



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“PROPUESTA DE MEJORA EN BASE AL ANÁLISIS DE LA
CALIDAD DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTADORES N° 5 Y 6
DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA
ELÉCTRICA COTOPAXI S. A. USANDO LA REGULACIÓN
DEL CONELEC N° 004/01”.**

**Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:
INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

ELABORADO POR:

TERÁN ESPINOSA DIEGO JACINTO

Latacunga, Julio 2012

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

ING. PABLO MENA (DIRECTOR)
ING. MIGUEL LUCIO (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“PROPUESTA DE MEJORA EN BASE AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTADORES N° 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI S. A. USANDO LA REGULACIÓN DEL CONELEC N° 004/01”**, fue realizado en su totalidad por el señor DIEGO JACINTO TERÁN ESPINOSA como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, el mismo que ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que ayudara a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomienda su publicación.

Latacunga, Julio del 2012

Ing. Pablo Mena L.

DIRECTOR

Ing. Miguel Lucio C.

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, TERÁN ESPINOSA DIEGO JACINTO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado **“PROPUESTA DE MEJORA EN BASE AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTADORES N° 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI S.A. USANDO LA REGULACIÓN DEL CONELEC N° 004/01”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

En tal virtud, declaro la autenticidad de este contenido y para efectos legales y académicos que se desprende del presente proyecto de grado, es y será de exclusiva responsabilidad de mi autoría, responsabilidad legal y académica.

Latacunga, Julio del 2012

Diego Jacinto Terán Espinosa

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, TERÁN ESPINOSA DIEGO JACINTO

AUTORIZO

A la Escuela Politécnica del Ejercito, la publicación en la Biblioteca Virtual y/o revistas de la institución de mi trabajo de investigación, titulado: **“PROPUESTA DE MEJORA EN BASE AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTADORES N° 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI S.A. USANDO LA REGULACIÓN DEL CONELEC N° 004/01”**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio del 2012

Diego Jacinto Terán Espinosa

DEDICATORIA

A Dios por concederme la dicha de existir en este mundo maravilloso.

A mis amados PADRES quienes se sacrificaron por mí y me otorgaron los mejores momentos de su vida brindándome su confianza y el apoyo incondicional, frente a mis adversidades.

A mis queridos hermanos; con quienes desde nuestra infancia hemos compartido gratos momentos que quedan impregnados en nuestro ser, a los que les demuestro una vez más que la voluntad puede más que el desespero.

A todos los docentes de la Escuela Politécnica del Ejercito, Extensión Latacunga, por el apoyo incondicional que me brindaron a cada momento.

A todos mis amigos los que durante estos largos, extensos y difíciles años me han ofrecido de forma voluntaria su paciencia, conocimientos y su amistad inigualable.

Diego Terán

AGRADECIMIENTO

Una vez alguien me dijo, “si quieres ser eternamente joven, vive la vida apasionadamente y no dejes de soñar”, desde entonces, vivo en un castillo en el aire.

Esta tesis es el resultado de un intenso trabajo durante todo este tiempo, que en el transcurso de los cuales ha sido importante la ayuda de muchas personas, a todos los que hicieron posible este trabajo, ayudándome a alcanzar mis sueños y anhelos. Es por eso que quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que dedicaron parte de su tiempo.

A los Ing. Pablo Mena, Ing. Washington Freire e Ing. Miguel Lucio, por su constante preocupación a quien es justo reconocer el apoyo brindado y más que todo por haber sido la persona que logro que yo diera este gran paso que de hecho es y será trascendental en mi vida.

A Franklin e Isabel mis padres, Elena, Marcelo, Hernán (Nancho), Paulina, Daniel mis hermanos, por ser el pilar fundamental en mi logro alcanzado, por todo el amor y confianza, en fin a mi familia que en cada momento estuvieron pendientes y brindándome su apoyo incondicional.

A mis amigos quienes estuvieron a mi lado en este empeño, con quienes compartimos desde el primer momento como hermanos las alegrías, las penas y recompensas.

Y a todas las personas que en un momento dado se acordaron de mí y supieron apoyarme de la mejor manera. A ti y a todos los demás mencionados anteriormente muchas gracias.

Diego Terán

ÍNDICE GENERAL

GENERALIDADES

| | |
|---|-------|
| ANTECEDENTES..... | xx |
| OBJETIVO GENERAL | xxii |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO | xxii |
| JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER | xxiii |

CAPÍTULO I.

EL ESTADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

| | | |
|-------|---|---|
| 1.1 | DESCRIPCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA | 1 |
| 1.2 | DEMANDA DE ENERGÍA Y CONSUMIDORES | 2 |
| 1.2.1 | CLASIFICACIÓN DE LOS CONSUMIDORES RESIDENCIALES | 2 |
| 1.2.2 | GRANDES CONSUMIDORES | 3 |
| 1.3 | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEPCO | 4 |
| 1.3.1 | ÁREA DE CONCESIÓN | 4 |
| 1.3.2 | FUENTES DE SUMINISTRO | 4 |
| a. | GENERACIÓN LOCAL | 5 |
| b. | NODOS DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO (S.N.I.)..... | 5 |
| 1.3.3 | SISTEMA DE SUB TRANSMISIÓN DE ELEPCO S.A. | 6 |
| 1.3.4 | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRIMARIO DE ELEPCO S.A..... | 6 |
| a. | SUBESTACIÓN SALCEDO | 7 |
| b. | SUBESTACIÓN SAN RAFAEL | 7 |
| c. | SUBESTACIÓN EL CALVARIO | 7 |
| d. | SUBESTACIÓN LA COCHA | 8 |
| e. | SUBESTACIÓN MULALÓ | 8 |
| f. | SUBESTACIÓN LASSO | 8 |
| g. | SUBESTACIÓN SIGCHOS | 9 |

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.1 | INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2.2 | ASPECTOS GENERALES..... | 11 |
| 2.3 | CALIDAD DE LA ENERGÍA | 12 |
| 2.4 | LA CALIDAD DEL PRODUCTO ELÉCTRICO EN EL ECUADOR | 14 |
| 2.4.1. | MANEJO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN ELEPCO S.A. | 15 |
| 2.4.2. | NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y DEL SERVICIO DE TRANSMISIÓN Y CONEXIÓN. | 16 |
| 2.4.3. | ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDA. | 18 |
| a. | ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDA EN RÉGIMEN SENOIDALES. | 18 |
| b. | ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDAS POR LAS SERIES DE FOURIER..... | 19 |
| 2.4.4. | DEFINICIÓN Y ASPECTOS GENERALES DE LOS ARMÓNICOS. ... | 29 |
| a. | DEFINICIÓN DE ARMÓNICO..... | 29 |
| b. | DEFINICIÓN DE UNA SEÑAL ARMÓNICA..... | 30 |
| c. | CLASIFICACIÓN DE LOS ARMÓNICOS. | 30 |
| d. | ARMÓNICOS Y DIAGRAMAS FASORIALES..... | 32 |
| e. | VALOR EFICAZ DE UNA ONDA DISTORSIONADA..... | 35 |
| f. | INDICADORES ESENCIALES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA. | 36 |
| g. | ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIAS EN PRESENCIA DE ARMÓNICOS. | 41 |
| 2.4.5. | PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 45 |
| a. | ARMÓNICOS..... | 45 |
| a.1. | GENERACIÓN DE ARMÓNICOS..... | 48 |
| a.1.1. | PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE CORRIENTES ARMÓNICAS..... | 48 |
| a.1.2. | EFFECTOS PRINCIPALES DE LOS ARMÓNICOS..... | 49 |
| b. | TRANSITORIOS..... | 66 |

| | | |
|--------|---|----|
| c. | FLICKERS | 71 |
| 2.5. | EQUIPO REQUERIDO EN LAS SUBESTACIONES PARA LA REGULACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA. | 76 |
| 2.5.1. | EQUIPOS DE MEDICIÓN | 76 |
| a. | MEDIDOR DE CALIDAD DE ENERGÍA..... | 78 |
| 2.5.2. | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO..... | 79 |
| a. | REQUISITOS DE LOS INSTRUMENTOS..... | 79 |
| b. | CARACTERÍSTICAS DE MEDICIÓN DE EQUIPOS CLASE A Y CLASE B EN BASE A LA NORMA IEC 61000-4-30..... | 80 |
| c. | REQUERIMIENTO DEL MONITOREO CON UN INSTRUMENTO DE CLASE A | 83 |
| 2.5.3. | EQUIPO DE MEDICIÓN..... | 84 |
| a. | MEDIDOR DE PARÁMETROS DE CALIDAD | 84 |
| 2.6. | MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD Y CALIDAD DE ENERGÍA..... | 90 |
| 2.6.1. | MÉTODO DE MARKOV | 90 |
| 2.6.2. | MÉTODO DE FRECUENCIA Y DURACIÓN | 91 |
| 2.6.3. | MÉTODO DE CONJUNTOS CORTES MÍNIMO | 92 |
| 2.6.4. | MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS..... | 94 |
| 2.6.5. | METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CALIDAD EN LOS PUNTOS DE CONEXIÓN DE LOS AGENTES DEL MEM | 94 |
| 2.6.6. | METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL NIVEL DE VOLTAJE..... | 94 |

CAPÍTULO III

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MEDICIONES

| | | |
|------|---|----|
| 3.1. | ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO (PRODUCTO) DE LOS ALIMENTADORES No. 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A. | 97 |
| 3.2. | MONTAJE DEL EQUIPO | 98 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.3. | LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN Y USO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN | 99 |
| 3.3.1. | PUNTOS DE MEDICIÓN..... | 99 |
| 3.4. | ANÁLISIS | 101 |
| 3.5. | ANÁLISIS DE DATOS DE PUNTOS DE ESTUDIO..... | 106 |
| 3.5.1. | SUBESTACIÓN LASSO | 106 |
| 3.5.2. | ALIMENTADOR No. 5 (ACOSA)..... | 119 |
| 3.5.3 | ALIMENTADOR NO. 6 (FAMILIA SANCELA DEL ECUADOR)..... | 132 |

CAPÍTULO IV PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.1. | INTRODUCCIÓN..... | 145 |
| 4.2. | PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA SUBESTACIÓN LASSO Y SUS ALIMENTADORES..... | 148 |
| 4.2.1. | POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DETECTADOS.... | 148 |
| a. | BARRA GENERAL S/E LASSO | 149 |
| a.1. | Nivel de tensión | 149 |
| a.2. | Perturbaciones (Flicker)..... | 149 |
| a.3. | Distorsión armónica | 149 |
| a.4. | Factor de potencia..... | 150 |
| b. | ALIMENTADOR No. 5 (ACOSA)..... | 150 |
| b.1. | Nivel de tensión | 150 |
| b.2. | Perturbaciones (Flicker)..... | 150 |
| b.3. | Distorsión armónica | 150 |
| b.4. | Factor de potencia..... | 151 |
| c. | ALIMENTADOR No. 6 (FAMILIA SANCELA) | 153 |
| c.1. | Nivel de tensión | 153 |
| c.2. | Perturbaciones (Flicker)..... | 153 |
| c.3. | Distorsión armónica | 153 |
| c.4. | Factor de potencia..... | 154 |
| 4.2.2. | ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA. | 154 |

| | | |
|--------|--|-----|
| a. | EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS..... | 155 |
| b. | COSTO DEL BANCO DE CAPACITORES..... | 155 |
| c. | COSTO DE LA S/E FAMILIA SANCELA..... | 155 |
| 4.2.3. | PROPUESTA DE REFORMAS NORMATIVAS Y COMPENSACIONES AL CONSUMIDOR FINAL | 157 |
| a. | PROPUESTA DE REFORMAS..... | 157 |

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|------|-----------------------|-----|
| 5.1. | CONCLUSIONES..... | 158 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES | 160 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| FIGURA 2.1 | FORMA SINUSOIDAL DE SEÑAL DE TENSIÓN O CORRIENTE IDEAL, ESPERADA CONTINUAMENTE PARA GARANTIZAR UNA BUENA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 13 |
| FIGURA 2.2 | FORMAS DE ONDA COMUNES NO SENOIDALES; (A) CD; (B) DIENTE DE SIERRA; (C) RECTIFICADA; (D) CUADRADAS; (E) TRIANGULAR. | 20 |
| FIGURA 2.3 | ESPECTROS DE LÍNEAS DE LA FORMA DE ONDA DE DIENTE DE SIERRA..... | 24 |
| FIGURA 2.4 | SÍNTESIS DE ONDA DEL DIENTE DE SIERRA..... | 25 |
| FIGURA 2.5 | EL VOLTAJE SENOIDAL TIENE UN VALOR RMS IGUAL AL VOLTAJE DE CD..... | 26 |
| FIGURA 2.6 | VALOR EFICAZ DE UNA ONDA SENOIDAL. | 26 |
| FIGURA 2.7 | FORMACIÓN DE UNA SEÑAL ARMÓNICA..... | 30 |
| FIGURA 2.8 | VOLTAJE DISTORSIONADO REPRESENTADO MEDIANTE FASORES DE ONDA..... | 33 |
| FIGURA 2.9 | FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE GENERADO POR LOS FASORES. | 34 |
| FIGURA 2.10 | ONDA DEL VOLTAJE CON UN ÁNGULO INICIAL DE 180°. | 34 |
| FIGURA 2.11 | ANÁLISIS ESPECTRAL DE UNA SEÑAL RECTANGULAR | 39 |
| FIGURA 2.12 | VARIACIÓN DE $FP/\cos\phi_1$ EN FUNCIÓN DEL THDI..... | 45 |
| FIGURA 2.13 | DISTORSIÓN DE UNA ONDA FUNDAMENTAL | 46 |
| FIGURA 2.14 | DESCOMPOSICIÓN DE UNA ONDA DISTORSIONADA... .. | 47 |
| FIGURA 2.15 | DIAGRAMA UNIFILAR DE POTENCIA. | 50 |
| FIGURA 2.16 | DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE POTENCIA. | 50 |
| FIGURA 2.17 | EVOLUCIÓN DE LA CORRIENTE EFICAZ Y DE LAS PÉRDIDAS. | 51 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 2.18 TAZA DE DECALAJE PARA UN TRANSFORMADOR ALIMENTANDO CARGAS ELECTRÓNICAS..... | 53 |
| FIGURA 2.19 CIRCULACIÓN DE LA CORRIENTE EN LOS CONDUCTORES..... | 53 |
| FIGURA 2.20 CORRIENTES QUE CIRCULAN POR EL NEUTRO $I_N = I_R + I_S + I_T$ | 54 |
| FIGURA 2.21 EL FLUJO DE DISPERSIÓN A FRECUENCIA FUNDAMENTAL INDUCE CORRIENTES PARÁSITAS I_{FS} EN LOS DEVANADOS DE COBRE..... | 63 |
| FIGURA 2.22 CURVA DE ESPECTRO TRANSITORIO IMPULSIVO | 69 |
| FIGURA 2.23 TRANSIENTE OSCILATORIO BAJA FRECUENCIA..... | 70 |
| FIGURA 2.24 TRANSIENTE OSCILATORIO DE BAJA FRECUENCIA POR LA FERRO RESONANCIA. | 70 |
| FIGURA 2.25 CURVA DE ESPECTRO DE FLUCTUACIÓN DE TENSIÓN. | 71 |
| FIGURA 2.26 ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 1744..... | 84 |
| FIGURA 2.27 PARTES DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 1744 .. | 86 |
| FIGURA 2.28 CONEXIÓN MONOFÁSICA DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 1744..... | 88 |
| FIGURA 2.29 CONEXIÓN TRIFÁSICA DEL ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 1744. | 88 |
| | |
| FIGURA 3.1 DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DEL DV%..... | 108 |
| FIGURA 3.2 NIVELES DE TENSIÓN POR FASE..... | 109 |
| FIGURA 3.3 FLICKER | 110 |
| FIGURA 3.4 GRAFICAS DE ORDEN DE ARMÓNICOS EN CADA FASE | 114 |
| FIGURA 3.5 GRAFICA DE PORCENTAJES DE THD EN CADA UNA DE LAS FASES | 115 |
| FIGURA 3.6 POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA TOTAL..... | 116 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| FIGURA 3.7 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 1 | 116 |
| FIGURA 3.8 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 2 | 117 |
| FIGURA 3.9 | POTENCIA ACTIVA REACTIVA FASE 3..... | 117 |
| FIGURA 3.10 | POTENCIAS ACTIVA (P) Y COS FI TOTAL | 118 |
| FIGURA 3.11 | DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DEL DV%..... | 121 |
| FIGURA 3.12 | NIVELES DE TENSIÓN POR FASE..... | 122 |
| FIGURA 3.13 | FLICKER | 123 |
| FIGURA 3.14 | GRAFICAS DE ORDEN DE ARMÓNICOS EN CADA FASE | 127 |
| FIGURA 3.15 | GRAFICA DE PORCENTAJES DE THD EN CADA UNA DE LAS FASES | 128 |
| FIGURA 3.16 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA TOTAL..... | 129 |
| FIGURA 3.17 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 1 | 129 |
| FIGURA 3.18 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 2 | 130 |
| FIGURA 3.19 | POTENCIA ACTIVA REACTIVA FASE 3..... | 130 |
| FIGURA 3.20 | POTENCIAS ACTIVA (P) Y COS FI TOTAL | 131 |
| FIGURA 3.21 | DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DEL DV%..... | 134 |
| FIGURA 3.22 | NIVELES DE TENSIÓN POR FASE..... | 135 |
| FIGURA 3.23 | FLICKER | 136 |
| FIGURA 3.24 | GRAFICAS DE ORDEN DE ARMÓNICOS EN CADA FASE | 140 |
| FIGURA 3.25 | GRAFICA DE PORCENTAJES DE THD EN CADA UNA DE LAS FASES | 141 |
| FIGURA 3.26 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA TOTAL..... | 142 |
| FIGURA 3.27 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 1 | 142 |
| FIGURA 3.28 | POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 2 | 143 |
| FIGURA 3.29 | POTENCIA ACTIVA REACTIVA FASE 3..... | 143 |
| FIGURA 3.30 | POTENCIAS ACTIVA (P) Y COS FI TOTAL | 144 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|--|-----|
| TABLA 1.1 | CLASIFICACIÓN DE LOS USUARIOS RESIDENCIALES Y MÚLTIPLES..... | 2 |
| TABLA 1.2 | ESTRATOS DE CONSUMO | 3 |
| TABLA 1.3 | CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE SUB TRANSMISIÓN ELEPCO S.A. | 6 |
| TABLA 2.1 | VALORES DEL COEFICIENTE DE FOURIER DE LA FORMA DE ONDA DE DIENTE DE SIERRA | 24 |
| TABLA 2.2 | CLASIFICACIÓN DE LOS ARMÓNICOS POR SU: ORDEN, SECUENCIA, FRECUENCIA. | 31 |
| TABLA 2.3 | PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA | 72 |
| TABLA 3.1 | RESUMEN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD Y SUS LÍMITES..... | 101 |
| TABLA 3.2 | LIMITES DE SOBRETENSIÓN | 102 |
| TABLA 3.3 | LIMITES DE VOLTAJE DE FASE A FASE..... | 102 |
| TABLA 3.4 | LIMITES DE FLICKERS | 102 |
| TABLA 3.5 | LIMITES DE THD | 104 |
| TABLA 3.6 | LÍMITES DE ARMÓNICOS DE TENSIÓN | 104 |
| TABLA 3.7 | CUMPLIMIENTO NIVELES DE TENSIÓN. | 107 |
| TABLA 3.8 | DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN (DV) | 107 |
| TABLA 3.9 | CUMPLIMIENTO DE FLICKER | 110 |
| TABLA 3.10 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE A..... | 111 |
| TABLA 3.11 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE B..... | 112 |

| | | |
|------------|--|-----|
| TABLA 3.12 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE C | 113 |
| TABLA 3.13 | CUMPLIMIENTO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN..... | 114 |
| TABLA 3.14 | CUMPLIMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA FP..... | 115 |
| TABLA 3.15 | CUMPLIMIENTO NIVELES DE TENSIÓN | 120 |
| TABLA 3.16 | DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN (DV)..... | 120 |
| TABLA 3.17 | CUMPLIMIENTO DE FLICKER | 122 |
| TABLA 3.18 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE A..... | 124 |
| TABLA 3.19 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE B..... | 125 |
| TABLA 3.20 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE C | 126 |
| TABLA 3.21 | CUMPLIMIENTO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN..... | 127 |
| TABLA 3.22 | CUMPLIMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA FP..... | 128 |
| TABLA 3.23 | CUMPLIMIENTO NIVELES DE TENSIÓN | 133 |
| TABLA 3.24 | DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN (DV)..... | 133 |
| TABLA 3.25 | CUMPLIMIENTO DE FLICKER | 135 |
| TABLA 3.26 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE A..... | 137 |
| TABLA 3.27 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE B..... | 138 |
| TABLA 3.28 | RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE C | 139 |
| TABLA 3.29 | CUMPLIMIENTO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN..... | 140 |
| TABLA 3.30 | CUMPLIMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA FP..... | 141 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| TABLA 4.1 | CARACTERÍSTICAS DE FILTRO MATRIX® HARMONIC FILTERS..... | 152 |
| TABLA 4.2 | PRESUPUESTO S/E FAMILIA SANCELA | 156 |

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo sobre Calidad de Energía mediante Calidad del Producto, es que en la parte técnica, el abonado espere obtener del proveedor (ELEPCO S.A.) un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales y de amplitudes y frecuencias constantes.

