22 y en la figura 3.19 que los índices de THD para tensión son similares, tanto para el periodo de 24 horas como para el horario laboral, y menores al 5% en ambos casos, tal como indican las normas establecidas.

Los promedios de los THD de corriente son menores al 10% en el horario de producción. Estos promedios, en cambio, son mayores al 10% al analizar la totalidad del día, como también lo son los valores máximos de distorsión para ambos horarios.

Observando la figura 3.20 se puede ver que, al igual que en la planta de lubricantes y plásticos, los índices de distorsión armónica en la de tambores se elevan durante los períodos sin producción; y aunque estos superan en

promedio el 10% recomendado, estos se producen durante horas de poca demanda de carga y de baja corriente. Además, de que están por debajo del umbral de 50% indicado por las normas. Por tanto, estas distorsiones, aunque aparentemente elevadas, no representan motivo de alarma.

1.33 4.11 Análisis de posible aumento de carga de la planta de plástico.

En el periodo objeto de estudio, la planta estuvo funcionando de manera tal, que alternaba las máquinas sopladoras y no se le ha dado arranque a un compresor de 100 HP (ver la tabla 4.23). A continuación, se analiza en el caso hipotético si toda la carga estaría conectada.

Los datos de demanda máxima de los equipos que no se encuentran en uso o no se usan simultáneamente son:

Tabla 4. 23 Datos de los equipos en desuso

	D3Ø(kW)
Sopladora PET	153
Compresor 100HP	82,85
TOTAL	235,85

Incrementando estas cargas a la potencia registrada para los valores medios y máximos se obtiene:

Tabla 4. 24 Datos de potencia registrada para los valores medios y máximos

	P3Ø(kW)	P. Incrementada	S3Ø(kVA)	% carga
Valor Media	242,67	478,52	562,96	75%
Valor Max	380,83	616,68	725,51	97%

Como se puede observar, presumiendo que la carga de las máquinas se incrementara de manera total a la potencia media y máxima del banco (no teniendo en cuenta ningún factor). El mismo presentaría una carga media del 75% con picos máximos del 97%. Lo cual es una condición de operación normal para el banco de transformador.

1.34 CONCLUSIONES

Un problema de calidad de potencia es debido a cualquier variación en el servicio de potencia eléctrica que dé lugar a funcionamiento defectuoso o fallo en el equipamiento del usuario, tales como: reducción de tensión, sobretensión, transitorios, distorsión armónica y ruido eléctrico.

La IEEE 519 recomienda prácticas y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica. La filosofía de tales regulaciones es limitar la inyección de armónicos de los clientes para que no causen niveles de distorsión de voltaje inaceptables para las características normales del sistema y limitar la distorsión armónica total general del voltaje del sistema suministrado por la empresa de servicios públicos.

La capacidad de un sistema de energía para funcionar a niveles óptimos se ve comprometida cuando la distorsión armónica ingresa al sistema. Crea ineficiencias en las operaciones de los equipos debido a la mayor necesidad de consumo de energía. El aumento de la corriente general requerida genera mayores costos de instalación y servicios públicos, calefacción y una disminución de la rentabilidad.

El monitoreo y análisis de la calidad de la energía son necesarios para mantener un funcionamiento perfecto y seguro de los equipos sensibles,

Del análisis a los resultados obtenidos de mediciones a bancos de transformadores de la planta de lubricantes, son los siguientes:

- Los rangos de tensión de ambas plantas se encuentran dentro de los valores y/o niveles normalizados.
- La planta de plástico y lubricantes presenta una cargabilidad media en el período laboral del 39% con picos máximos del 60% por lo que presenta reservas suficientes para asumir el trabajo de la totalidad de las cargas.

- La planta de tambores presenta una cargabilidad media del 14% con picos máximos del 34 %. Por lo que presenta una reserva considerable en su banco de transformador.
- La sumatoria de Potencia activa máxima, suponiendo coincidencia de cargas es de ambas plantas y todos los equipos funcionando es de 778.25 kW por lo que se el generador de emergencia puede servir la totalidad de las cargas en condiciones normales de operación.

1.35 RECOMENDACIONES

Se recomienda siempre el cálculo de potencias si se expande la planta, tomando en cuenta normativas de factor de potencias.

Los trabajos de implementación de nuevas máquinas eléctricas, puesta en marcha, mantenimiento y análisis de calidad de energía se deben realizar por profesionales en ingeniería eléctrica o afín.

Todos los recintos metálicos, conductos eléctricos, conductores de puesta a tierra de equipos y electrodos de puesta a tierra deben estar unidos sólidamente en un sistema continuo conectado eléctricamente.

Todo el acero estructural de la planta debe estar unido en una sola masa eléctricamente conductora y conectada a la tierra del servicio eléctrico requerida en la entrada del servicio, así como al sistema conductor de puesta a tierra del equipo.

La puesta a tierra aislada es una técnica poco definida que intenta reducir las posibilidades de que "ruido" ingrese a equipos electrónicos sensibles a través del conductor de tierra del equipo.