El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la automatización, ha tenido un gran desarrollo tecnológico, en especial de la electrónica de potencia que ha producido una generación de equipos de alta capacidad, alto rendimiento y bajo costo de cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, lo que ha hecho posible que la empresa provea una alimentación confiable, ininterrumpida y totalmente libre de perturbaciones en el servicio eléctrico.

Uno de los objetivos en la realización de esta tesis ha sido encontrar soluciones efectivas para corregir los disturbios y variaciones de voltaje que se presentan en el sistema eléctrico.

El presente trabajo servirá para enfocar los aspectos de Calidad de Energía que se vean reducidos por Distorsiones de la Forma de Onda (Armónicos) y Fluctuaciones de Tensión (Flicker) con posibles soluciones empleadas en la actualidad en base de recopilación de datos.

El estudio se verá enfocado por la Regulación No. CONELEC 004/01; y en base de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula, se plantearán las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio a fin de evitar el deterioro de las señales de Tensión y que conlleve a interrupciones que ocasionan la reducción o parada de procesos que causan perjuicios en el sistema.

ABSTRACT

Quality of Energy about of Product Quality is a technical source that helps the costumer to find from the company (ELEPCO S.A.) a tool with equal tensions, sinusoidal and amplitude and frequency sequential.

The productivity increasing with goals at the industry is about the technicals procedures, have been a great techno - development, especially from the Power's electronic that produce an equipment generation (high-quality and capacity) and low prices and could be nonlinear high sensitive charges at differences into the electric system and that bring to the company a trusty electric generation and totally free of cut off into the electric service.

One of the goals for this project is find effective solutions in order to fix the issues and volt changes at the Electric System.

We can see Energy Quality at the wave form changes (Harmonics) with a few answers that we can use at this time in order to the information.

The project is in function to CONELEC Resolution 004/01 and base to the different measures that have been made at points that present resolution affirm, the conclusions can help to keep a good service that avoid the damages of the signals and don't bring the block outs that take a stops of production and make a wasting time.

GENERALIDADES

i. ANTECEDENTES

El desarrollo de la ciencia y Tecnología en universidades comprometidas con el desarrollo del país como es el caso de la ESPE - L, obliga en su modelo educativo a tomar como metodología de enseñanza a la práctica y por consiguiente a adquirir equipos actualizados en el medio laboral a desempeñarse.

En reuniones mantenidas con el Departamento Técnico de la ELEPCO S. A se ha visto la necesidad de determinar con precisión las pérdidas de energía que se producen por la introducción de armónicos en los diferentes alimentadores que se encuentran conectados en la subestación Lasso, para cuantificar su porcentaje dentro de las pérdidas totales en dichos alimentadores y a su vez la pérdida económica de la Empresa por esta causa.

Es de gran importancia conocer las pérdidas producidas por este efecto que en la actualidad se da con gran frecuencia por el avance tecnológico, que implica la utilización de equipos con componentes electrónicos, que introducen armónicos al sistema.

Muchos de los aparatos eléctricos que tenemos dentro de la industria como variadores de frecuencia, computadoras, generan armónicos de voltaje y de corriente que incrementan las pérdidas de potencia y contaminan las líneas de suministro eléctrico, pudiendo ocasionar severos daños tanto a las redes de energía como a los equipos que de ellas se alimentan.

Sin embargo la utilización de estos dispositivos electrónicos conocidos como cargas no - lineales que se utiliza para las diferentes técnicas de control proporcionan frecuencias enteras o múltiples de la original, dando origen a los armónicos y provocando la distorsión de una señal sinusoidal ya sea de voltaje o corriente.

Como consecuencia de estas corrientes y tensiones armónicas en el sistema eléctrico crean problemas tales como: el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de las protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

Todas estas desventajas que por no ser visualizadas a corto ni a largo plazo, no son tomadas en cuenta, son como enemigo oculto que va deteriorando el sistema eléctrico en general, afectándolo en el día a día.

Debido a esta problemática y la no existencia de un estudio realizado en la subestación Lasso, lo anteriormente citado ha despertado en mí la inquietud para conocer y aplicar un análisis para poder dar solución a este problema.

ii. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la calidad de Energía para determinar la calidad del servicio eléctrico de los Alimentadores N° 5 Y 6 de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. usando la regulación del CONELEC N° 004/01.

iii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

- Compilar la información relacionada con las áreas del conocimiento involucradas.
 - Realizar un estudio de los alimentadores implicados mediante un análisis estadístico (Alimentadores N° 5 y 6 de la ELEPCO S.A.) para identificar sitios estratégicos donde se producen dichos armónicos.
 - Adquirir datos de las variables eléctricas.
 - Analizar los alimentadores sobre la base de la regulación CONELEC 004/01.
 - Determinar el estado de los alimentadores se encuentra en los valores normales de armónicos y que estos no estén afectando al desempeño de otros equipos, principalmente electrónicos.
 - Realizar un análisis comparativo técnico – económico.
 - Concluir y recomendar en base a la experiencia sustentada en el proyecto.

iv. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER

En la infraestructura física de la subestación Lasso se les puede considerar como una área crítica, ya que es una zona industrial, pues en este lugar es donde se concentran las fábricas de mayor consumo energético de la provincia; aquí es indispensable realizar el debido estudio de los armónicos para en lo posterior realizar el diseño e implementación de los filtros.

Es importante ya que permitirá reducir y atenuar considerablemente los armónicos según las normas para regular efectivamente las pérdidas más importantes que provocan dichas fábricas con todos sus equipos que son cargas no lineales y que se encuentran instaladas en los respectivos alimentadores.

Además este proyecto mediante su producto final, permitirá realizar propuestas para disminuir el aporte de armónicos innecesarios al Sistema Eléctrico, así como también mejorar la calidad de energía eléctrica y el uso eficiente de la misma.

El presente proyecto servirá como base y aporte para futuras investigaciones en este campo, a partir de la cual se podrá mejorar e implantar en muchas industrias y empresas del país.

CAPÍTULO I.

EL ESTADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA

El sistema eléctrico proviene de un complejo proceso de generación, transformación, transporte y entrega al usuario final, en nuestro país es de naturaleza hidráulica, como también existen centrales de generación térmica y eólica que han sido construidos en los últimos años en diferentes partes del país.

Para que la energía llegue hasta nuestros hogares intervienen tres tipos de sistemas como son:

- **Generación** Es el proceso de transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico¹.
- **Transmisión** Transferencia de grandes bloques de energía eléctrica, desde las centrales de generación hasta las áreas de consumo².
- **Distribución** Transferencia de energía eléctrica a los consumidores, dentro de un área específica³.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Generación_eléctrica

² <http://www.portalelectricos.com/retie/cap1definicionesc.php>

³ <http://www.portalelectricos.com/retie/cap1definicionesc.php>

1.2 DEMANDA DE ENERGÍA Y CONSUMIDORES

La demanda de energía se ha clasificado de acuerdo a la localización geográfica, destacando peculiaridades típicas en cada zona, así por ejemplo en la zona urbana se tendrá una elevada densidad de carga, con consumidores constituidos por edificios y comercios, como también habrá densidades de carga menores, predominando las cargas de tipo residencial; mientras que en las zonas rurales existen cargas de tipo industrial medio.

Tabla 1. 1: Clasificación de los Usuarios Residenciales y Múltiples⁴

| USO | SIMB. | TIPOLOGÍA | SIMB. | ACTIVIDADES / ESTABLECIMIENTOS |
|-------------|-------|-------------|-------|---|
| Residencial | R | Residencial | R 1 | Viviendas con otros usos de barrio. |
| | | Residencial | R 2 | Viviendas con usos sectoriales predominantes. |
| | | Residencial | R 3 | Viviendas con usos zonales condicionados. |
| Múltiple | M | Múltiple | M 1 | Usos diversos de carácter zonal y de ciudad compatibles |

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CONSUMIDORES RESIDENCIALES

Los clientes residenciales están clasificados por estratos de consumo, como se muestra en la Tabla 1.2, para efectos de determinar las demandas máximas coincidentes, ya que en algunas zonas de la ciudad se tiene diferentes consumos que pudieren diferir en la comercialización de energía.

⁴ Normas de Instalación y Construcción de la Empresa Eléctrica Quito S.A. EEQ S.A.

Tabla 1. 2 Estratos de Consumo⁵

| CATEGORÍA DE ESTRATO DE CONSUMO | ESCALAS DE CONSUMO (KWh / mes / cliente) |
|--|---|
| E | 0 – 100 |
| D | 101 – 150 |
| C | 151 – 250 |
| B | 251 – 350 |
| A | 351 – 500 |

Para definir el estrato de consumo, para un proyecto específico, hay que ubicar el sitio del consumidor, el cual puede estar geo referenciado o de acuerdo a mapas de ubicación de población, si el proyecto está localizado en el área urbana o, si el proyecto está en el área rural.

1.2.2 GRANDES CONSUMIDORES

El sector de grandes consumidores se encuentra constituido por empresas, industrias y otras instituciones que debido a su gran demanda de energía, no son considerados como usuarios “normales” del fluido eléctrico, razón por la cual están facultados para acordar libremente con un generador o distribuidor el suministro y precios de la energía eléctrica para consumo propio, en el ANEXO A.1 se detalla el registro de Grandes Consumidores hecho por la CONELEC.

En el área de concesión de la ELEPCO S.A. se cuenta con algunos como son⁶:

- Aglomerados Cotopaxi S.A. (ACOSA)
- HOLCIM – San Rafael
- Provefrut S.A.
- Familia Sancela del Ecuador
- CEDAL
- NOVACERO - ACEROPAXI

⁵ Normas de Instalación y Construcción de la Empresa Eléctrica Quito S.A. EEQ S.A.

⁶ www.cenace.org.ec

1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEPCO⁷

1.3.1 ÁREA DE CONCESIÓN

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. tiene por objeto la prestación del servicio público de electricidad en su área de concesión que corresponde a toda la Provincia de Cotopaxi la cual es 5556 Km².

Debido a que las instituciones que le antecedieron fueron los Servicios Eléctricos Municipales y luego el Sistema Eléctrico Latacunga su sistema eléctrico era muy limitada y sus redes estaban alejadas de los otros cantones, motivo por los cuales para el Cantón La Mana tuvo el servicio de la Empresa Eléctrica EMELGUR integre a esta zona dentro de su área de concesión, incluyendo varios de sus recintos adyacentes.

Desde el año de 1978 paralelamente a la remodelación de redes se inicia la expansión del sistema y es así que en forma planificada y paulatina fue extendiendo sus redes eléctricas y actualmente ha rodeado las redes de las empresas eléctricas adyacentes impidiendo su avance.

1.3.2 FUENTES DE SUMINISTRO

El sistema eléctrico de ELEPCO S.A. cuenta con dos fuentes de suministro de energía: la generación local y los nodos del S.N.I. desde la Subestación Ambato a 69 KV y desde la Subestación Mulaló a 69 KV. Estos nodos son los de mayor aporte de la energía consumida.

⁷ Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. **ELEPCO S.A.**

a. GENERACIÓN LOCAL

Se conforma de cinco Centrales Hidroeléctricas: Illuchi 1 y 2 ubicadas en el Cantón Latacunga, El Estado, Angamarca, estas dos Centrales pertenecen al Cantón Pujilí y Catazación ubicado en el Cantón Pangua.

La capacidad instalada disponible de las cinco centrales para la generación de energía eléctrica es de 15.2 MVA.

b. NODOS DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO (S.N.I.)

El sistema de ELEPCO S.A. se enlaza al S.N.I. a través de dos nodos situados el uno en la Subestación Mulaló y el otro en la Subestación Ambato, siendo el nodo de mayor importancia el primero por estar situado cerca del centro de carga y con flujo de potencia que significa el 62.7% de la energía eléctrica disponible. Esta Subestación está conectada a la línea de transmisión Pucará – Santa Rosa a un nivel de 138 KV y cuenta con un auto transformador 50/63 MVA, que reduce el voltaje de los 138 KV a 69KV, el mismo que dispone de regulación automática bajo carga.

Mientras tanto que el nodo dos normalmente abastece de energía únicamente al Cantón Salcedo y a la fábrica de cementos ROCACEM. La Subestación Ambato se encuentra interconectada con la línea de transmisión Pisayambo – S/E Ambato - Totoras a 138 KV del S.N.I. y cuenta con un transformador de 33/44 MVA, el mismo que reduce el voltaje de 138 KV a 69 KV. Este no dispone de regulación automática bajo carga.

En el ANEXO A.2 se presenta el diagrama unifilar de todo el Sistema de sub transmisión de la ELEPCO S.A.

1.3.3 SISTEMA DE SUB TRANSMISIÓN DE ELEPCO S.A.

El sistema de sub transmisión tiene varios niveles de voltaje que van desde los 13.8 KV hasta los 69 KV, con distancias relativamente cortas. Estos valores se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1. 3 Características del sistema de sub transmisión ELEPCO S.A.

| TRAMO | VOLTAJE (KV) | CONDUCTOR | TIPO | LONGITUD (Km) |
|----------------------------------|--------------|-----------|------|---------------|
| S/E Ambato – S/E Salcedo | 69 | 300 MCM | ACSR | 28 |
| S/E Salcedo – Deriv. San Juan | 69 | 300 MCM | ACSR | 5.79 |
| Deriv. San Juan – S/E ROCACEM | 69 | 300 MCM | ACSR | 0.8 |
| Deriv. San Juan – S/E San Rafael | 69 | 300 MCM | ACSR | 1.21 |
| S/E San Rafael – S/E El Calvario | 13.8 | 3/0 AWG | ACSR | 2 |
| S/E San Rafael – S/E El Estado | 13.8 | 3/0 AWG | ACSR | 60 |
| El Estado – Catazación | 13.8 | 3/0 AWG | ACSR | 21.2 |
| Illuchi 1 – S/E El Calvario | 13.8 | 2/0 AWG | ACSR | 9 |
| Illuchi 2 – S/E El Calvario | 13.8 | 300 MCM | ACSR | 7.65 |
| S/E San Rafael – Deriv. Laygua | 69 | 300 MCM | ACSR | 9 |
| Deriv. Laygua – S/E La Cocha | 69 | 300 MCM | ACSR | 6 |
| Deriv. Laygua - S/E Mulaló | 69 | 300 MCM | ACSR | 9 |
| S/E Mulaló – S/E Lasso | 69 | 300 MCM | ACSR | 6.5 |
| S/E Lasso – S/E Sigchos | 69 | 300 MCM | ACSR | 33.6 |

En el ANEXO A.3 se presenta con mayor detalle las subestaciones y alimentadores de ELEPCO S.A.

1.3.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRIMARIO DE ELEPCO S.A.

El sistema de distribución primario cuenta en la actualidad se encuentra normalizado a 13.8 KV siendo todos sus alimentadores de tipo radial.

a. SUBESTACIÓN SALCEDO

Esta Subestación tiene una capacidad instalada de 20 MVA y presenta cuatro alimentadores a un nivel de voltaje de 13.8 KV.

- Alimentador Norte Oriente de Salcedo.
- Alimentador Centro de Salcedo.
- Alimentador Sur de Salcedo.
- Alimentador Occidente de Salcedo.

b. SUBESTACIÓN SAN RAFAEL

Esta Subestación tiene una capacidad instalada de 10/13 MVA. Tiene tres salidas con un nivel de voltaje de 13.8 KV.

- Alimentador N° 0201 Brigada Patria – Once de Noviembre.
- Alimentador N° 0202 Niágara – Pujilí.
- Interconexión con la central El Estado.

c. SUBESTACIÓN EL CALVARIO

Esta Subestación tiene una capacidad instalada de 3*1.75 MVA y 1*4/5.2 MVA, tiene cinco salidas a un nivel de voltaje de 13.8 KV y dos de llegada desde las centrales Illuchi 1 y 2.

- Alimentador Sur y Centro Sur.
- Alimentador Norte La Estación.
- Alimentador N° 0101 Oriental.
- Alimentador N° 0102 Industrial Sur (CEDAL).
- Alimentador de llegada de la central Illuchi 1.

- Alimentador de llegada central Illuchi 2.
- Alimentador N° 0103 líneas subterráneas.

d. SUBESTACIÓN LA COCHA

Esta Subestación tiene una capacidad instalada de 10/12.5 MVA, tiene cinco salidas con un nivel de voltaje de 13.8 KV, a excepción de la salida dos que se encuentra desconectada en la actualidad.

- Alimentador N° 0601 Yugsiloma – Colatoa.
- Alimentador N° 0602 Isimbo 2.
- Alimentador de Interconexión con la S/E El Calvario.
- Alimentador N° 0604 Base Aérea Cotopaxi.

e. SUBESTACIÓN MULALÓ

Tiene una capacidad instalada de 10/12.5 MVA con cuatro alimentadores de distribución a 13.8 KV.

- Alimentador N° 0401 Industrial Lasso Mulaló.
- Alimentador N° 0402 Tanicuchi.
- Alimentador N° 0403 Saquisilí – Guaytacama.
- Alimentador N° 0404 Oriente Subestaciones Joseguango bajo.

f. SUBESTACIÓN LASSO

Esta Subestación tiene dos transformadores de 10/12.5 MVA (T1) y 20 MVA (T2), de los cuales se derivan seis salidas a 13.8 KV.

- Alimentador N° 0501, 5218-12 San Agustín de Callo.

- Alimentador N° 0502, 5218-14 Pastocalle – Toacazo.
- Alimentador N° 0503, 5218-125 Rio Blanco.
- Alimentador N° 0504, 5218-124 Norte – Centro Lasso.

- Alimentador N° 0505, 52L8-L25 ACOSA.

Este alimentador cuenta en la actualidad con una salida simple por fase, con proyecto a extender a doble, por la carga y consumo que posee, tiene una longitud de 800 metros hasta la cámara de transformación de la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A.

- Alimentador N° 0506, Familia SANCELA.

Este alimentador es uno de los importantes de la zona el cual se encuentra formado por una red doble, ya que este consumidor inyecta potencia reactiva al sistema, cuenta con una longitud de línea de 3,5 Km hasta las cámaras de transformación de la empresa FAMILIA SANCELA.

En el ANEXO A.4 se detallan cada uno de los alimentadores con su zona de servicio dentro del perímetro aledaño a la Subestación Lasso.

En el ANEXO A.5 se presenta el unifilar de la Subestación Lasso.

g. SUBESTACIÓN SIGCHOS

La Subestación Sigchos es la más reciente incorporada al Sistema Eléctrico Cotopaxi con una capacidad instalada de 5 MVA.

Esta Subestación posee un solo alimentador que abastece a todo el Cantón Sigchos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de energía es la alteración en la “forma de la onda” que puede presentar perturbaciones que tienen lugar en los propios procesos de producción, transporte y distribución; siendo estos factores inevitables pero si se pueden minimizar.

En general, la calidad del suministro de energía eléctrica se puede considerar como la combinación de la disponibilidad del suministro de energía eléctrica, junto con la calidad de la tensión, entendiéndose la falta de calidad como la desviación de esas magnitudes de su forma ideal, por lo que, cualquier perturbación se lo toma como problema en la forma de onda.

Los equipos eléctricos y electrónicos, como los computadores personales, autómatas programables, equipos de iluminación, equipos de electrónica de consumo, etc., pueden funcionar de forma incorrecta si la energía eléctrica suministrada se interrumpe solamente durante unas décimas de segundo o incluso centésimas de segundo. Este mal funcionamiento de los equipos puede originar problemas importantes en un entorno residencial y/o comercial, pero los efectos económicos que pueden producir en los procesos industriales, la parada o el daño de los equipos pueden ser muy importantes económicamente.

En la actualidad, los equipos electrónicos proporcionan más capacidades que requieren mayor atención en sus aplicaciones en los sistemas eléctricos.

2.2 ASPECTOS GENERALES

En los últimos años se ha profundizado el problema con la calidad del producto (calidad de la energía). Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), IEC (Internacional Electrotechnical Comission), CENELEC (Comité European de Normalisation Electrotechnique), NEMA (The National Electrical Manufacturers Association), etc. han desarrollado estándares y métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía en los últimos años, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo.

Para la calidad de servicio eléctrico el ente regulador por lo general es uno estatal y los entes regulados son las Empresas de Distribución, la misma que puede ser estatal o privada.

En el Ecuador hace pocos años se inició con el proceso de regular a las empresas de distribución. Esto se debe a que se recogieron las experiencias de países vecinos para regular sus empresas de distribución con mayor criterio.

La regulación por la cual se regula la Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador, es dictada por el CONELEC (Concejo Nacional de Electricidad), en la Regulación No. CONELEC-004/01.

En el ANEXO B.1 se presenta la Regulación 004/01 con la cual se regula la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución en el Ecuador.

2.3 CALIDAD DE LA ENERGÍA

Conviene que el término calidad, no se utilice aislado para expresar un grado de excelencia en un sentido comparativo, sino usarlo en sentido cuantitativo para evaluaciones técnicas. Para expresar estos significados, se debe usar un adjetivo calificativo como: excelente, alta, baja, media, buena, mala.

Existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad. Para aumentar la competitividad, las empresas requieren optimizar su proceso productivo mediante:

- Utilización de equipos de alta eficiencia como: motores eléctricos, bombas, etc.
- Automatización de sus procesos mediante dispositivos electrónicos y de computación (microcontroladores, computadores, PLC, etc.).
- Reducción de costos vinculados con la continuidad del servicio y la calidad de la energía.
- Reducción de las pérdidas de energía.
- Evitar costos por sobredimensionamiento y tarifas.
- Evitar el envejecimiento prematuro de los equipos.

La definición del término Calidad de la Energía Eléctrica no es única y varía de país en país. Veamos algunas definiciones tomadas de instituciones que tratan sobre el tema en diferentes partes del mundo:

La norma IEC (61000-2-2/4) y la norma CONELEC (50160) definen la Calidad de la Energía Eléctrica como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo". Para la norma IEEE 1159 de 1995: "El término se refiere a

una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctricas, en un tiempo dado y en una ubicación dada en el sistema de potencia".

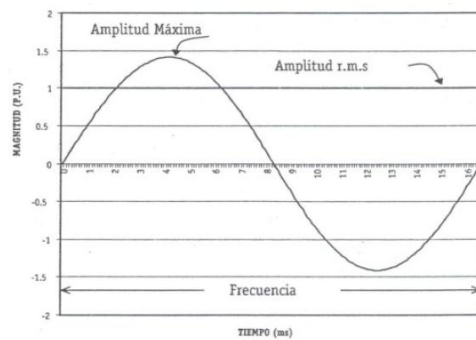


Figura 2. 1 Forma sinusoidal de señal de tensión o corriente ideal, esperada Continuamente para garantizar una buena Calidad de la Energía Eléctrica

2.4 LA CALIDAD DEL PRODUCTO ELÉCTRICO EN EL ECUADOR

En la Regulación de Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución del Ecuador (Regulación No. CONELEC-004/01), se han establecido patrones en tres aspectos que están interrelacionados entre si tales como:

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

La Calidad del Producto, establece las pautas para los parámetros eléctricos para poder entregar energía de buena calidad.

La Calidad de Servicio Técnico, en cambio regula las interrupciones de servicio eléctrico estableciendo límites para su frecuencia y duración.

La calidad de Servicio Comercial a diferencia de las anteriores reglamenta las solicitudes y reclamos de medición y facturación.

Los incumplimientos y las penalizaciones correspondientes se incorporarán a los respectivos contratos de concesión, los cuales entraran en estudio dentro de los tres aspectos.

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. (ELEPCO S. A.) cuenta con dicho estudio, y para ello tomar como referencia cada una de las presentes mediciones para observar las características de Calidad del Suministro Eléctrico de Distribución que ofrece la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi.

Para analizar la Calidad del Producto que impone el CONELEC, se ha tomado en consideración normas de calidad de energía eléctrica EN50160.

La norma EN50160 porque es la base de las regulaciones de varios países latinoamericanos. Esta norma fue dictada por el CENELEC y básicamente es una recopilación de las dos entidades normativas más importantes la IEEE y la IEC de la IEEE se han considerado las publicaciones donde se establecen los límites de tolerancia de valores de calidad, principalmente en armónicos.

De la IEC se toman a consideración las normas donde se establecen los procedimientos para la construcción de los equipos para que estén facultados a procesar internamente las señales y las pueda convertir en valores eléctricos como; parpadeo, armónicos, voltajes, corrientes, etc.

2.4.1. MANEJO DE LA CALIDAD DE ENERGÍA EN ELEPCO S.A.

Ya que se debe manejar dos aspectos importantes de la regulación; la calidad de la potencia y la calidad del servicio de distribución y conexión. ELEPCO S.A. debe adaptarse a dichas exigencias y proyectarse en el manejo global del proyecto, para lo cual se debe analizar entre otros: La adquisición o no de los equipos de calidad; se debe recomendar el número adecuado de estos equipos; además si dichos equipos serán fijos o móviles; y por último se debe estructurar nuevas actividades a los procesos o procedimientos de la empresa.

En un inicio se tenía previsto instalar los equipos en la totalidad de las instalaciones de las subestaciones de ELEPCO S.A., pero debido al alto costo que esto representa, esta posibilidad fue descartada, ya que toda la

inversión que haría la empresa de alguna manera debería recuperarse en la tarifa.

Se escogieron dos alternativas, las cuales se describen rápidamente:

La primera es poner equipos de medición en el punto de conexión entre el Transformador Principal y la barra principal de 13.8 kV

La segunda poner los equipos de medición en los puntos de llegada de los alimentadores No. 5 y 6 respectivamente, previo el permiso de los clientes para ingresar a las cámaras de transformación.

2.4.2. NORMAS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD Y DEL SERVICIO DE TRANSMISIÓN Y CONEXIÓN.

La medición de calidad se basa en las siguientes normas, cuyas características más importantes son:

La publicación IEEE Std 519-1992 “Requisitos y métodos recomendados para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica: La norma Internacional IEEE 519 – 1992 traducida al español para poder tener en cuenta los requisitos y métodos recomendados para el control de armónicos en sistema de energía eléctrica.

- Define los servicios y responsabilidades de los Clientes.
- Control de armónicos en puntos de conexión.
- Distorsión de voltaje provocado por cargas no lineales.
- Corrección del factor de potencia ante cargas no lineales.

- Diseño y simulación de filtro de armónicas (proporcionando trayectorias de baja impedancia a las corrientes armónicas y que estas fluyan al sistema).

La publicación IEEE 1159 “Prácticas recomendadas para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica”:

- Define la categoría de los eventos, pero no como medirlos

La publicación IEC 61000-4-7 “Guía general sobre mediciones de armónicos e instrumentación en sistemas de suministro eléctrico”:

- Esta norma es aplicable a la instrumentación para medir componentes espectrales en la gama de frecuencia hasta 9 kHz, en sistemas A.C. de 50 y 60 Hz.
- Para las mediciones los instrumentos se basan en la transformada de Fourier.
- La descripción de las funciones y de la estructura de los instrumentos de medida en esta norma es muy explícita.
- El instrumento de medición se define para medidas de armónicos hasta la de orden 50.

La norma IEC 61000-4-30 “Método de medición de la calidad de potencia”:

- Define los métodos para la medida y la interpretación de los resultados de los parámetros de la calidad en sistemas A.C. de 50 y 60 Hz.
- Los métodos de la medida se describen para cada tipo de parámetro para obtener resultados confiables, repetibles y comparables

- La medida de los parámetros por esta norma se limita a esos fenómenos que se puedan conducir en un sistema eléctrico.
- Esta norma es una especificación de funcionamiento, no una especificación del diseño.
- Esta norma da métodos de la medida pero no fija los límites.

2.4.3. ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDA.

a. ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDA EN RÉGIMEN SENOIDALES.

La forma ideal de la tensión de red es una función senoidal del tiempo con frecuencia constante. Las cargas de tipo lineal conectadas a dicha red originan corrientes también senoidales.

Los parámetros que definen este tipo de respuesta son:

- **Amplitud:** Máximo valor instantáneo ($V_{m\acute{a}x}$, $I_{m\acute{a}x}$).
- **Período:** Duración de un ciclo completo (T).
- **Frecuencia:** Número de ciclos por segundo ($f = 1/T$).
- **Pulsación:** Se define como $\omega = 2.\pi.f$.
- **Fase:** Desplazamiento angular de la función senoidal respecto al origen de ángulos.

En la práctica estas condiciones de frecuencia y tensión constante y la forma de la onda senoidal no suelen cumplirse, ya que los propios generadores y la red de distribución presentan una cierta impedancia interna y otras condiciones no ideales que ocasionan desviaciones con respecto a dicho comportamiento ideal.

Así pues, se aceptan como normales ciertas desviaciones en el valor eficaz de la tensión y en la frecuencia, habiéndose establecido normas que marcan los límites tolerados para dichas desviaciones.

No obstante, el valor eficaz de la tensión y la frecuencia, no definen totalmente la calidad de una red, puesto que nada indican acerca de la forma de onda o de su posible distorsión con respecto al valor teórico senoidal.

b. ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE ONDAS POR LAS SERIES DE FOURIER.⁸

En ciertos equipos electrónicos en especial los convertidores estáticos de potencia se presentan formas de onda del tipo no sinusoidal periódicas para sus señales de corriente o voltaje, las cuales son difíciles de representar a través de una ecuación matemática sencilla; esto conlleva a utilizar una herramienta matemática llamada “SERIE TRIGONOMÉTRICA DE FOURIER”.

Ahora bien, si una función periódica puede expresarse como una suma de un número finito o infinito de funciones senoidales, las respuestas de los circuitos lineales sometidos a excitaciones no senoidales se podrá determinar aplicando el teorema de superposición.

El método de Fourier proporciona la manera de resolver este problema y tiene la característica de representar cualquier función periódica no-senoidal como una suma de funciones senoidales. Las formas de onda más evidentes y conocidas son las que aparecen en la figura 2.2.⁹

⁸ EDMINISTER Joseph, Circuitos Eléctricos, 1ra Edición, 1970, Pág. 218

⁹ BOYLESTAD Robert L., Introducción al Análisis de Circuitos, Décima Edición, 2004, Pág. 1123

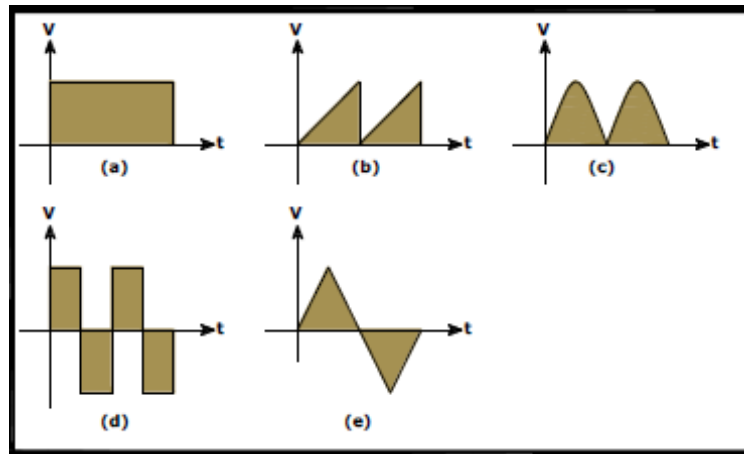


Figura 2. 2 Formas de onda comunes no senoidales; (a) cd; (b) diente de sierra; (c) rectificadas; (d) cuadradas; (e) triangular.

b.1. Características de la función a analizar por Series de Fourier.

La señal a descomponer por Series de Fourier tiene las siguientes características:

Toda forma de onda periódica, es aquella onda tal que $f(t) = f(t + T)$ puede expresarse por una serie de Fourier siempre que:

- Un número finito de discontinuidades en el período T, si es continúa.
- El valor medio en el período T sea finito.
- Tenga un número finito de máximos positivos y negativos.

b.2. Expresiones Trigonómicas de las Series de Fourier.

La Serie de Fourier puede escribirse en la forma trigonométrica:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + 3 \cos(3\omega t) \dots \dots \dots$$

$$+ b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) \dots \dots \dots \quad [\text{Ec. 2.1}]$$

En donde:

$f(t)$ = Función.

$\frac{1}{2}a_0$ = Valor medio de la función.

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = Coeficiente de Fourier para la forma de onda de los cosenos.

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ = Coeficiente de Fourier para la forma de onda de los senos.

b.3. Coeficientes de Fourier.

Los coeficientes a y b se determinan para cada forma de onda mediante el cálculo integral.

$$a_n = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{2\pi/\omega} f(t) \cos(n\omega t) dt = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt \quad [\text{Ec. 2.2}]$$

$$b_n = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{2\pi/\omega} f(t) \sen(n\omega t) dt = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sen(n\omega t) dt [\text{Ec. 2.3}]$$

Otra forma de hallar los coeficientes es tomar ωt como variable y el período correspondiente de 2π radianes.

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(n\omega t) dt \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sen(n\omega t) dt \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

La constante a_0 se obtiene de las ecuación de a_n y b_n haciendo que $n = 0$ por medio de la fórmula o a veces por simple inspección.

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

b.4. Expresiones trigonométricas de las series de Fourier en función del ángulo.

Los términos en seno y coseno de la misma pulsación pueden combinarse en un término único, seno o coseno, con un ángulo de fase. Resultan así otras dos formas posibles de las series trigonométricas.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum C_n \cos(n\omega t - \theta_n) \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum C_n \text{sen}(n\omega t + \phi_n) \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

En donde:

$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$; Es la Amplitud de los armónicos.

$\theta_n = \text{arc tg}(b_n/a_n)$; Ángulo de fase de dichos armónicos.

$\phi_n = \text{arc tg}(a_n/b_n)$; Ángulo de fase de dichos armónicos.

ANÁLISIS DE LA FORMA DE ONDA.

- La forma onda es continua para $0 < \omega t < 2\pi$.
- Por simple inspección es una función impar, por lo que no tiene términos en coseno.
- La ecuación de la función está dada por: $f(t) = (10/2\pi)\omega t$.
- Determinamos los coeficientes a_0, b_n .

Calculo del coeficiente a_0 .

Con $n = 0$ calculamos el valor medio $\frac{1}{2}a_0$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{10}{2\pi}\right) \omega t \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

$$a_0 = 10 \quad [\text{Ec. 2.10}]$$

Calculo del coeficiente b_n .

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

$$b_n = -\frac{10}{\pi n} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

La serie de Fourier es:

$$f(t) = 5 - \frac{10}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\text{sen}(n\omega t)}{n} \quad [\text{Ec. 2.13}]$$

Entonces cuando $n = 1, 2, 3, 4$ la serie es:

$$f(t) = 5 - \frac{10}{\pi} \text{sen}(\omega t) - \frac{10}{2\pi} \text{sen}(2\omega t) - \frac{10}{3\pi} \text{sen}(3\omega t) - \frac{10}{4\pi} \text{sen}(4\omega t) \dots \quad [\text{Ec. 2.14}]$$

El espectro de líneas es:

Por medio de la formula $C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ calculamos la amplitud de los Armónicos.

$$\text{Entonces } C_n = \sqrt{b_n^2} \text{ y } b_n = -\frac{10}{\pi n}.$$

En la figura 2.3 se muestran los espectros de frecuencias correspondientes a la forma de onda de diente de sierra.

Tabla 2. 1 Valores del coeficiente de Fourier de la forma de Onda de diente de Sierra

| Coeficientes | n | No.- de Armónicos | Cn | % |
|--------------|---|-------------------|---------|--------|
| b1 | 1 | $10/\pi n$ | 3.18309 | 63.662 |
| b2 | 2 | $10/2\pi$ | 1.59155 | 31.831 |
| b3 | 3 | $10/3\pi$ | 1.06103 | 21.221 |
| b4 | 4 | $10/4\pi$ | 0.79577 | 15.915 |
| b5 | 5 | $10/5\pi$ | 0.63662 | 12.732 |
| b6 | 6 | $10/6\pi$ | 0.53052 | 10.61 |
| b7 | 7 | $10/7\pi$ | 0.45473 | 9.0945 |
| b8 | 8 | $10/8\pi$ | 0.39789 | 7.9577 |
| b9 | 9 | $10/9\pi$ | 0.35368 | 7.0735 |

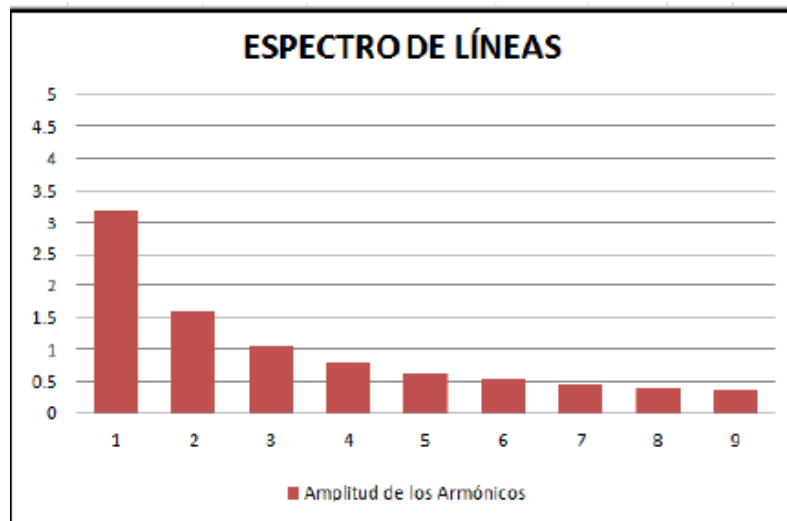


Figura 2. 3 Espectros de líneas de la forma de Onda de diente de Sierra.

b.5. Síntesis de Ondas.

La síntesis es una combinación de las partes para formar un todo. En el análisis de las Series de Fourier se llama síntesis a la recombinación de los términos de la serie trigonométrica, ordinariamente los cuatro o cinco primeros, para reproducir la onda original.

$$f(t) = 5 - \frac{10}{\pi} \text{sen}(\omega t) - \frac{10}{2\pi} \text{sen}(2\omega t) - \frac{10}{3\pi} \text{sen}(3\omega t) - \dots \quad [\text{Ec. 2.15}]$$

La síntesis de estos cuatro términos se ha representado en la siguiente figura 2.4.

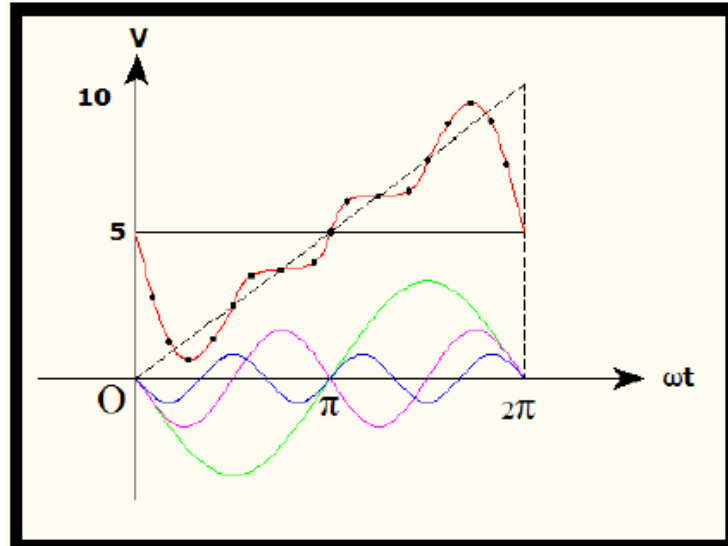


Figura 2. 4 Síntesis de Onda del diente de sierra.

Aunque el resultado no es un diente de Sierra perfecto se puede observar que tomando más términos se acercaría aún más a la forma original.

b.6. Valor eficaz.

El valor eficaz de una función periódica es la media cuadrática de la función a lo largo de un período. Así pues el valor eficaz de una magnitud periódica es directamente proporcional a la potencia.¹⁰

En la figura 2.5 se muestra la interpretación del valor eficaz.

¹⁰ BELVER Inmaculada Zamora & STADIER Valentín Macho, Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos, 1ra Edición, España, Año 2005, Pág. 9

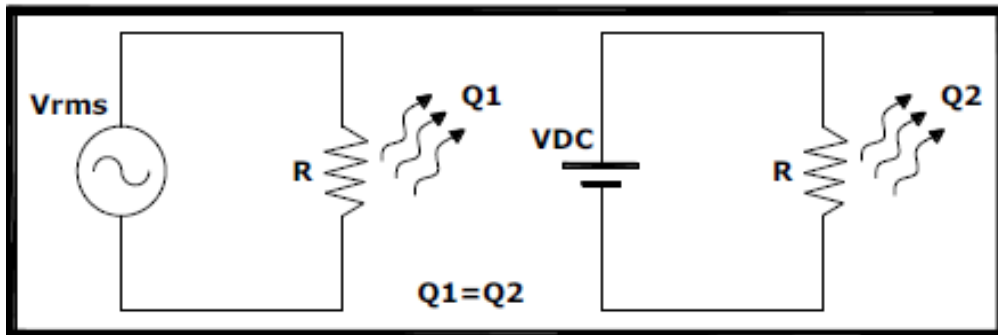


Figura 2. 5 El voltaje senoidal tiene un valor rms igual al voltaje de cd.