Se recomienda emplear filtros de armónicos, con aquello se pueden:

- Minimizar costo de instalación y servicios públicos.
- Sobre calentamiento de componentes.
- Mal funcionamiento del equipo.
- Disparos no deseados de interruptores automáticos.
- Mediciones inexactas en sensores.
- Interferencia de equipos de telecomunicaciones.

1.36 BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Freddy. (2019). Normas ISO 9000. (ESAN, Interviewer) Retrieved from <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2019/09/normas-iso-9000-conoce-el-sistema-de-gestion-de-calidad/>
- Can Stock Photo. (2021). *Grupo De Barriles Con Lubricante De Aceite De Motor Aislado En Fondo Blanco*. Retrieved from <https://www.canstockphoto.es/barriles-aceite-grupo-plano-de-fondo-58185821.html>
- Cardiel, J. (2017). *Conceptos Básicos de calidad según la ASQ*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/341920361/Conceptos-Basicos-de-Calidad-segun-la-ASQ>
- Carrera, J., & Paz, R. (2018). *Resultados de la auditoría ambiental en planta de grasas y aceites lubricantes*. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2578/1/5056.pdf>
- Circuitor. (2015). *Soluciones*. Retrieved from <http://circuitor.es/es/formacion/energias-renovables-autoconsumo/autoconsumo-diferido-con-acumulacion-acoplamiento-dc>
- Crushtymks. (2014). *Definición del tamaño y la ubicación del condensador en el sistema eléctrico (2)*. Retrieved from <https://crushtymks.com/es/low-voltage/1127-defining-size-and-location-of-capacitor-in-electrical-system-2.html>
- Donolo, P., Bossio, G., & Castellino, A. (2008). *Estimación de la Carga Admisible en Motores con Desbalance de Tensión*. Retrieved from

AADECA 2008 – Semana del Control Automático – XXIº Congreso Argentino de Control Automático 1 al 3 de Septiembre de 2008 – Buenos Aires, Argentina. ESTIMACIÓN DE LA CARGA ADMISIBLE EN MOTORES CON DESBALANCE DE TENSIÓN

Energética. (2019). *Qué es un Flicker?* Retrieved from <https://www.energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/que-es-exactamente-un-flicker#:~:text=P.u%20representa%20la%20%22unidad%20de,con%20otras%20fuentes%20de%20interferencia.>

Erazo, R., & Quevedo, P. (2018). *“ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA Y REDISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA PLANTA INDUSTRIAL CORPORACIÓN DE PROYECTOS MÚLTIPLES MULTIPROYECTOS S.A”*. Retrieved from Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16515/1/UPS-GT002420.pdf>

FLUKE. (2012). *Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica. Manual de uso.* Retrieved from http://assets.fluke.com/manuals/F430-II_umspa0100.pdf

Henríquez, R., Olano, C., & Salguero, J. (2015). *Motores trifásicos de inducción, evaluación y control de pérdidas con aplicación de capacitores.* Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/7464/1/Motores%20trif%C3%A1sicos%20de%20inducci%C3%B3n%20de%20evaluaci%C3%B3n%20y%20control>

%20de%20p%C3%A9rdidas%20con%20aplicaci%C3%B3n%20de%20
0capacitores.pdf

Improselec S.A. (2019). *Análisis de calidad de energía*. Retrieved from
<https://improselec.com/analisis-de-calidad-de-energia/>

León Tovar, A. (2017). *Evaluación y Diseño Del Sistema de Protección
Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas Para la Facultad de Medio
Ambiente y Recursos Naturales* . Retrieved from Universidad Distrital
Francisco José De Caldas:
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7669>

López, J., & Ventura, E. (2019). *Estudio del desbalance de tensiones y sus
efectos en la calidad del producto técnico para sistemas de
distribución a nivel industrial*. Retrieved from UNIVERSIDAD DE EL
SALVADOR:

[http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19500/1/Estudio%20del%20desbalance%
20de%20tensiones%20y%20sus%20efectos%20en%20la%20calidad
%20del%20producto%20t%C3%A9cnico%20para%20Sistemas%20d
e%20Distribuci%C3%B3n%20a%20Nivel%20Industrial.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19500/1/Estudio%20del%20desbalance%20de%20tensiones%20y%20sus%20efectos%20en%20la%20calidad%20del%20producto%20t%C3%A9cnico%20para%20Sistemas%20de%20Distribuci%C3%B3n%20a%20Nivel%20Industrial.pdf)

Olikara, K. (2015). *Problemas de calidad de energía, impactos y mitigación
para clientes industriales*. Retrieved from Harmonics : [https://rexel-
cdn.com/Products/FDB49A5E-52F1-4083-B8DB-
9CF5367343E1/FDB49A5E-52F1-4083-B8DB-9CF5367343E1.pdf](https://rexel-cdn.com/Products/FDB49A5E-52F1-4083-B8DB-9CF5367343E1/FDB49A5E-52F1-4083-B8DB-9CF5367343E1.pdf)

Perfo Partes de Mexico, S.A. (2021). *Distribuidor Autorizado de Lubricantes
Kluber Summit*. Retrieved from
<http://www.perfopartesmexico.com/lubricantes-kluber-summit>