El valor rms, conocido también como valor efectivo, de un voltaje sinusoidal es en realidad una medida del efecto de calentamiento de la onda seno.¹¹

En la figura 2.6 se muestra la representación gráfica del valor eficaz.

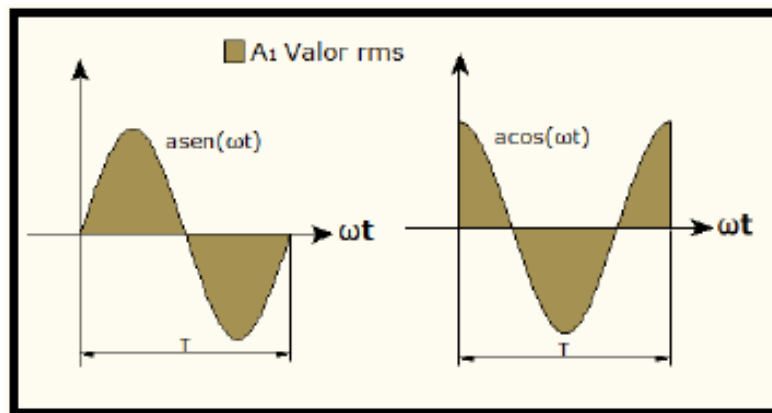


Figura 2. 6 Valor eficaz de una onda senoidal.

El valor eficaz de las funciones: $f(t) = a\text{sen}(\omega t)$ y $f(t) = a\text{cos}(\omega t)$ durante un período es:

$$A_1 = \frac{a}{\sqrt{2}} \quad [\text{Ec. 2.16}]$$

¹¹ FLOY Thomas I., Principios de circuitos eléctricos, Octava edición, 2007, Pág. 417.

Ecuación del valor rms.

El valor eficaz o rms de una función $f(t)$ de período T viene dado por la ecuación:

$$F_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad [\text{Ec. 2.17}]$$

Entonces el valor eficaz de la función $f(t)$:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + 3 \cos(3\omega t) \dots \dots \dots \\ + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + b_3 \sin(3\omega t) \dots \dots \dots \quad [\text{Ec. 2.18}]$$

Está dada por:

$$F_{ef} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} a_0\right)^2 + \frac{1}{2} a_1^2 + \frac{1}{2} a_2^2 + \frac{1}{2} a_3^2 + \frac{1}{2} b_1^2 + \frac{1}{2} b_2^2 + \frac{1}{2} b_3^2} \quad [\text{Ec. 2.19}]$$

Llamando A al valor eficaz de la función $a \cos(\omega t)$ y según lo antes dichos; podemos concluir que: $A_1 = \frac{a_1}{\sqrt{2}}$ o bien $A_1^2 = \frac{a_1^2}{2}$, por tanto:

$$F_{ef} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} a_0\right)^2 + (A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots) + (B_1^2 + B_2^2 + B_3^2 + \dots)} \quad [\text{Ec. 2.20}]$$

Expresando la amplitud armónica por $C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ y escribiendo C_0 para el valor medio de la ecuación anterior tendremos:

$$F_{ef} = \sqrt{C_0^2 + \frac{1}{2} C_1^2 + \frac{1}{2} C_2^2 + \frac{1}{2} C_3^2 + \dots \dots} \quad [\text{Ec. 2.21}]$$

Si se considera un circuito lineal con una tensión aplicada periódica podría esperarse que la corriente resultante tuviera los mismos

armónicos, pero con amplitudes de valor relativo diferente, ya que la impedancia varia con ωt .

Es posible que algunos armónicos no aparezcan en la corriente, puesto que la resonancia paralela da lugar a una impedancia infinita. En general, se puede escribir:

Ecuación de una función de Voltaje y Corriente:

$$v = V_0 + \sum V_{max_h} \text{sen}(h\omega t + \phi h) \quad [\text{Ec. 2.22}]$$

$$i = I_0 + \sum I_{max_h} \text{sen}(h\omega t + \phi h) \quad [\text{Ec. 2.23}]$$

Ecuación de sus valores eficaces:

$$V_{ef} = \sqrt{V_0^2 + \frac{1}{2}V_{max_1}^2 + \frac{1}{2}V_{max_2}^2 + \frac{1}{2}V_{max_3}^2 \dots} \quad [\text{Ec. 2.24}]$$

$$I_{ef} = \sqrt{I_0^2 + \frac{1}{2}I_{max_1}^2 + \frac{1}{2}I_{max_2}^2 + \frac{1}{2}I_{max_3}^2 \dots} \quad [\text{Ec. 2.25}]$$

Dónde:

V_{ef} = Valor del voltaje eficaz [V]

I_{ef} = Valor de la corriente eficaz [A]

V_0 = Voltaje medio [V]

I_0 = Corriente media [A]

$V_{max_1}, V_{max_2}, V_{max_3}$ = Voltajes máximos de las respectivas funciones [V]

$I_{max_1}, I_{max_2}, I_{max_3}$ = Corrientes máximas de las respectivas funciones [A]

Ecuación de la potencia media P (activa):

$$P = V_0 I_0 + V_{max_1} I_{max_1} \cos \theta_1 + \frac{1}{2} V_{max_2} I_{max_2} \cos \theta_2 + \frac{1}{2} V_{max_3} I_{max_3} \cos \theta_3 \dots \dots \quad [\text{Ec. 2.26}]$$

Dónde:

P = Potencia activa o media [W]

$\theta_n = (\phi_n - \varphi_n)$; El ángulo de la impedancia equivalente del circuito [°]

2.4.4. DEFINICIÓN Y ASPECTOS GENERALES DE LOS ARMÓNICOS.¹²

a. DEFINICIÓN DE ARMÓNICO.¹³

Un armónico es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. Los términos clave en esta definición son “frecuencia fundamental” y “múltiplo entero”.

La frecuencia fundamental es un punto de referencia arbitrario al cual se relacionan las frecuencias de los armónicos.

Múltiplo entero de la frecuencia fundamental significa multiplicar dicha frecuencia fundamental por un número entero, como 2, 3, 4, etc.

Los armónicos de corriente de diferentes fuentes producen armónicos de tensión a través de la impedancia de la red.

¹² WILDI Theodore, Maquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia, 6ta Edición, México, Año 2007, Pág. 847.

¹³ BELVER Inmaculada Zamora & STADIER Valentín Macho, Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos, 1ra Edición, España, Año 2005, Pág. 10

Entre los armónicos de tensión/intensidad se pueden observar frecuencias que no son un múltiplo entero de la fundamental. Es lo que se denomina inter armónicos.

b. DEFINICIÓN DE UNA SEÑAL ARMÓNICA.

Se definen a los armónicos como la deformación de la forma de onda senoidal de tensión o intensidad por superposición de senoidales de frecuencia múltiple de la fundamental, como se muestra en la figura 2.7.

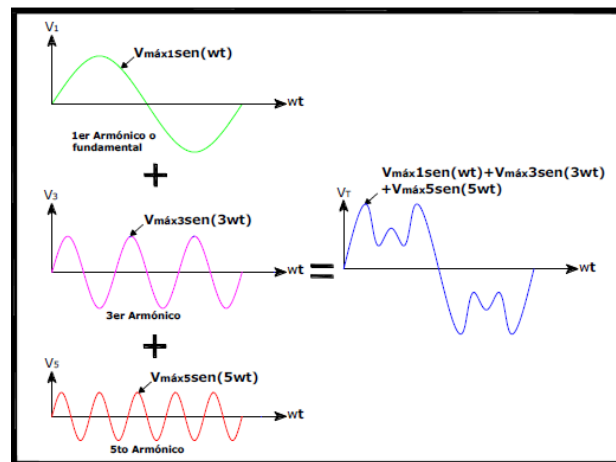


Figura 2. 7 Formación de una señal armónica.

c. CLASIFICACIÓN DE LOS ARMÓNICOS.¹⁴

Cada armónica tiene un nombre, frecuencia y secuencia. La secuencia se refiere al giro del fasor con respecto a la fundamental (F), por ejemplo, en un motor de inducción, la armónica de secuencia positiva generaría un campo magnético que gira en la misma dirección que la fundamental.

¹⁴ <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/18/37/a37.pdf>.

Una armónica de secuencia negativa giraría en forma contraria. Las Armónicas 2a, 4a, 6a, 8a, etc., desaparecen cuando las ondas son simétricas (Típico para circuitos eléctricos).

Los armónicos se clasifican por su orden, frecuencia y secuencia, tal como se indica en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Clasificación de los armónicos por su: orden, secuencia, frecuencia.

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| Orden | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | n |
| Frecuencia | 60 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 420 | 480 | 540 | 60 x n |
| Secuencia | + | - | 0 | + | - | 0 | + | - | 0 | ... |

Los armónicos múltiplos de 3 son muy importantes, tanto por su alta presencia como por sus efectos. Los armónicos de orden 3 y 9 son los que más presencia tienen en las instalaciones industriales.

c.1. Armónicos Impares.

Los armónicos impares son los que se encuentran en las instalaciones eléctricas y edificios comerciales.

c.2. Armónicos Pares.

Los pares sólo existen cuando se produce una asimetría en la señal debido a la componente continua. En general, son de escasa consideración en las instalaciones eléctricas industriales.

c.3. Armónicos de secuencia positiva (+).

Los armónicos de secuencia positiva o rotación directa tienden a hacer girar el motor en el mismo sentido que la componente fundamental,

generando una sobre corriente que provoca el calentamiento del motor, iniciando deterioros en el aislamiento entre los devanados, reduciendo la vida útil del motor y aumentando el riesgo de averías en el mismo. También causan sobrecalentamientos en transformadores, cables, etc.

c.4. Armónicos de secuencia negativa (-).

Los armónicos de secuencia negativa o rotación inversa hacen girar el motor en sentido contrario, frenándolo, provocando también calentamientos y la reducción de la vida útil de ejes y engranajes.

c.5. Armónicos de secuencia cero (0).

Los armónicos de secuencia 0 no tiene sentido de rotación pero pueden causar calentamiento y producen una intensidad en el neutro.

La secuencia de armónicas cero (múltiplos de la 3ra) son llamados "Triplens".

d. ARMÓNICOS Y DIAGRAMAS FASORIALES.

Podemos representar una onda distorsionada mediante un diagrama fasorial compuesto. Éste indica la frecuencia, la amplitud y el valor inicial de cada componente senoidal. La amplitud es igual al valor pico del voltaje o de la corriente.

Por ejemplo, el diagrama fasorial de la figura 2.8 representa un voltaje distorsionado que consta de dos componentes:

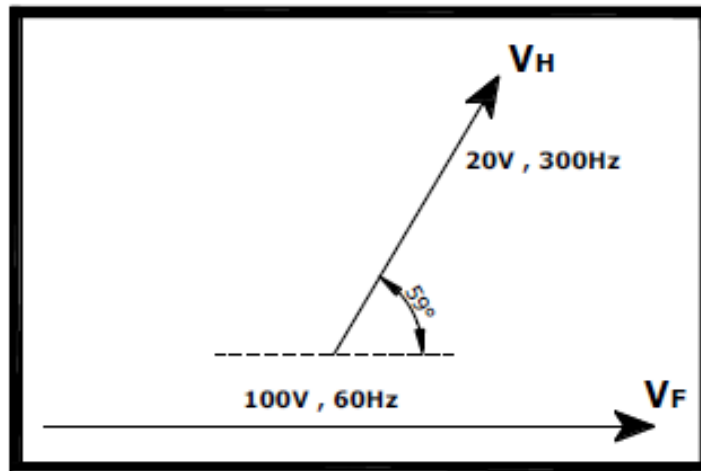


Figura 2. 8 Voltaje distorsionado representado mediante fasores de onda.

1. Un voltaje fundamental V_F que tiene una amplitud de 100 V, una frecuencia de 60 Hz y un ángulo inicial de 0° . Podemos considerar que el fasor gira en sentido contrario al de las manecillas del reloj a 60 r/seg.
2. Un 5to. armónico V_H que tiene una amplitud de 20 V, una frecuencia de 300 Hz y un ángulo inicial de 59° . Este fasor también gira en sentido contrario al de las manecillas del reloj, pero 5 veces más rápido que el fundamental.

La fundamental se puede expresar mediante la ecuación:

$$V_F = 100 \text{ sen } (\phi + 0^\circ) = 100 \text{ sen } 360 ft \quad [\text{Ec. 2.27}]$$

Así mismo, el armónico se puede expresar mediante:

$$V_H = 20 \text{ sen } (5\phi + 59^\circ) = 20 \text{ sen } (5 * 360 ft + 59^\circ) \quad [\text{Ec. 2.28}]$$

Por lo tanto, la onda distorsionada se puede expresar mediante la ecuación:

$$V = 100 \text{ sen } \phi + 20 \text{ sen } (5\phi + 59^\circ) \quad [\text{Ec. 2.29}]$$

Dónde:

$$\phi = 360 \text{ ft} = 360 * 60 * t \quad [\text{Ec. 2.30}]$$

En la figura 2.9 se muestra la forma de onda de un ciclo completo.

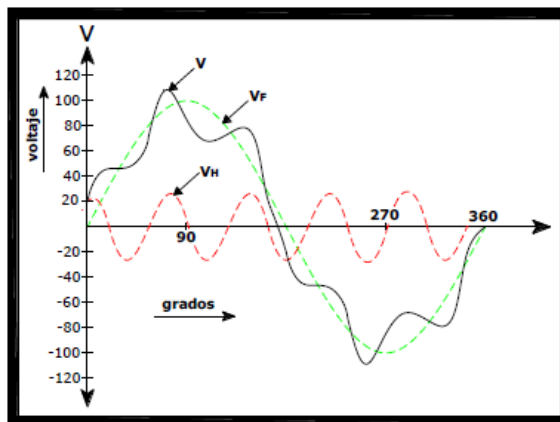


Figura 2. 9 Forma de onda del voltaje generado por los fasores.

La forma de onda depende no sólo de la frecuencia y amplitud del armónico, sino también de su posición angular con respecto de la fundamental como se muestra en la figura 2.10.

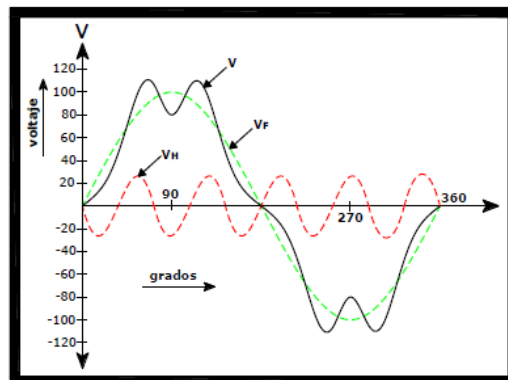


Figura 2. 10 Onda del voltaje con un ángulo inicial de 180°.

e. VALOR EFICAZ DE UNA ONDA DISTORSIONADA.

Basándonos en las series de Fourier podemos deducir las siguientes ecuaciones:

e.1. Valor eficaz de una onda distorsionada de Voltaje.

El valor eficaz de un voltaje distorsionado está dado por la ecuación:

$$V = \sqrt{V_F^2 + V_H^2} \quad [\text{Ec. 2.31}]$$

Dónde:

V = Valor eficaz del voltaje distorsionado [V]

V_F = Valor eficaz de la fundamental [V]

V_H = Valor eficaz de todos los armónicos [V]

e.2. Valor eficaz de una onda distorsionada de Corriente.

El valor eficaz de una corriente distorsionada está dado por la ecuación:

$$I = \sqrt{I_F^2 + I_H^2} \quad [\text{Ec. 2.32}]$$

Dónde:

I = Valor eficaz de la corriente distorsionada [A]

I_F = Valor eficaz de la fundamental [A]

I_H = Valor eficaz de todos los armónicos [A]

f. INDICADORES ESENCIALES DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA.¹⁵

Existen varias formas de describir el grado de distorsión de una corriente o de un voltaje. Dos que se utilizan con frecuencia son el factor de cresta y la Distorsión Armónica Total (THD, por sus siglas en inglés).

f.1. Factor de Cresta.

Por definición, el **FACTOR DE CRESTA**: es la razón del valor de pico de una onda a su valor eficaz (RMS). Dicho factor se puede expresar como:

$$k = \frac{I_{max}}{I_{rms_t}} \quad [\text{Ec. 2.33}]$$

$$k = \frac{V_{max}}{V_{rms_t}} \quad [\text{Ec. 2.34}]$$

Dónde:

k = Factor de cresta.

I_{max} = Corriente máxima o pico [A]

I_{rms_t} = Corriente eficaz (rms) total [A]

V_{max} = Voltaje máximo o pico [V]

V_{rms_t} = Voltaje eficaz (rms) total [V]

El factor de cresta para una onda senoidal es siempre $\sqrt{2} = 1.41$.

Un factor de cresta muy elevado implica sobre intensidades puntuales importantes.

¹⁵ www.schneider-electric-com.ar, Detección y filtrado de armónicos

Estas sobre intensidades, detectadas por los dispositivos de protección, pueden ser el origen de desconexiones indeseadas.

f.2. Distorsión Armónica.

f.2.1. Distorsión Armónica individual (o distorsión armónica de orden h).

La distorsión armónica individual se define como el nivel de distorsión, en porcentaje, de orden h, con respecto a la fundamental.

$$i_h(\%) = 100 * \frac{I_h}{I_1} \quad [\text{Ec. 2.35}]$$

$$v_h(\%) = 100 * \frac{V_h}{V_1} \quad [\text{Ec. 2.36}]$$

Dónde:

$i_h(\%)$ = Distorsión armónica individual de corriente de la armónica h [%]

I_h = Corriente eficaz de la armónica h. [A]

I_1 = Corriente eficaz de la fundamental [A]

$v_h(\%)$ = Distorsión armónica individual de voltaje de la armónica h [%]

V_h = Voltaje eficaz de la armónica h [V]

V_1 = Voltaje eficaz de la fundamental [V]

f.2.2. Distorsión Armónica Total (THD).

Por definición, la **DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL** (THD) de una corriente o voltaje es igual al valor eficaz de todos los armónicos dividido entre el valor eficaz del fundamental. La tasa de distorsión armónica es

frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

De acuerdo con la norma, generalmente se puede limitar h a 50.

f.2.3. Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi).

En el caso de una corriente distorsionada, la ecuación es:

$$(\%)THDi = \frac{1}{I_1} * \sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} I_h^2} * 100\% \quad [\text{Ec. 2.37}]$$

Dónde:

$(\%)THDi$ = Distorsión Armónica Total de corriente [%].

I_h = Corriente eficaz de la armónica h [A]

I_1 = Corriente eficaz de la fundamental [A]

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más directa y fácil de utilizar cuando se conoce el valor eficaz total:

$$THDi = \sqrt{\left(\frac{I_{rms_t}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad [\text{Ec. 2.38}]$$

Dónde:

$THDi$ = Distorsión Armónica Total de corriente.

I_{rms_t} = Corriente eficaz (rms) total [A]

f.2.4. Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDv).

En el caso de un voltaje distorsionado, la ecuación es:

$$(\%)THDv = \frac{1}{V_1} * \sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} V_h^2} * 100\% \quad [\text{Ec. 2.39}]$$

Dónde:

$(\%)THDv$ = Distorsión Armónica Total de voltaje [%].

V_h = Voltaje eficaz de la armónica h [V]

V_1 = Voltaje eficaz de la fundamental [V]

- **Espectro de frecuencia.**

Representa la amplitud de cada orden armónico en un gráfico, se obtiene una representación gráfica del espectro en frecuencia. Esta técnica se denomina análisis espectral.

La figura 2.11 muestra el análisis espectral de una señal rectangular.

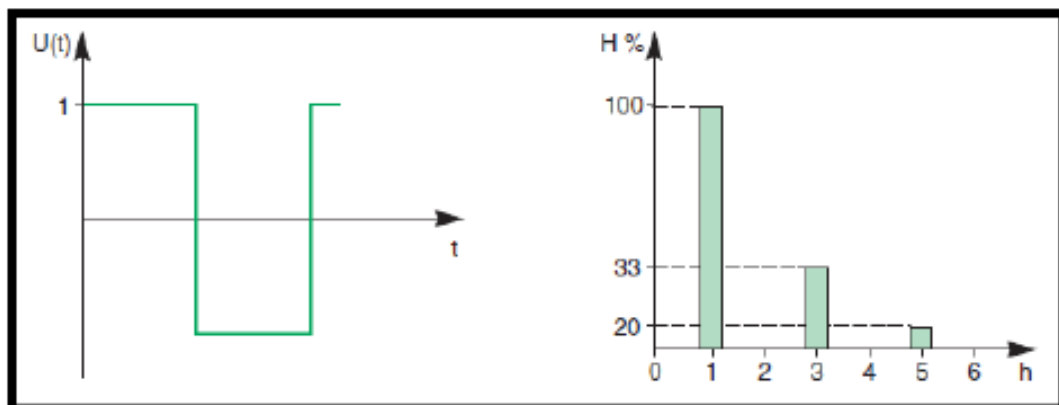


Figura 2. 11 Análisis espectral de una señal rectangular

- **Utilidad de cada uno de los indicadores.**

Interpretación del THDi.

La THD de corriente indica la distorsión de la onda de corriente.

Para identificar la carga que causa la distorsión, la THD de corriente se debe medir a la entrada y en cada una de las salidas de los diferentes circuitos.

La THDi medida proporciona información sobre fenómenos observados en una instalación:

- Un valor de THDi inferior al 10 % se considera normal. Prácticamente no existe riesgo de funcionamiento anómalo en los equipos.
- Un valor de THDi comprendido entre el 10 y el 50 % revela una distorsión armónica significativa. Existe el riesgo de que aumente la temperatura, lo que implica el sobredimensionado de los cables y las fuentes.
- Un valor de THDi superior al 50 % revela una distorsión armónica importante. El funcionamiento anómalo de los equipos es probable. Un análisis profundo y un sistema de atenuación son necesarios.

Interpretación del THDv.

La THD de tensión indica la distorsión de la onda de tensión.

La THDv medida proporciona información sobre fenómenos observados en una instalación:

- Un valor de THDv inferior al 5 % se considera normal. Prácticamente no existe riesgo de mal funcionamiento en los equipos.
- Un valor de THDv comprendido entre el 5 y el 8 % indica una distorsión armónica significativa. Se pueden dar funcionamientos anómalos en los equipos.
- Un valor de THDv superior al 8 % revela una distorsión armónica importante. Los funcionamientos anómalos en los equipos son probables. Un análisis profundo y un sistema de atenuación se hacen necesarios.

g. ANÁLISIS DEL FACTOR DE POTENCIA Y POTENCIAS EN PRESENCIA DE ARMÓNICOS.¹⁶

g.1. Potencia Activa, Reactiva, Aparente y Factor de potencia en régimen Senoidal.

Las definiciones de potencia aparente (S), factor de potencia (FP), potencia activa (P) y potencia reactiva (Q) en sistemas senoidales son conceptos que han quedado claros y han sido aceptados desde hace tiempo.

¹⁶ BELVER Inmaculada Zamora & STADIER Valentín Macho, Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos, 1ra Edición, España, Año 2005, Pág. 9.

g.2. Potencia Activa (media, promedio).

La potencia activa se define como aquella parte de la potencia aparente que se transfiere de la fuente a la carga y es consumida en ella, es decir, representa la potencia útil.

$$P = V * I * \cos \phi \quad [\text{Ec. 2.40}]$$

Dónde:

P = Potencia activa (media, promedio) [W]

V = Voltaje eficaz. [V]

I = Corriente eficaz [A]

ϕ = Ángulo de desfase entre la corriente y voltaje eficaz [° Grados]

g.3. Potencia Reactiva.

La potencia reactiva se define como aquella parte de la potencia aparente que se intercambia alternativamente entre un medio de almacenamiento inductivo y otro capacitivo, aumentándose las pérdidas de transporte y distribución pero sin la existencia de un consumo útil; por esta razón las compañías eléctricas penalizan a los clientes que consumen un valor elevado de esta potencia reactiva.

$$Q = V * I * \sen \phi \quad [\text{Ec. 2.41}]$$

Dónde:

Q = Potencia reactiva [VAR]

V = Voltaje eficaz [V]

I = Corriente eficaz [A]

ϕ = Ángulo de desfase entre la corriente y voltaje eficaz [° Grados]

g.4. Potencia Aparente.

La potencia eléctrica se define a partir de los fasores de tensión e intensidad como:

$$\vec{S} = \vec{V} * \vec{I}^* \quad [\text{Ec. 2.42}]$$

Dónde:

\vec{S} = Potencia Aparente en su forma compleja. [VA]

\vec{V} = Es el fador de tensión. [V]

\vec{I}^* = Es el conjugado del fador de intensidad de línea. [A]

La potencia Aparente en función del voltaje y corriente eficaz es:

$$S = V * I \quad [\text{Ec. 2.43}]$$

Esta potencia compleja así definida y denominada potencia aparente se puede expresar en función de dos componentes ortogonales de potencia.

$$\vec{S} = P + jQ \quad [\text{Ec. 2.44}]$$

ó también

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad [\text{Ec. 2.45}]$$

Dónde:

S = Potencia Aparente [VA]

P = Potencia Activa (media, promedio) [W]

Q = Potencia reactiva [VAR]

g.5. Factor de Potencia.¹⁷

Usualmente se tiende a pensar que el factor de potencia **FP** y el coseno de ϕ ($\cos\theta$) son lo mismo, así hablamos de o **FP**. Esto es cierto solamente cuando no hay armónicos, es decir, cuando tanto la señal de corriente como la de voltaje son señales senoidales.

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$FP = \frac{P}{S} \quad [\text{Ec. 2.46}]$$

En estas condiciones en el cual no existen corrientes y voltajes distorsionados, el factor de Potencia está dado por el coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente fundamental.

$$FP = \cos\theta \quad [\text{Ec. 2.47}]$$

Dónde:

FP = Factor de potencia

P = Potencia Activa (media, promedio). [W]

S =Potencia Aparente. [VA]

cos θ = Coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente eficaz [° Grados].

Un consumo elevado de potencia reactiva se traduce en un valor reducido del factor de potencia.

Y la representación de **FP/cos ϕ_1** en función de THDi (figura 2.12)

¹⁷ <http://biee.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1094/6/T10904CAP2.pdf>

$$FP/\cos\phi_1 = f(\text{THDi}) \quad [\text{Ec. 2.48}]$$

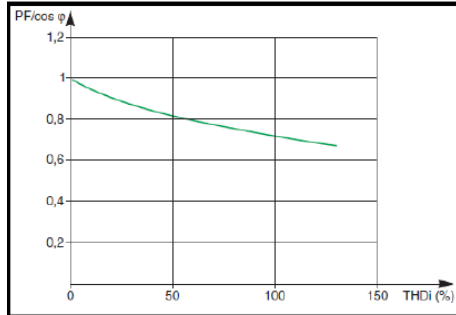


Figura 2.12 Variación de $FP/\cos\phi_1$ en función del THDi.

2.4.5. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los parámetros que influyen en la alimentación eléctrica de equipos, elementos eléctricos y electrónicos, son entre otros:

- Armónicos de tensión y corriente.
- Transientes de Sobretensión.
- Fluctuaciones rápidas de la tensión (flicker).
- Ruido.
- Puesta a Tierra.

Estos parámetros se los detalla a continuación, describiendo sus conceptos, efectos que producen en los equipos electrónicos y sus causas; señalando ciertas acciones para resolver estas anomalías.

a. ARMÓNICOS

En sistemas eléctricos la palabra Armónicos se utiliza para designar corrientes o tensiones de frecuencias múltiplos de la frecuencia

fundamental de alimentación las cuales consumen energía de forma similar a la fundamental.

Las formas de onda no senoidales consisten de (y pueden ser descompuestas en) un número finito de ondas seno puras de diferentes frecuencias. En la figura se muestra la combinación de una forma de onda de voltaje senoidal y una forma de onda de 5to, 7mo y 11vo armónico crea una forma de onda armónicamente distorsionada. La forma de onda resultante dependerá del desplazamiento de fase en cada uno de los armónicos.

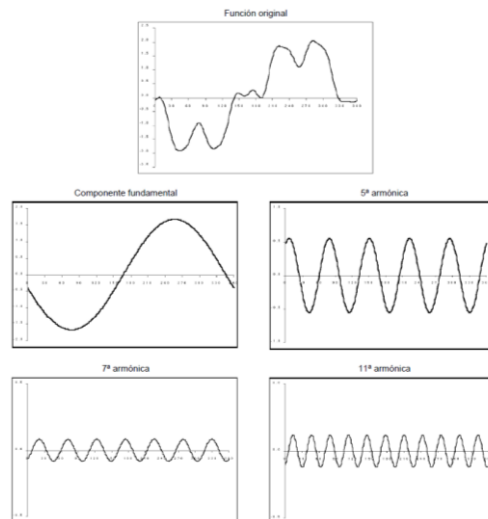


Figura 2. 13 Distorsión de una onda fundamental

Dentro de un sistema de alimentación eléctrica, estas corrientes generan consumo que no es utilizado por los equipos.

Idealmente las ondas de corriente y tensión son de forma sinusoidal, al realizar mediciones en un sistema y se detecte que la onda esté distorsionada, se dice que se trata de una onda contaminada por componentes armónicas.

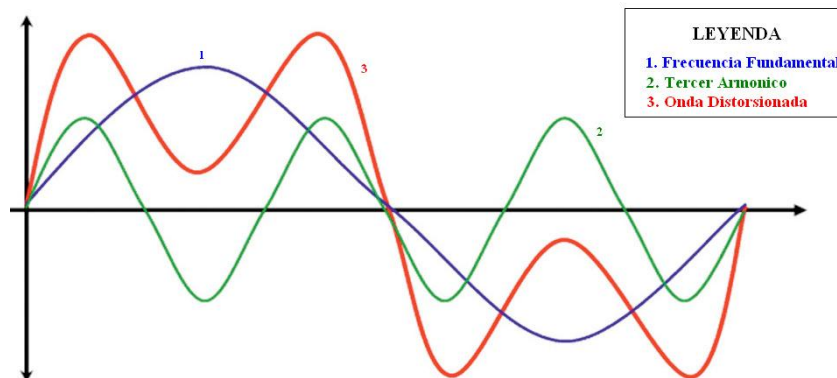


Figura 2. 14 Descomposición de una onda distorsionada.

Los armónicos se definen con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- **Amplitud:** hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.
- **Orden:** hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental.

El orden del armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia de la fundamental. Por principio, la fundamental f_1 tiene orden 1.

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad [\text{Ec. 2.49}]$$

Dónde:

n: Rango del Armónico.

f_n : Frecuencia de un Armónico n.

f_1 : Frecuencia Fundamental.

Conforme se va incrementando el orden, la frecuencia de las corrientes armónicas crece y su magnitud normalmente disminuye por lo que, las de

orden inferior generalmente la tercera, quinta y la séptima tienen mayor influencia en los sistemas de potencia. Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables.

a.1. GENERACIÓN DE ARMÓNICOS.

Un receptor o carga se dice que es lineal cuando la tensión aplicada a sus extremos y la corriente que los atraviesa están relacionadas por un factor constante. Por el contrario, un receptor es no-lineal cuando la relación tensión/corriente no es constante.

Las cargas no - lineales conectadas a la red de corriente alterna senoidal absorben corrientes que no son senoidales, aunque por lo general sí son periódicas.

Como ejemplos más típicos de tales cargas podemos citar: los convertidores estáticos (grupos rectificadores, reguladores de velocidad, arrancados estáticos, cargadores de baterías, etc.), hornos de arco, instalaciones de iluminación con lámparas de descarga, transformadores (debido a la no linealidad de su circuito magnético en saturación, se produce una deformación de la forma de onda de la intensidad), reactancias con núcleo de hierro, máquinas rotativas, electrodomésticos con equipos de regulación de tensión y potencia, etc....¹⁸

a.1.1. PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE CORRIENTES ARMÓNICAS

Una carga es considerada no lineal si su impedancia cambia con el voltaje aplicado. La impedancia variable quiere decir, que, la corriente dibujada

¹⁸ BELVER Inmaculada Zamora & STADIER Valentín Macho, Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos, 1ra Edición, España, Año 2005, Pág. 14.

por la carga no lineal no será sinusoidal aun cuando esté relacionada a un voltaje sinusoidal.

Estas corrientes poco sinusoidales contienen corrientes armónicas que interactúan con la impedancia del sistema de distribución de energía eléctrica para crear distorsión de voltaje que afectan tanto a los equipos del sistema de distribución y a las cargas conectadas al mismo.

Los armónicos se ven amplificados en condiciones de resonancia, condición que se suele dar cuando se colocan condensadores en la red para mejorar el factor de potencia.

a.1.2. EFECTOS PRINCIPALES DE LOS ARMÓNICOS.¹⁹

- **RESONANCIA.**

La utilización de dispositivos tanto capacitivos como inductivos en sistemas de distribución provoca el fenómeno de la resonancia, teniendo como resultado valores extremadamente altos o bajos de impedancia. Estas variaciones en la impedancia modifican la corriente y la tensión en el sistema de distribución.

Se considera en la figura 2.15 de abajo, donde se muestra una instalación constituida por:

- Un transformador que suministra potencia,
- Cargas lineales,
- Cargas no-lineales generadoras de corrientes armónicas,
- Condensadores de compensación.

¹⁹ www.schneider-electric-com.ar, Detección y filtrado de armónicos.

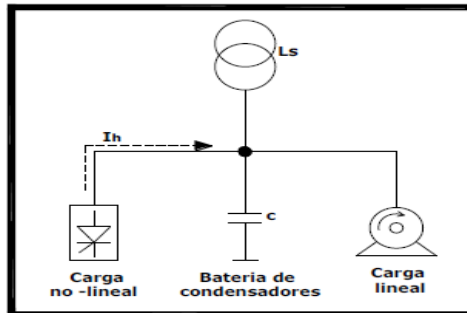


Figura 2. 15 Diagrama unifilar de Potencia.

Para propósitos de análisis armónico, el diagrama equivalente se muestra abajo:

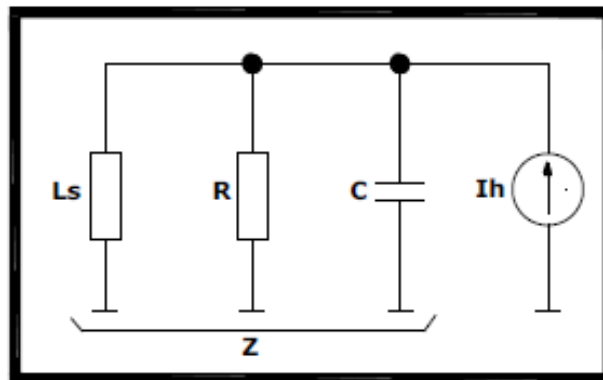


Figura 2. 16 Diagrama esquemático de Potencia.

En donde:

Ls = Inductancia suministrada (sistema + transformador + línea)

C = Capacidad corrección factor de potencia. [uF]

R = Resistencia de las cargas lineales. [ohm]

Ih = Corriente armónica. [A]

- **AUMENTO DE LAS PÉRDIDAS.**

Pérdidas en los conductores.

La potencia activa transmitida a una carga depende de la corriente fundamental.

Cuando la corriente absorbida por la carga contiene armónicos, el valor eficaz de la corriente, I_{rms_t} , es superior al fundamental I_1 .

Se puede deducir:

$$I_{rms_t} = I_1 \sqrt{(THDi)^2 + 1} \quad [\text{Ec. 2.50}]$$

En la figura 2.17 se muestra, en función de la tasa de distorsión armónica:

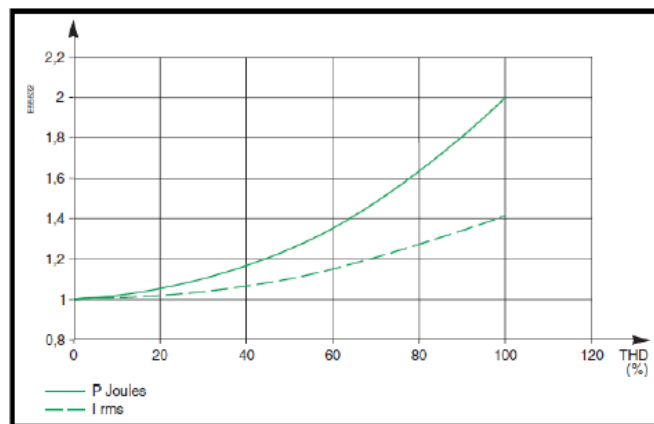


Figura 2. 17 Evolución de la corriente eficaz y de las pérdidas.

Las corrientes armónicas provocan un aumento de las pérdidas Joule en todos los conductores por los que circulan y un aumento adicional en la temperatura de transformadores, equipos, cables, etc....

- **SOBRECARGA EN LOS MATERIALES.**

Generadores.

Los generadores que alimentan cargas no-lineales generalmente sufren decalajes debidos a las pérdidas suplementarias creadas por las corrientes armónicas. Este decalaje es del orden del 10% para un alternador que alimenta un 30% de cargas no - lineales, y de allí la necesidad de sobredimensionar el aparato.

- ***SAls.***

La corriente absorbida por los equipos informáticos presenta un factor de cresta elevado. Un SAls dimensionado únicamente teniendo en cuenta el valor de la corriente eficaz puede no ser capaz de alimentar los picos de corriente requeridos y de este modo sobrecargarse.

- ***Transformadores.***

La curva de abajo (figura 2.18) muestra valores típicos de decalaje para un transformados que alimenta cargas electrónicas (no - lineales).

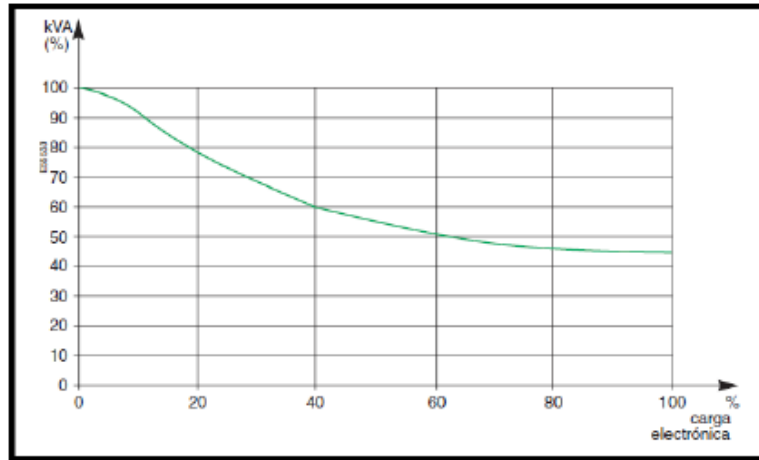


Figura 2. 18 Taza de decaje para un transformador alimentando cargas electrónicas.

- **Conductores del neutro.**

Considerar un sistema formado por una fuente balanceada trifásica y tres cargas idénticas monofásicas conectadas fase-neutro.

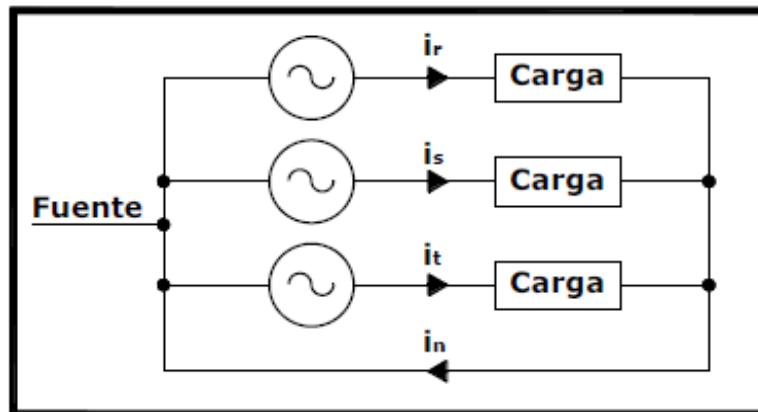


Figura 2. 19 Circulación de la corriente en los conductores.

El gráfico de la figura 2.20 de abajo muestra la corriente resultante en el conductor neutro.

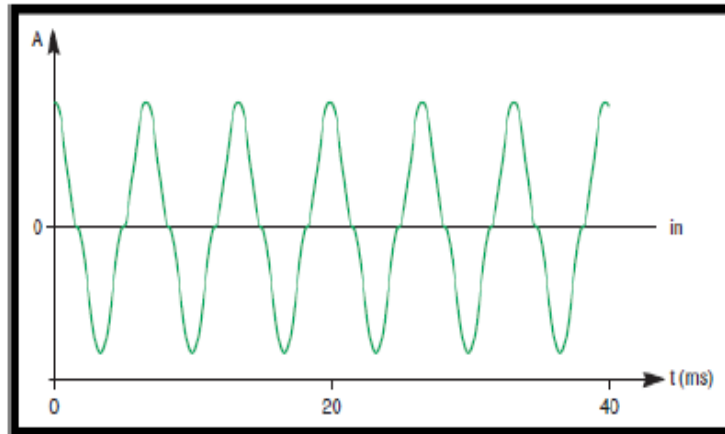


Figura 2. 20 Corrientes que circulan por el neutro $I_n = i_r + i_s + i_t$.