Preditec. (2016). *Mantenimiento Predictivo*. Retrieved from <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/termografia/>

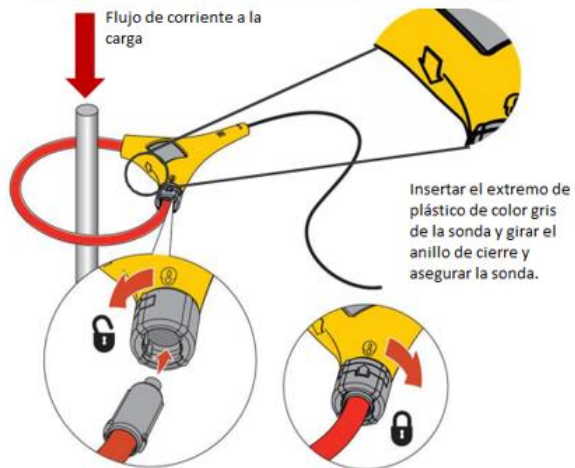
Real Academia Española. (2020). *Calidad. Concepto*. Retrieved from <https://dle.rae.es/calidad>

Reportero Industrial. (2014). *REGISTRADOR TRIFÁSICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, FLUKE 1730*. Retrieved from <https://www.reporteroindustrial.com/temas/Registrador-trifasico-de-energia-electrica,-Fluke-1730+50000141?tema=12000310>

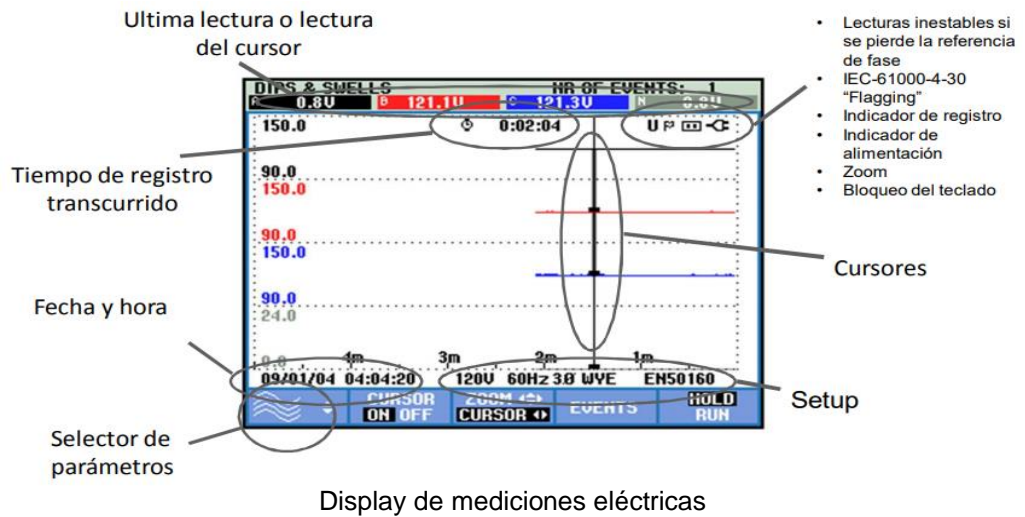
1.37 ANEXO 1: Equipo analizador de red eléctrica



FLUKE 1730



Conexión en medición eléctrica



Conexión del equipo de medición en banco de transformadores



Conexión del equipo de medición en banco de transformadores



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny** con C.C: 0925488454 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de marzo del 2021

Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny

C.C: 0925488454



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes		
AUTOR(ES)	Muñoz Alvarado, Daniel Geovanny		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de marzo del 2021	No. DE PÁGINAS:	77
ÁREAS TEMÁTICAS:	Eficiencia energética, Mediciones eléctricas, Máquinas eléctricas		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Calidad de Energía Eléctrica, Factor de Potencia, THD, Consumo Eléctrico, Banco de Transformadores, Distorsión Armónica		
<p>Se presenta el trabajo de titulación que tiene como objetivo principal evaluar corrientes, tensiones, distorsión armónica y factor de potencia en bancos de transformadores de una fabricante de lubricantes en la ciudad de Guayaquil. Los aspectos mencionados forman parte de disturbios eléctricos que afectan la calidad de la energía eléctrica en los procesos de fabricación de lubricantes. Como metodología se emplea; el método descriptivo que forma un marco teórico acerca de la calidad de la energía eléctrica, sus causas y efectos en máquinas eléctricas como motores, generadores etc. Se emplea el método empírico por procedimientos de obtención de datos y manejo de equipo de medición. Se emplea el método analítico por el diagnóstico y evaluación de datos con niveles y estándares. El resultado o propuesta de este trabajo de titulación logrará niveles de tensión, corriente y potencias de la energía eléctrica con proporciones de manejo de la demanda y plantear la implementación de medidas que beneficien a la empresa de lubricantes en cuanto al uso de la energía eléctrica.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-980905390	E-mail: dmunoz_2@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			