En este ejemplo, el valor de la corriente eficaz en el conductor neutro es 3 veces mayor que el de la corriente en una fase. Por tanto, el conductor neutro debe ser redimensionado adecuadamente.

- **PERTURBACIONES EN CARGAS SENSITIVAS.**

Efectos de la distorsión de la tensión de alimentación.

La distorsión de la fuente de alimentación puede perturbar el funcionamiento de aparatos sensibles:

- Dispositivos de regulación (temperatura, etc.),
- Material informático,
- Dispositivos de control y monitorización (relés de protección).

Perturbaciones en las líneas telefónicas.

Los armónicos generan perturbaciones en los circuitos con la circulación de corrientes bajas.

El grado de perturbación depende de la distancia de avance en paralelo de los cables de potencia y de señal, la distancia entre las líneas y la frecuencia de los armónicos.

- **SOBRE CORRIENTE EN EL NEUTRO**

En condiciones normales, con una carga trifásica lineal equilibrada, las porciones fundamentales a 60 Hz de las corrientes de cada fase se anulan mutuamente en el conductor neutro.

En un sistema de cuatro conductores con cargas no lineales, ciertas armónicas impares denominadas “triplens” (múltiplos impares de los terceros armónicos: 3º, 9º, 15º, etc.) no se anulan entre sí, sino que se suman en el conductor neutro.

En sistemas con muchas cargas monofásicas no lineales, la corriente del neutro puede llegar a superar el valor de las corrientes de fase. En este caso, el peligro es un excesivo calentamiento, al no existir en el conductor neutro ningún interruptor automático que limite la corriente como ocurre en los conductores de las fases.

- **BARRAS COLECTORAS Y BORNES DE CONEXIÓN**

Las barras colectoras neutras y los bornes de conexión están dimensionados para soportar el valor máximo de la corriente de fase, pero pueden sufrir sobrecarga si se agrega a los conductores neutros la suma de los armónicos “triplens”.

- **TABLEROS ELÉCTRICOS**

Los tableros pueden presentar resonancia debido a los campos magnéticos generados por corrientes armónicas de alta frecuencia. Cuando esto sucede el tablero empieza a vibrar y emite un zumbido producido, la mayoría de las veces, por corrientes armónicas.

- **TRANSFORMADORES**

Los transformadores utilizados en grandes instalaciones normalmente son del tipo estrella - triángulo. Las cargas monofásicas no lineales conectadas a éstas tomas de corriente producen armónicos “triplens” que se suman algebraicamente en el conductor neutro.

Cuando esta corriente del neutro llega al transformador se refleja en el devanado del primario en delta (triángulo) del mismo y circula por él con el consiguiente sobrecalentamiento y averías del transformador.

Normalmente los transformadores sólo están diseñados para una carga de corriente de fase de 50 o 60 Hz. Al ser más alta su frecuencia, la corriente armónica provoca un mayor calentamiento con la misma corriente. Estos efectos de calentamiento obligan a modificar el diseño de los transformadores ordinarios utilizados para alimentar cargas no lineales o a sustituir dichos transformadores por otros de diseño especial.

- **MOTORES Y GENERADORES**

El mayor efecto de las corrientes y voltajes armónicos en las máquinas rotativas (inducción y sincrónicas) es el incremento del calentamiento debido a las pérdidas en el entrehierro y el cobre por frecuencias armónicas. Los componentes de armónicos de voltaje afectarán la

eficiencia de la máquina y pueden afectar el torque desarrollado por las mismas. Las corrientes armónicas en un motor pueden dar lugar a emisión de ruidos (oscilaciones mecánicas) en comparación con la excitación sinusoidal.

- **CAPACITORES**

Los principales efectos de los armónicos en capacitores son el aumento de las tensiones dieléctricas y el calentamiento dentro del capacitor. Como resultado de esto, la película dieléctrica en el capacitor está sujeta a mayores voltajes que los permitidos por el diseño de este y trae como consecuencia fatigas en el aislamiento, lo que a su vez ocasiona la disminución de la vida útil del capacitor.

- **EQUIPOS ELECTRÓNICOS**

Los equipos electrónicos pueden ser susceptibles a los efectos de la distorsión armónica, ya que pueden ser afectados debido a la inclusión de armónicos, a través del suministro de potencia del equipo o por medio del acoplamiento magnético de los armónicos en las componentes del equipo.

Las computadoras y los equipos asociados a esta, tales como los controladores programables, frecuentemente requieren de fuentes de corrientes alternas que no poseen más del 5% del factor de distorsión de voltaje armónico.

Niveles mayores de armónicos provocan un mal funcionamiento del equipo en ocasiones imperceptible, lo cual puede, en algunos casos traer consecuencias serias. Los instrumentos pueden ser afectados de manera similar, dando datos erróneos de modo impredecible.

Los efectos dependerán de la proporción que exista entre la carga no lineal y la carga total del sistema, aunado a que se debe mantener la distorsión dentro de los límites establecidos por las normas.

IMPACTO ECONÓMICO.

- **Perdidas energéticas.**

El efecto Joule, inducido por las corrientes armónicas en los conductores y equipos, causa pérdidas energéticas adicionales.

- **Costos adicionales de potencia contratada**

La presencia de corrientes armónicas provoca que se incremente el nivel de potencia contratada y, consecuentemente, el coste de la suscripción.

Lo que es más, los distribuidores de energía tenderán a penalizar en el futuro a quienes produzcan perturbaciones armónicas.

- **Sobredimensionado de los equipos.**

1. El decalaje de las fuentes de energía (generadores, transformadores y SAls) implica su sobredimensionado.
2. Los conductores deben ser dimensionados teniendo en cuenta la circulación de las corrientes armónicas. Debido a que las frecuencias de los armónicos son mayores que la de la fundamental, las impedancias que se encuentran para estas corrientes son mayores. Para evitar excesivas pérdidas debidas al efecto Joule, es necesario sobredimensionar los conductores.

3. La circulación de corrientes armónicas en el conductor neutro implica su sobredimensionado.

- **Reducción de la vida de los equipos.**

Cuando la distorsión de la tensión de alimentación es de aproximadamente el 10%, el tiempo de vida de los equipos se reduce significativamente. Dependiendo del tipo de aparato, la reducción en el tiempo de vida se puede estimar como:

- a) 32.5% para las máquinas monofásicas.
- b) 18% para las máquinas trifásicas.
- c) 5% para los transformadores.

Para mantener el tiempo de vida que corresponde a una tensión de alimentación normal, los aparatos deben ser sobredimensionados.

- **Desconexiones indeseadas y paradas en la instalación.**

Los interruptores de una instalación están sometidos a picos de corrientes causados por armónicos.

Estos picos de corriente causan desconexiones indeseadas que implican pérdidas en la producción así como los costes correspondientes al tiempo requerido para volver a poner en marcha la instalación.

EFFECTOS DE LOS ARMÓNICOS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS.²⁰

Los efectos no deseados de los armónicos o distorsión de la onda de tensión en los equipos eléctricos dan lugar a problemas de daños para los equipos, mal funcionamiento u operación y aumento en los costos económicos de una instalación. Estos efectos pueden dividirse en tres apartados:

- Calentamientos.
- Defectos sobre el aislamiento.
- Fallos de operación.

A continuación se van a describir a qué equipos y cómo son los efectos mencionados anteriormente.

- **CALENTAMIENTOS.**

El flujo de corrientes armónicas por los equipos eléctricos da lugar en general a un calentamiento adicional debido al aumento de pérdidas, y por lo tanto a envejecimiento prematuro de los aislamientos.

Entre los equipos que más sufren este tipo de efecto están las lámparas de incandescencia, motores, generadores, transformadores, reactancias, condensadores y cables.

²⁰ BELVER Inmaculada Zamora & STADIER Valentín Macho, Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos, 1ra Edición, España, Año 2005, Pág. 18-24

Lámparas de incandescencia.

Este tipo de lámparas ve muy afectada su vida por tensiones distorsionadas que superen las tensiones nominales, dada la mayor temperatura a la que trabaja el filamento.

En lámparas de descarga, los únicos efectos que se conocen es la aparición en ciertos casos de un ligero ruido, y la posibilidad de resonancia del equipo de encendido con los armónicos, si bien ésta es poco probable, al encontrarse entre los 75-80 Hz.

Motores y generadores.

El incremento en el calentamiento de generadores y motores se produce por dos efectos diferentes:

El primero es el producido por el aumento de la corriente que atraviesa los bobinados con respecto a una corriente perfectamente senoidal, y el reparto de esta corriente dentro de los conductores (a mayores frecuencias el efecto pelicular toma mayor importancia, concentrándose la corriente en el exterior de los conductores y aumentando las pérdidas por Joule en esas zonas).

Las pérdidas causantes de los calentamientos adicionales en este caso son las pérdidas por Joule en estator y rotor y las pérdidas adicionales, no influyendo apenas las pérdidas en el hierro.

Fundamentalmente las armónicas producen los siguientes efectos en las máquinas rotatorias de C.A.:

- Incremento en el calentamiento debido a las pérdidas en el hierro y en el cobre.
- Cambios en el par electromagnético que afecta a:
 - La eficiencia de la máquina.
 - Las oscilaciones torsionales de la máquina.

Condensadores.

Las pérdidas en los condensadores son en general pequeñas, y no hay gran información de cómo varían éstas con la frecuencia. El incremento de pérdidas en los condensadores y sus equipos asociados (resistencias de descarga, conexiones, etc...) son también pequeños, pero debido a su pequeño tamaño, éste puede dar lugar a un aumento de la temperatura sustancial, y por lo tanto un acortamiento de la vida de este elemento.

Este efecto, así como las sobretensiones permanentes a las que se pueden ver sometidos los condensadores, se agravan con la posibilidad de resonancia entre estos y otras partes de la red. Es por ello por lo cual el diseño e instalación de baterías de condensadores en redes con presencia de armónicos se menciona en todas las guías y tratados de diseño de instalaciones de compensación de energía reactiva mediante bancos de condensadores.

Transformadores y reactancia.

En un transformador, algunas de las líneas de flujo de dispersión que circundan los devanados intersecan las vueltas de los devanados primario y secundario. En consecuencia, estas líneas de flujo inducen voltajes débiles en el interior de los conductores de cobre (o aluminio) los que, a su vez, producen corrientes parásitas que producen pérdidas adicionales

en los devanados por encima de las pérdidas eléctricas I^2R por el efecto Joule.

Las corrientes distorsionadas producen flujos de dispersión armónicos además del flujo de dispersión fundamental. Cuando estos flujos armónicos atraviesan los conductores de cobre, inducen voltajes armónicos y, por ende, corrientes parásitas armónicas. Las corrientes parásitas armónicas correspondientes también son h veces más grandes.

En consecuencia, dado que las pérdidas se incrementan como el cuadrado de la corriente, entonces las pérdidas parásitas se incrementan como el cuadrado del orden armónico de la densidad de flujo de dispersión.

Suponga, por ejemplo, que una corriente fundamental de 40 A que fluye en el devanado primario produce pérdidas parásitas de 4 W. Una 7ma corriente armónica del mismo valor produciría pérdidas parásitas de $7^2 \times 4 \text{ W} = 196 \text{ W}$.

La figura 2.21 muestra una pequeña parte de una vuelta del devanado de un transformador. Conduce una corriente no distorsionada I_F a 60 Hz. Una parte ϕ_F del flujo de dispersión producido por I_F atraviesa la vuelta e induce en ella una corriente parásita i_{FS}

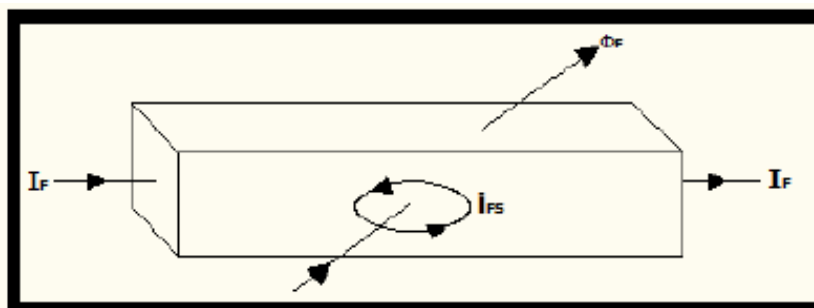


Figura 2. 21 El flujo de dispersión a frecuencia fundamental induce corrientes parásitas i_{FS} en los devanados de cobre.

Los transformadores “h-rated”: son aquellos que se encuentran diseñados específicamente para operar en su temperatura de diseño mientras suministra potencia a una carga que genera un nivel específico de armónicos. Los cambios en el diseño de estos transformadores, respecto del diseño de transformadores estándar incluyen:

- a) Conductores de hilo múltiple en lugar de conductores sólidos.
- b) Conductores de neutro más grandes.
- c) Conductores paralelos para disminuir el efecto Skin.
- d) Modificaciones en el diseño del circuito magnético.
- e) Apantallamiento entre los devanados primario y secundario.

- **DEFECTOS DE AISLAMIENTO.**

La presencia de armónicos en el sistema da lugar a sobretensiones y por lo tanto a la probabilidad de aparición del efecto corona, degradación de los aislamientos y fallos en los mismos.

- **FALLOS DE OPERACIÓN.**

Los fallos de operación abarcan un amplio campo de equipos. A continuación:

Interruptores automáticos.

La capacidad de corte de corrientes de cortocircuito en interruptores automáticos puede verse afectada por la distorsión de la onda debido a aumentos en la variación de crecimiento de la onda de intensidad, lo cual puede dificultar el apagado del arco; así como a la incapacidad de soplar el arco en los interruptores de soplado magnético.

Fusibles.

Un contenido muy elevado de armónicos puede dar lugar a un calentamiento de los fusibles, que si bien difícilmente va a dar lugar a su fusión, si desplaza su curva de funcionamiento, dando lugar a operaciones no deseadas y fallo de coordinación con otros dispositivos, especialmente durante fallos de baja magnitud.

Equipos de medida.

Se han desarrollado varios estudios para comprobar los errores de medida en equipos electromecánicos y digitales de medida. Los equipos modernos son relativamente inmunes, con errores menores del 1 % en ondas producidas por choppers y ángulos de disparo entre 0 y 135°. En vatímetros de inducción, el error llegaba a alcanzar el 20% con ángulos de disparo de 90°.

Convertidores y equipos electrónicos.

Los equipos electrónicos, incluidos los convertidores, son causantes de la distorsión de la onda, pero a su vez padecen fallos debidos a la misma. A continuación se enumeran algunos:

- Los altos valores de la variación de tensión e intensidad en el tiempo dan lugar a fallos en los semiconductores que componen los convertidores.
- Pueden darse fallos en el comportamiento de las cargas alimentadas por convertidores debido a la transmisión de armónicos a través del filtro de salida del mismo.
- Aparecen fallos en los equipos magnéticos y periféricos de los ordenadores.

- La lógica de control de muchos equipos electrónicos y de convertidores se basa en los pasos por cero de la tensión de entrada, por lo cual la distorsión de la misma da lugar a fallos de operación.

b. TRANSITORIOS.

Por definición un transitorio es un incremento del Voltaje de muy alta magnitud y muy corta duración ($<1/2$ ciclo), en tiempos tan cortos como un nanosegundo, (Billonésima de segundo) llegando a durar hasta 2000 microsegundos (Millonésimas de segundo). La norma IEEE 1159 clasifica a los transitorios en impulsivos y oscilatorios, subdividiéndolos en categorías conforme al tiempo de duración.

En ingeniería eléctrica el término transitorio caracteriza a aquellos eventos indeseables en el sistema que son de naturaleza momentánea.

ORIGEN DE EVENTOS TRANSITORIOS

Los transitorios pueden ser originados por causas diversas, siendo alguna de éstas las que se mencionan a continuación:

RAZONES EXTERNAS

Los picos de voltaje (transitorios de impulso) son aquellos inducidos por la actividad atmosférica, como rayos inducidos en los conductores de alta, media y baja tensión, transientes provenientes de la descarga de pararrayos a través de las puestas a tierra, accidentes en torres, conductores, aisladores y contaminación industrial son las de mayor incidencia.

En líneas de 69KV se han podido determinar que pueden llegar tan fácilmente a 220KV. Esta anomalía está caracterizada por niveles de voltaje y corriente muy altos, y de corta duración.

RAZONES INTERNAS

Los transitorios de decaimiento oscilatorio, son aquellos generados por los ciclos de potencia de las cargas inductivas, las actividades de conmutación de la central eléctrica, la corrección del factor de potencia, y por numerosas fuentes internas del sitio.

Representan el 80% de generación de este evento, por tanto la conmutación de cargas provocan transitorios, como son:

- Cargas inductivas (Motores eléctricos) 7 KV.
- Cargas capacitivas (Bancos de condensadores) 7.5 KV.
- Cargas Resistivas (Hornos) 12 KV.
- Cargas no lineales 1 KV.

Y así se podría mencionar un sin fin de equipos capaces de producir estos transitorios.

La conmutación de una carga produce arcos voltaicos como una reacción electromagnética de alta frecuencia, los mismos que representan un gran movimiento y desplazamiento de energía, obviamente, buscando los caminos de menor resistencia.

EFFECTOS DE LOS TRANSITORIOS

Al contrario de los apagones y variaciones de voltaje de larga duración (>1/2 ciclo), los Transientes no son perceptibles a simple vista y

desafortunadamente provocan daños ya sea inmediatos o paulatinos en los sistemas eléctricos.

- **TRANSIENTES DESTRUCTIVOS**

Pueden dar como resultado una falla drástica con incendio, explosión o falla de componentes, son evidentes cuando existen descargas atmosféricas (rayos).

- **TRANSIENTES DEGRADATIVOS**

Estos son de bajos niveles de impulso que causan un mal funcionamiento de equipos e incurre en costos de re inicio y pérdidas importantes de datos. Este tipo de transientes disminuye la vida útil de los equipos e incrementa el costo de lucro cesante por paradas de máquinas no programadas, entre otros.

Los efectos más comunes producidos por transitorios de sobretensión son los que a continuación se nombran:

- Sobrecalentamiento de conductores.
- Reducción de la vida útil de los equipos.
- Operación errática de los sistemas.
- Incendio.

De especial interés en el análisis de los daños provocados por los transientes resultan los sistemas electrónicos, éstos, debido a su sensibilidad y baja tolerancia a las variaciones de voltaje son gravemente impactados por la presencia de transientes en la red eléctrica, provocándose serios daños a los sistemas de informática y telecomunicaciones.

- Daño de archivos y/o aplicaciones
- Reducción de la vida útil de la infraestructura de TI
- Daño severo al hardware
- Caídas del sistema.

- **TRANSITORIO IMPULSIVO**

Un transitorio impulsivo no provoca alteraciones en las condiciones de estado estable de tensión o corriente, su polaridad es unidireccional, esto es, positivo o negativo.

La falta de frecuencia en un transitorio impulsivo es atenuada rápidamente al recorrer la resistencia presente de los componentes del sistema y no se propagan muy lejos del lugar donde fueron generados.

Son considerados transitorios de origen atmosféricos y son también llamados impulsos atmosféricos. Como principal efecto de este disturbio tenemos que puede causar una falla inmediata en el aislamiento de los equipos y fuentes electrónicas.

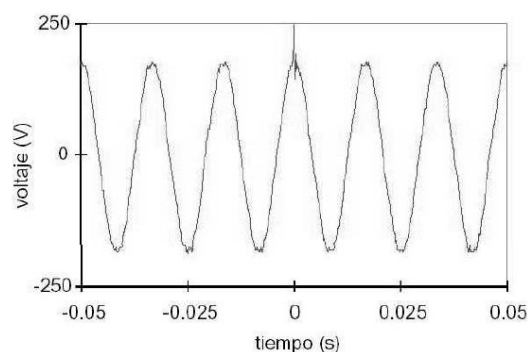


Figura 2. 22 Curva de espectro de transitorio impulsivo

- **TRANSITORIO OSCILATORIO**

Un transitorio oscilatorio consiste de variaciones de tensión y corriente cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente. Normalmente son resultado de modificaciones de la configuración de un sistema como por ejemplo, maniobras en líneas de transmisión, enclavamiento de bancos de capacitores.

Como el transitorio impulsivo el transitorio oscilatorio puede causar la quema o daños en los equipos electro – electrónicos.

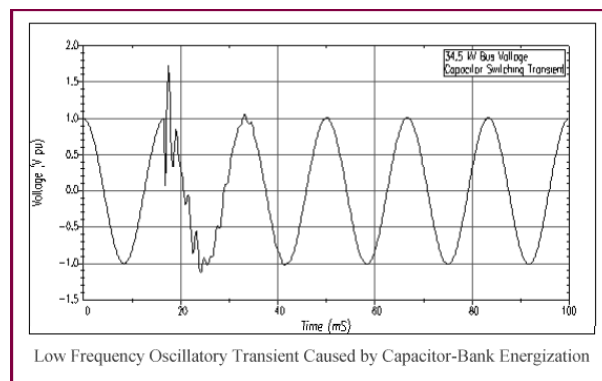


Figura 2. 23 Transiente oscilatorio de baja frecuencia.

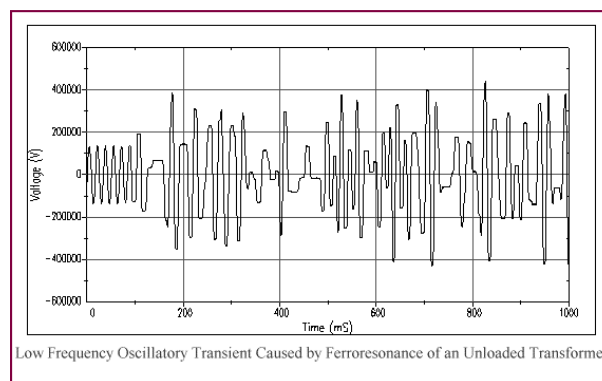


Figura 2. 24 Transiente oscilatorio de baja frecuencia por el ferro resonancia.

c. FLICKERS

Flicker es la variación del valor eficaz o amplitud de la tensión en un rango menor al 10 % del valor nominal. Esta variación de la amplitud de la tensión produce fluctuaciones del flujo luminoso en lámparas, induciendo a su vez la impresión de inestabilidad en la sensación visual (efecto de parpadeo visual), es decir el 'Flicker' se define como el nivel de molestia que percibe un observador medio como consecuencia de la variación de la luminosidad de una lámpara, ocasionada por fluctuaciones de tensión en la red de alimentación eléctrica.

El Flicker depende fundamentalmente de la amplitud, frecuencia y duración de las fluctuaciones de tensión que lo causan y se expresa como el cambio de la tensión RMS dividido por la tensión promedio RMS.

Ocurre en un rango de frecuencias que va desde 0.5 a 25 Hz; demostrándose a través de pruebas, que el ojo humano es muy sensible a frecuencias moduladoras en el rango de 8 a 10 Hz, con variaciones de tensión en el rango de 0.3 a 0.4 % de magnitud a estas frecuencias.

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas del perfil de la tensión o una serie de variaciones aleatorias de la magnitud de la tensión, las cuales normalmente exceden el límite especificado de 0,95 a 1,05 [p.u.].

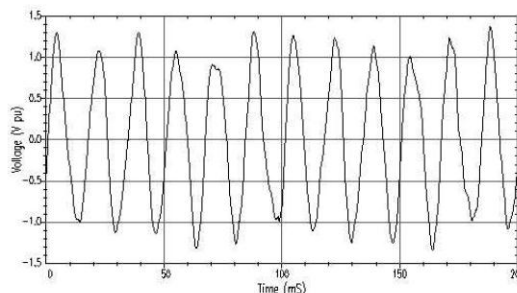


Figura 2. 25 Curva de espectro de fluctuación de tensión.

Las cargas perturbadoras pueden encontrarse conectadas a cualquier nivel de tensión. Principalmente el flicker es el resultado de fluctuaciones rápidas de pequeña amplitud de la tensión de alimentación, provocadas por la variación fluctuante de potencia que absorben diversos receptores: hornos de arco, máquinas de soldar, motores, etc.

Tabla 2. 3 PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

| Categoría | Duración Típica | Magnitud del Voltaje |
|--|------------------------|-----------------------------|
| 1. Transitorios | | |
| 1.1. Transitorio Impulsivo | < 0,5 ciclos | |
| 1.2. Transitorio oscilatorio | < 0,5 ciclos | 0 – 8 p.u. |
| 2. Corta Duración | | |
| 2.1. Interrupción | 0,5 ciclos – 1 min | < 0.1 p.u. |
| 2.2. Depresión de Tensión (Sag) | 0,5 ciclos – 1 min | 0,1 – 0,9 p.u. |
| 2.3. Salto de Tensión (Swell) | 0,5 ciclos – 1 min | 1,1 – 1,8 p.u. |
| 3. Larga Duración | | |
| 3.1. Interrupción Sostenida | > 1 min | 0 p.u. |
| 3.2. Subtensión | > 1 min | 0,8 – 0,9 p.u. |
| 3.3. Sobretensión | > 1 min | 1,1 – 1,2 p.u. |
| 4. Desequilibrio de tensión | Estado Estable | 0,5 – 2 % |
| 5. Distorsión de la forma de onda | | |
| 5.1. Armónicos | Estado Estable | 0 – 20 % |
| 5.2. Corte | Estado Estable | |
| 5.3. Ruido | Estado Estable | 0 – 1 % |
| 6. Fluctuación de Tensión (Flicker) | Intermitente | 0,1 – 7 % |

PRINCIPALES FUENTES EMISORAS DE FLICKERS

Existen equipos que producen fluctuaciones rápidas de tensión a nivel residencial, comercial e industrial. Clasificándolas en dos tipos de fuentes como son: fuentes industriales grandes y fuentes de menor tamaño que a continuación se describen.

- **FUENTES INDUSTRIALES GRANDES**

Es importante observar que las fluctuaciones de tensión causadas por las cargas industriales grandes podrían afectar a una gran cantidad de otros consumidores conectados a la misma red eléctrica.

De estos equipos los que más comúnmente provocan este tipo de perturbación son: hornos de arco, soldadoras eléctricas, motores con cargas alternativas y arranques múltiples, etc. En el caso de los hornos de arco y las soldadoras de arco las fluctuaciones de tensión causadas por ellos pueden ser pensadas como componentes inter armónicas de baja frecuencia.

- **MOTORES CON CARGAS ALTERNATIVAS Y ARRANQUES MÚLTIPLES**

En esta categoría se incluyen principalmente grandes motores asíncronos (inducción): ventiladores, bombas, compresores, refrigeradores, ascensores, grúas, etc.

En el momento del arranque un motor absorbe una corriente tan grande que puede llegar a siete veces la corriente nominal, desarrollando a su vez un gran torque que puede llegar a ser 160 % de su valor nominal.

Esto trae como consecuencia variables caídas momentáneas de tensión en el sistema de distribución principal, dependiendo de las características de la red eléctrica y de otros equipos conectados.

- **FUENTES DE MENOR TAMAÑO**

Incluye todos los elementos de estado sólido gracias a los cuales es posible obtener fuentes de poder ininterrumpidas (UPS), inversores, rectificadores, controladores de velocidad para motores, máquinas de rayos X, fotocopiadoras, conmutación de bancos de condensadores para la corrección de factor de potencia.

EFFECTOS QUE CAUSAN LOS FLICKER

Estas fluctuaciones afectan el funcionamiento de equipos sensibles (sin llegar a daños irreparables), como lo son: sistemas digitales de control, electro medicina, PLC, instrumentación, etc. Anomalías en los sistemas de iluminación, en especial en lámparas incandescentes y de descarga.

Debido a que la sensación de fluctuaciones rápidas de tensión (flicker) es acumulativa, se puede presentar cansancio visual y dependiendo de la frecuencia del fenómeno y de la sensibilidad de la persona que lo percibe, puede ocasionar cefaleas, migrañas, ser causa de estrés y hasta llegar a ser un riesgo de salud, particularmente para las personas propensas a la epilepsia debido a que puede ocasionar crisis convulsivas.

ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER DE CORTA DURACIÓN (PST).

Índice que evalúa la severidad del Flicker en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos). Se considera $Pst = 1$ como el umbral de irritabilidad.

ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER DE LARGA DURACIÓN (PLT).

Índice que evalúa la severidad del Flicker en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del Flicker de corta duración según la siguiente expresión:

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P^3 st_i}{12}} \quad [\text{Ec. 2.51}]$$

2.5. EQUIPO REQUERIDO EN LAS SUBESTACIONES PARA LA REGULACIÓN DE CALIDAD DE ENERGÍA.

De acuerdo a los análisis realizados sobre los equipos requeridos para cumplir con las mediciones y los reportes de eventos según pide la regulación de calidad.

Se va visto que los equipos adicionales que se requieren son los siguientes:

- Medidor de Calidad de Energía (MARP)
- Registrador Automático de Perturbaciones (RAP)
- Registrador de Operaciones de Apertura y Cierre de Disyuntores y Pararrayos.

En los transformadores de potencial TP y los transformadores de corrientes TC ya instalados en las subestaciones, se debe revisar si estos cumplen con las características sobre medición de armónicos dadas en las normas.

2.5.1. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Los equipos de medición son todos aquellos que permiten medir las magnitudes de los diferentes parámetros eléctricos de la subestación, se conectan a la salida de los secundarios de los transformadores para instrumento (TC's, TP's) y físicamente se los coloca en los tableros.

Los parámetros eléctricos que medirá el equipo dependerán de la información que se requiera conocer de la subestación, así por ejemplo, en el caso de los equipos de medición de calidad a nivel de transmisión en nuestro país, estos deben permitir medir los parámetros y registrar los

intervalos de medición establecidos en la Regulación de Calidad No. CONELEC 004/01: voltaje, armónicos de voltaje y corriente, desbalance de voltaje y factor de potencia de la carga; adicionalmente, se debe contar con equipos registradores de eventos.

Los requerimientos mínimos solicitados por CONELEC para los equipos de medición son los siguientes²¹:

- Deben ser del tipo digital, provisto de una pantalla iluminada de un tamaño que permita una lectura clara del texto que aparezca en pantalla colocándose en frente del instrumento, teclas que permitan el movimiento a las diferentes pantallas gráficas disponibles, conector serial para enlace con un computador portátil que permitirá la configuración de estos instrumentos.
- Deben poder comunicarse con el sistema digital de automatización y control distribuido de la subestación, con un protocolo que deberá ser aprobado por CONELEC y/o poder integrar una red de gestión de medición a través de direccionamiento TCP - IP.
- Deben incluir un paquete completo de software para el manejo de las funciones habilitadas en el instrumento, así como también, las licencias de uso del programa o programas utilizados.
- La clase de precisión de los instrumentos debe ser igual o superar a la clase de los transformadores de instrumentos utilizados (clase 0.2).

Los equipos de medición a utilizar deben al menos, respecto a la calidad de la potencia poder cumplir con lo siguiente:

²¹ TRANSELECTRIC S.A., Concurso de Cotizaciones N° I-CC-020-08 S/E Pomasqui: Suministro Tableros de Servicios Auxiliares, Especificaciones Técnicas.

- Medir valores de THDV, de acuerdo con el Estándar IEEE 519 (1992), para el barraje.
- Medir la relación entre el voltaje de secuencia negativa y el voltaje de secuencia positiva para el barraje.
- Medir hundimientos (sags) y picos (swells), de acuerdo con el Estándar IEC 61000-4-30 (2003-02).
- Medir la continuidad del servicio (frecuencia y duración de interrupciones superiores a un minuto).
- Medir la desviación estacionaria de la tensión rms (duración superior a 1 minuto) por debajo o por encima de la permitida en la regulación 004/01.
- Medir el indicador PST de Compatibilidad Electromagnética de Equipos - EMC para interferencias, de acuerdo con el Estándar IEC-61000-4-15 (2003- 02), o al menos permitir descargar, en medio magnético, información digital de la forma de onda del voltaje, para ser procesada en otra parte del sistema, con una velocidad de muestreo mínima de 1024 muestras por segundo.²²
- Contar con un sistema de procesamiento de datos capaz de realizar descargas automáticas de información, de estas medidas, en medio magnético, desde cada equipo del MCP.

a. MEDIDOR DE CALIDAD DE ENERGÍA.

El medidor de calidad de energía que se los ha denominado MARP dará la información y reporte de los parámetros de la calidad de la potencia:

- Nivel de voltaje.
- Contenido armónico de voltaje

²² **EMC** - Se define como la capacidad de un equipo para operar en el ambiente para el cual ha sido diseñado, sin producir perturbaciones o ser perturbado por otros equipos existentes en el ambiente.

- Balance de voltajes
- Contenido armónico de corriente
- Balance de corrientes
- Factor de potencia de la carga

2.5.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO.

a. REQUISITOS DE LOS INSTRUMENTOS.

Para las medidas exactas de los armónicos, deben cumplirse algunos requisitos según con la norma IEEE std 519-1992 [31] lo que se deben tener en cuenta para la respuesta de los instrumentos es:

- **Exactitud:** El instrumento debe realizar la medida de un componente armónico (de estado estacionario) constante con un error compatible con los límites permitidos. Es razonable utilizar un instrumento con una incertidumbre no más en gran parte el que 5% del límite permitido.
- **Selectividad:** indica la habilidad del instrumento para separar las componentes armónicas de diferentes frecuencias. Una manera práctica de asegurar buena selectividad es definir los requisitos para la atenuación mínima de una frecuencia inyectada, mientras que en el instrumento se fija una la frecuencia de 60 hertzios.
- **Promedio o barrido rápido:** si los armónicos medidos varían en el tiempo es necesario suavizar las componentes. El instrumento debe tener un ancho de banda constante para todo el rango de frecuencias, de acuerdo con la norma.
- **Mediciones de corriente armónica en transformadores de corriente:** para mediciones de corrientes armónicas en el rango de frecuencia hasta 10kHz, los transformadores de corriente utilizados para medición y protección tienen una exactitud dentro del 3 %.

- **Bobinas exploradoras:** tensión inducida por campo magnético.
- **Bobinas de Rogowski o acoplamiento Maxwell:** Estos dispositivos son las bobinas que enrollan en los ejes plásticos flexibles para que puedan ser utilizados como pinza en los dispositivos. No tienen ninguna base metálica, de modo que se evitan los problemas de saturación en la presencia de corrientes alternas grandes, como alimentación 60 a 100 kA a un horno de arco, o las corrientes directas.
- **Mediciones de voltaje armónico en transformadores de tensión inductivos:** Están diseñados para operar a frecuencia fundamental. La frecuencia de resonancia armónica entre la inductancia y la capacidad de los devanados puede causar grandes errores en la relación de transformación y en la fase. Para armónicos de frecuencias menores a 5 kHz, la exactitud de la mayoría de PT's está dentro del 3 %, la cual es satisfactoria.
- **Para transformadores de tensión capacitivos:** no pueden ser utilizados para mediciones de tensiones armónicas, porque la frecuencia de resonancia más baja aparece a frecuencias menores a 200 Hz.
- **En divisores de tensión capacitivos:** Estos dispositivos tienen un límite en la carga, que ellos pueden suministrar sin saturación; por ello se requiere un amplificador de alta impedancia.

b. CARACTERÍSTICAS DE MEDICIÓN DE EQUIPOS CLASE A Y CLASE B EN BASE A LA NORMA IEC 61000-4-30.

- La norma IEC 61000-4-30 da las características sobre la medición que tienen los instrumentos de clase A y B. Según los parámetros de la calidad de la potencia de la regulación 003/08, a continuación se hace una comparación entre los instrumentos de clase A y los instrumentos de clase B.

Magnitud de Voltaje:

Para clase A

- El fabricante especifica un método para un intervalo (10 minutos)
- Para un instrumento de clase A, la comparación de un parámetro, se lo puede realizar comparando dos equipos de la misma categoría con una señal resultante exactamente similar a la requerida. El rango en el cual existe una variación es de +/- 1 ciclo para 50Hz o 60 Hz.
- La incertidumbre de medición no será superior a $\pm 0,1\%$ de V_{in} .
- Cada intervalo debe de ser continuo y no traslaparse con intervalos adyacentes.
- Por definición; armónicos, inter armónicos y todas las señales de principales deben ser incluidas.

Para clase B

- En un instrumento de clase B solo se lo utiliza para medición sin tener la misma precisión ya que éste depende del fabricante.
- La incertidumbre de medición no será superior a $\pm 0,5\%$ de V_{in} .

Desbalance de voltajes:

Para clase A

- Consiste en usar el método de componentes simétricas. De la relación entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva; expresada por un porcentaje.
- Para un contador de energía clase A; al encontrarse en estado balanceado, con un voltaje de entrada del 1 al 5%, se tiene una

incertidumbre en la variación de voltaje de $\mu = \pm 0.2\%$ en la señal de salida.

- En condición de desbalance se tiene una lectura de $0.8\% < x < 1.2\%$

Para clase B

- El fabricante deberá especificar los algoritmos y los métodos utilizados para calcular el desbalance.
- Para un indicador de clase B, el fabricante especifica la incertidumbre, en este caso es de $\mu = \pm 0.5\%$

Contenido armónico:

Para clase A

- La base de medición de armónicos de tensión, a los efectos de esta norma, se define en la clase 1 IEC 61000-4-7

Para clase B

- El fabricante deberá especificar incertidumbre de medición y métodos de agregación.

Frecuencia:

Para clase A

- Debe haber un conteo del número de ciclos de la onda fundamental de voltaje en un periodo de 10s.
- Los Armónicos e Inter armónicos deben de ser atenuados para permitir un cruce múltiple por cero.

- Toda la medición debe de ser sincronizada al pasar por cero.
- La incertidumbre de medición f no será superior a $\pm 0,01$ Hz.

Para clase B

- El fabricante deberá indicar el procedimiento utilizado para la medición de frecuencia.

c. REQUERIMIENTO DEL MONITOREO CON UN INSTRUMENTO DE CLASE A

El monitoreo se lo puede realizar mediante medidores tipo clase A, con beneficios tanto para el Agente como para el Regulador. Las especificaciones técnicas son:

- El tiempo de incertidumbre debe de ser < 20 ms.
- Toda la medición debe ser sincronizada al cruzar por cero.
- La medición de dips o swells, se la puede realizar en medio ciclo. (Por lo cual es necesario un adecuado medio de comunicación digital).
- Espacio y memoria necesaria para un continuo FFT (Fast Fourier Transform) requerido para armónicos.
- Alta resolución, necesaria para inter armónicos y señales principales.
- Flexibilidad necesaria ante cambios rápidos de voltaje. (Por ello es necesario un sistema que siga modificaciones ante el desarrollo de las normas).
- Se debe monitorear armónicos de corriente.

- Se debe capturar la forma de onda de corriente para determinar la localización de fallas a través de un análisis, sea este con la forma de onda capturada o con la gráfica de sus fasores.
- Un dispositivo de clase A, en caso de transitorios puede capturar sobre las 1024 muestras/segundo.
- Los Instrumentos de clase A, producen el mismo resultado cuando son expuestos a la misma señal.

Sin la utilización en el monitoreo con clase A, no hay garantía de una buena y correcta medición.

2.5.3. EQUIPO DE MEDICIÓN

a. MEDIDOR DE PARÁMETROS DE CALIDAD²³

El equipo que se utilizó para cada una de las mediciones presentes en este Estudio de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto es el analizador de energía FLUKE 1744 es un analizador de Energía que puede ser utilizado para determinar calidad de energía en conformidad con los estándares aplicables del CONELEC.

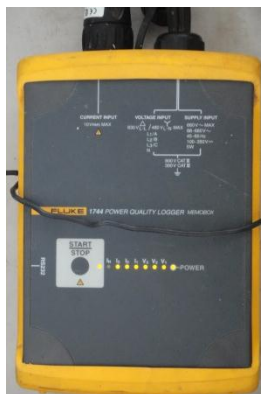


Figura 2. 26 Analizador de Energía FLUKE 1744

²³ Data Sheet ION 7500/7600

La construcción mecánica extremadamente rugosa es altamente estimada especialmente bajo condiciones ásperas o mojadas.

A continuación se describen las características del equipo de medición de calidad FLUKE1744 instalado en la S/E Lasso:

- El FLUKE 1744 mide y registra variables relacionadas de manera simultánea en bajo voltaje (hasta 660 Voltios), por lo que es necesario que las pinzas de tensión se les conecte en los respectivos TP de los puntos de prueba asignados dentro de la construcción de los tableros de control.
- Posee 8 canales de entrada, 4 de corriente y 4 de voltaje aunque se pueden utilizar todas para medición de voltajes. Cada una de estos canales posee una velocidad de hasta 10 MHz
- El programa tiene una capacidad de memoria de 8 MB en un flash EPROM interna dentro del analizador, lo que le posibilita registros de larga duración. En caso de que exista una falla en la alimentación, un acumulador incorporado de níquel metal - hidruro proporciona energía hasta de 5 minutos.
- Utiliza las normas EN 50160 compliance monitoring, IEC 61000-4-7 harmonics & inter-harmonics, IEC 61000-4-15 flicker, CBEMA/ITIC, IEEE 519 and IEEE 1159.
- Tiene un puerto RS-232 con protocolos: DNP 3.0, Modbus RTU, ModemGate o Modbus Master; a una velocidad de 300 bps a 115.200 bps. Además tiene compatibilidad con GPS y EtherGate.

Es importante mencionar, que los resultados que se obtendrán de este equipo dependerán tanto de la precisión de los transformadores para instrumentos como del equipo en sí, por lo que no conviene utilizar un equipo de medición de clase A (especificación que está implícita en la

regulación), cuando se tiene un transformador de instrumento de menor precisión implementado en la subestación.

Las partes constitutivas del equipo se muestran con un gráfico entre las cuales podemos apreciar:

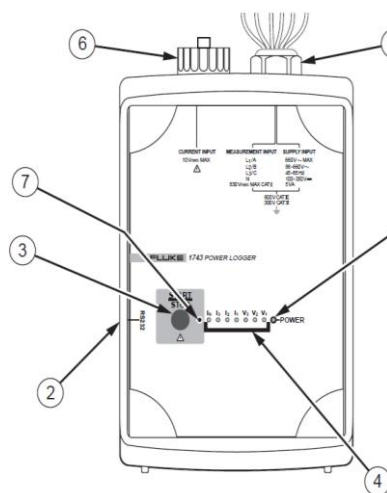


Figura 2. 27 Partes del Analizador de Energía FLUKE 1744

1. Cables de alimentación y cables de prueba para la medición de la tensión de tres fases más neutro.
2. Puerto de interfaz RS232
3. START/STOP
4. Indicadores LED de canales
5. Indicador LED de estado de la alimentación
6. Conector para juego flexible o pinzas amperimétricas
7. Indicador LED de estado de registro

Para colocar el equipo Fluke 1744 en cada uno de los puntos de medición y registrar sus mediciones cada 10 minutos durante 7 días primero conectamos el cable de poder hacia la respectiva entrada (socket)

localizada en lo alto del analizador de energía, luego se conecta el cable de poder hacia la fuente.

Un puerto de serial RS - 232 está disponible para la comunicación con un ordenador personal. Después de conectar correctamente todos los cables, la comunicación entre el ordenador personal y el Fluke 1744 puede ser establecida.

El equipo Fluke 1744 puede hacer mediciones efectivas en redes de baja tensión de una manera sencilla con la adquisición de datos cada 10 minutos de los siguientes parámetros:

- Voltaje y Corrientes de Fase y Línea a Neutro.
- Armónicos.
- Flickers.
- Factor de Potencia.
- Desbalance y Frecuencia.
- Variaciones de Voltaje.
- Potencia Activa Reactiva y Aparente.
- Adquiere y analiza eventos transitorios.
- Monitorea calidad de voltaje de acuerdo con la norma EN 50160.
- Detecta principales interferencias de retroalimentación y extensos picos de Energía.
- Realiza comprobaciones de función de sistemas de análisis de señales eléctricas de control.
- Obtiene valores de límites diarios y crea informes fácilmente.

Con cada uno de los parámetros mencionados permite utilizar al Analizador de Flujos de Energía Fluke 1744 como el equipo que cumple con los requerimientos básicos emitidos por el CONELEC para un estudio

de Calidad de Energía acerca de Calidad del Producto, cabe indicar que en cada una de las siguientes mediciones realizadas la colocación del equipo la realizamos con medición en baja tensión en la salida de la subestación, alimentadores de usuarios de medio voltaje, con las siguientes conexiones típicas utilizadas:

A continuación se muestra un diagrama de conexión Monofásica se utilizan dos entradas una de corriente y una de voltaje:

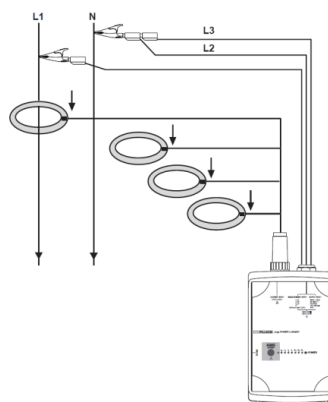


Figura 2. 28 Conexión Monofásica del Analizador de Energía Fluke 1744.

A continuación se muestra un diagrama de conexión Trifásica en estrella se utilizan tres entradas de corriente y tres de voltaje:

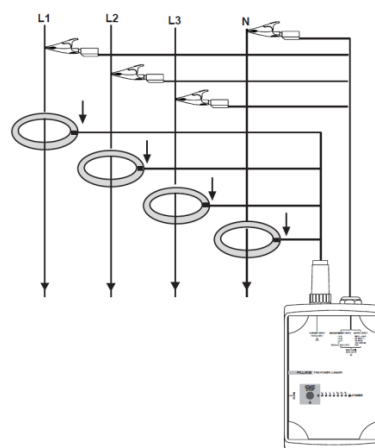


Figura 2. 29 Conexión Trifásica del Analizador de Energía Fluke 1744.

En el ANEXO C.3 se presenta el manual de operación e instalación del Analizador de Energía Fluke 1744 y las características técnicas del Fluke Amperflex.

2.6. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD Y CALIDAD DE ENERGÍA

La confiabilidad es expresada como la probabilidad de que un sistema cumpla satisfactoriamente con la función para la que fue diseñado, durante determinado período y en condiciones específicas de operación. Se enfoca principalmente en la frecuencia y duración con que ocurren eventos que interrumpen el funcionamiento del sistema, por lo que es necesario conocer los modos y la estadística de operación del mismo.

2.6.1. MÉTODO DE MARKOV²⁴

En una red eléctrica, ya sea un sistema de distribución o de transmisión, se considera como un sistema reparable, aquel que al fallar un elemento pueda ser remplazado o reparado dependiendo de la naturaleza del elemento en cuestión.

De esta manera se restablece la condición de operación normal del sistema, o parte de la red afectada. Entonces, el sistema es continuo en el tiempo, con estados discretos finitos, lo cual se ajusta a una representación por medio de procesos continuos de Markov.

El método de Markov permite obtener con excelente precisión, la probabilidad de que el sistema resida en cualquiera de sus estados posibles, sin embargo, resulta un método complicado debido a que la cantidad de estados posibles en un sistema, crece dramáticamente a medida que aumenta el número de elementos que lo componen. Si la modelación de componentes considera sólo dos estados para cada uno

²⁴ GONZALES Jorge Andrés & ROMERO Fabián Vicente, “Diseño Construcción e Implementación de un filtro de baja tensión para el mejoramiento de la Calidad Eléctrica del suministro Eléctrico”.

de ellos (falla y operación), el diagrama de espacio de estados contiene 2^n estados posibles.

Este método únicamente permite determinar la probabilidad de estado y disponibilidad, sin embargo, resulta más útil contar con índices que permitan determinar la frecuencia y duración de las interrupciones.

2.6.2. MÉTODO DE FRECUENCIA Y DURACIÓN²⁵

El método de frecuencia y duración, es un método aproximado que nos permite determinar los índices de frecuencia y duración de interrupciones de servicio desde el punto de vista de alimentación de la carga, es decir, nos permite estimar el número de veces y el tiempo que ésta quedará sin suministro, considerando eventos propios de la operación del sistema, tales como fallas y mantenimientos.

Es un método muy utilizado debido a su simplicidad y a la semejanza existente con los circuitos eléctricos, cada componente del sistema se define por una tasa de fallas (λ) y por un tiempo de reparación (r).

Los índices de confiabilidad de los puntos de carga se obtienen haciendo reducción consecutiva de los componentes ubicados entre la fuente y el punto de carga utilizando fórmulas definidas para las combinaciones serie y paralelo de componentes.

Para aplicar este método se asume que la tasa de falla es constante, es decir, que el componente está dentro de su período de vida útil, y que el tiempo de reparación también es constante. Los índices de confiabilidad

²⁵ GONZALES Jorge Andrés & ROMERO Fabián Vicente, “Diseño Construcción e Implementación de un filtro de baja tensión para el mejoramiento de la Calidad Eléctrica del suministro Eléctrico”.

que se pueden calcular mediante este método se basan en el criterio de la continuidad del servicio y son los siguientes:

- Número de interrupciones de servicio promedio por punto de carga por año.
- Tiempo promedio de reparación en cada punto de carga.
- Tiempo de interrupción total promedio por punto de carga por año.
- Número máximo esperado de interrupciones experimentadas por cualquier punto de carga.
- Tiempo máximo esperado de reparaciones experimentadas por cualquier punto de carga.
- Probabilidad de que cualquier punto de carga estará fuera de servicio en cualquier tiempo mayor al tiempo especificado.

Las primeras tres medidas indican el promedio de confiabilidad del punto de carga, mientras que las tres últimas indican la confiabilidad mínima por cualquier punto de carga en el sistema.

En la práctica este método únicamente es válido en sistemas eléctricos de potencia, dado que la disponibilidad individual de los componentes es relativamente alta. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que este método solo produce valores esperados de los índices de confiabilidad, esto significa que puede tener una probabilidad baja de ocurrir.

2.6.3. MÉTODO DE CONJUNTOS CORTES MÍNIMO²⁶

El método de los conjuntos de corte hace una representación serie-paralelo de la red bajo estudio, se dice que un sistema está conectado si

²⁶ GONZALES Jorge Andrés & ROMERO Fabián Vicente, “Diseño Construcción e Implementación de un filtro de baja tensión para el mejoramiento de la Calidad Eléctrica del suministro Eléctrico”.

existe un camino entre la fuente y cada uno de los elementos que componen dicho sistema.

El paso inicial en el análisis de un sistema, es la determinación de los conjuntos de corte mínimo para el punto de carga en consideración. Un conjunto de corte mínimo es aquel que no posee un subconjunto con la característica de “cortar” el sistema, implica que el grupo de corte nominal corresponde a más componentes que los necesarios para producir la falla del sistema.

En el grupo de corte, los elementos deben conectarse en paralelo, ya que la falla se produce cuando todos esos elementos salen de la red. Los cortes, a su vez, deben conectarse en serie, ya que la ocurrencia de cualquiera de ellos asegura la desconexión del sistema.

La salida de los elementos que pertenecen al conjunto de corte mínimo produce la separación del sistema en dos subsistemas conectados, uno que contiene las entradas (fuentes) y otro que contiene el punto en estudio (normalmente este punto corresponde a un nudo de carga).

Si fallan todos los elementos de un conjunto o grupo de corte, el sistema fallará, sin importar el estado del resto de elementos del sistema. Un sistema puede tener un gran número de conjuntos de corte y un componente en particular pertenecer a más de uno de ellos.

El método de cortes al igual que el método anterior, se basa en el concepto de continuidad del servicio y por lo tanto permite determinar los índices de confiabilidad frecuencia y duración de fallas.

2.6.4. MODOS DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS²⁷

Consiste en la determinación de los modos comunes de falla y análisis de efectos, en donde se pretende reflejar con mayor realismo el comportamiento de un sistema eléctrico. Su implementación va acompañada de la determinación de conjuntos de corte mínimos. Esta técnica es particularmente adecuada para modelar fallas que involucran la acción de los dispositivos de protección.

2.6.5. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CALIDAD EN LOS PUNTOS DE CONEXIÓN DE LOS AGENTES DEL MEM

Los objetivos de esta metodología son:

- Determinar el nivel de voltaje en las barras del sistema a las cuales se conectan los agentes del MEM, y
- Determinar el tiempo total de interrupción en horas por año de los puntos de conexión de los agentes del MEM.

2.6.6. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL NIVEL DE VOLTAJE

El índice para evaluar la variación de voltaje en el punto de conexión de un agente del MEM con ELEPCO S.A., en un intervalo de medición (k), será la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) de voltaje (V_k) y el valor de voltaje nominal (V_N), medidos en el mismo punto, expresado como un porcentaje del voltaje nominal.

²⁷ GONZALES Jorge Andrés & ROMERO Fabián Vicente, “Diseño Construcción e Implementación de un filtro de baja tensión para el mejoramiento de la Calidad Eléctrica del suministro Eléctrico”.

$$V_V = \frac{|V_K - V_N|}{V_N} \times 100 \quad [\text{Ec. 3.1}]$$

Dónde:

- V_V : Variación de voltaje en porcentaje
- V_K : Voltaje medido en un intervalo k.
- V_N : Voltaje nominal en el punto de medición.

Los límites mínimos y máximos de voltaje en barras del sistema, se los establece de la siguiente manera:

1. Se elige un período de análisis en el que se haya presentado la mayor demanda del sistema.
2. Se recopila los reportes de voltaje post operativos diarios para el período de análisis. Los reportes están disponibles en el portal Web de TRANSELECTRIC S.A.
3. Se escoge el voltaje máximo y mínimo medido en el período de análisis. No se considera mediciones de voltajes de valor cero.
4. Se calcula el valor promedio diario de las mediciones realizadas; no se considera mediciones de voltajes de valor cero.

$$PMD = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Mediciones día}}{NM} \quad [\text{Ec. 3.2}]$$

5. Se promedia los valores obtenidos en el paso anterior, este es la referencia para calcular los límites.

$$PMT = \frac{\sum_{i=1}^n PMD}{NM} \quad [\text{Ec. 3.3}]$$

6. Se aplica la fórmula (4.9) a los voltajes obtenidos en los pasos (3) y (5).

7. Se suma el valor de referencia más la variación máxima de voltaje, entonces, se tiene el límite de variación máximo que se puede ofrecer al agente.
8. Se suma el valor de referencia más la variación mínima de voltaje, entonces, se tiene el límite de variación mínimo que se puede ofrecer al agente.

En el caso en el que el límite de variación resultante sobrepase al establecido en la Regulación CONELEC No. 004/01, prevalecerá el valor de esta última.

CAPÍTULO III

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MEDICIONES

3.1. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO (PRODUCTO) DE LOS ALIMENTADORES No. 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.

En el presente capítulo se presenta el desarrollo de las mediciones de este trabajo en lo relacionado con la Regulación No. CONELEC 004/01, en lo referente a la Calidad del Producto de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S. A., en sus alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación Lasso.

De manera general las Empresas Eléctricas del país tienen en su mayoría déficit en el cumplimiento de las mediciones de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, lo cual permite priorizar dicho estudio a fin de cumplir con los requerimientos establecidos por el CONELEC, como es el caso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A.

3.2. MONTAJE DEL EQUIPO

Para determinar la calidad del servicio (producto) que los alimentadores No. 5 y 6 de la Subestación Lasso de ELEPCO S.A. entrega a sus abonados industriales, en este caso a las Fabricas ACOSA y FAMILIA SANCELA, se utilizo el equipo analizador de redes para la medición de la calidad de energía, durante un período de siete días cada uno, tomando muestras cada diez minutos, conforme lo establecido en la Regulación 004/01 emitida por el CONELEC; el equipo instalado en cada alimentador se muestran a continuación:

1. Fluke 1744, serie N° G32748

La característica de dicho equipo está descrita en el Capítulo II del presente trabajo.

Con la finalidad de obtener mejores resultados en las mediciones, contando con el apoyo del personal técnico que labora en la ELEPCO S.A. se procedió a realizar un estudio primario acerca de diseño de la subestación, con lo cual podríamos realizar el análisis, con lo que nos permitirá determinar los posibles inconvenientes que se deben a las cargas conectadas a los alimentadores y al transformador.

3.3. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN Y USO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

A continuación se presentara la localización de cada una de las mediciones, el uso, manejo y colocación de los parámetros emitidos por el CONELEC para un estudio de Calidad de Energía acerca de Calidad del Producto dentro del equipo de Medición.

3.3.1. PUNTOS DE MEDICIÓN

Para el estudio de Calidad de Energía en la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. acerca de la Calidad del Producto se analizó: nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje (flickers, armónicos de voltaje) y factor de potencia, además se adiciona el análisis de armónicos de corriente para cada una de las mediciones realizadas.

En la Subestación Lasso se presentan las siguientes características:

- 1 Transformador de potencia nominal de 20 MVA
- 6 Alimentadores de voltaje a 13.8 KV
- 1 Transformador Auxiliar para servicio interno de la subestación

En el ANEXO C.1 se presentan las características del transformador instalado en la S/E Lasso.

El siguiente estudio cumple con los requerimientos para un estudio de Calidad de Energía del Servicio Eléctrico de Distribución acerca de la Calidad del Producto dentro de la Subestación Lasso, conociendo que se realizaron todas las mediciones estipuladas.

Para los puntos de medición se establecieron en las salidas del transformador de potencia y en las salidas de los alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación, de esta manera se logra adquirir una muestra adecuada, que permita recabar información de cada uno de los puntos de la Subestación Lasso.

La Empresa Eléctrica Cotopaxi ha empezado a cumplir en casi en su totalidad con la Regulación en la mediciones dentro de su área de concesión de distribución con la limitación de que no cuenta con la infraestructura adecuada y los equipos necesarios para llevar a cabo con los requerimientos del ente regulador, por lo que se ha visto que en reiteradas ocasiones obtenga llamados de atención por dicho incumplimiento.

El motivo de realizar el estudio de los alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación Lasso es debido a que dentro de dicha subestación existe un gran movimiento de tipo industrial y económico, incluyendo que cuenta con un Auto productor (Familia Sancela).

A continuación se presenta cada una de los puntos de medición con sus respectivas codificaciones:

Las Subestaciones que se encuentran dentro de la Zona Industrial del sector de Lasso, parroquia Pastocalle con sus respectivas codificaciones internas estipuladas por el CONELEC.

En el ANEXO C.2 se presentan los diagramas unifilares internos y distribución de terminales dentro de cada celda de operación de los alimentadores y celda de seccionamiento de la S/E Lasso.

3.4. ANÁLISIS

A continuación se describen los resultados obtenidos de las mediciones y el análisis correspondiente de las mismas, para el efecto, los equipos guardan registros durante siete días, con intervalos de 10 minutos, obteniendo al final de cada medición, 1008 muestras.

Los indicadores de calidad de energía son comparados con límites normalizados, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla Resumen de los indicadores de Calidad y sus límites.

Tabla 3. 1 Resumen de los indicadores de calidad y sus límites

| INDICADORES | PERTURBACIONES | LIMITES |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| N.T | Nivel de Tensión | (+10% Vn) |
| N.T | Nivel de Tensión | (-10% Vn) |
| Pst | Flicker | 1 en el 5% de tiempo de Muestreo |
| F.P | Factor de potencia | 0.92 |
| THD _v | Distorsión armónica de Tensión | 8% |

NIVELES DE TENSIÓN

Límites: Se admite el $\pm 8\%$ de la tensión nominal (está alimentado en baja tensión por un sistema trifásico de 13800 V fase-neutro) durante el 95% del periodo de medición conforme la Regulación No. 004/01 - CONELEC.

SOBRETENSIONES

El indicador característico de las sobretensiones es su valor de cresta asociado a su duración.

Por cada tipo de sobretensión, los umbrales serán:

Tabla 3. 2 Limites de sobretensión

| Tipo de sobretensión | Umbral crítico | Umbral aceptable |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| Sobretensiones de frecuencia industrial | $>1.7 V_n/0.1 \text{ s}$ | $<1.2 V_n/10 \text{ s}$ |
| Sobretensiones de maniobra | $>4 V_n/0.5 \text{ s}$ | $<2 V_n/1 \text{ ms}$ |
| Sobretensiones atmosféricas | $>10 V_n/100 \text{ microseg}$ | $<4 V_n/50 \text{ microseg}$ |

Si se superan los valores permitidos, se producirán descargas dieléctricas o deterioros por desgaste prematuro.

Límites:

Tabla 3. 3 Limites de voltaje de fase a fase

| Sub etapa 2 de Regulación | |
|---------------------------|--------|
| Alto Voltaje | 5,00 % |
| Medio Voltaje | 8,00 % |
| Bajo Voltaje | 8,00 % |

FLUCTUACIONES DE TENSIÓN: FLICKER

El indicador característico de las fluctuaciones de tensión es la magnitud asociada al número de variaciones.

Los umbrales de este indicador son:

Tabla 3. 4 Limites de flickers

| | Umbral crítico | Umbral aceptable |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Caso 1 | $1\% V_n/30$ variaciones por minuto | $1\% V_n/15$ variaciones por minuto |
| Caso 2 | $2\% V_n/3$ variaciones por minuto | $2\% V_n/21$ variación por minuto |

Límite:

Menor a $P_{st} = 1$

ARMÓNICOS DE VOLTAJE

Los indicadores característicos de los armónicos son los índices de distorsión de tensión (THD_V) y de corriente (THD_I), así como el espectro de frecuencias.

La importancia de los armónicos de tensión queda definida de la siguiente manera:

- Si $THD_V > 8\%$: Contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso: se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- Si $5\% < THD_V < 8\%$: Contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- Si $THD_V < 5\%$: Se considera una situación normal.

La importancia de los armónicos de corriente, queda definida de la siguiente manera:

- Si $THD_I > 50\%$: Contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso: se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.
- Si $10\% < THD_I < 50\%$: Contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.
- Si $THD_I < 10\%$: Situación normal.

La importancia de los espectros de frecuencia será:

- Los armónicos de rango 3 superiores al 50% recorrerán el cable de neutro y crearán fuertes calentamientos.

- Los armónicos de rango 5, 7 y más, superiores al 40%, perturbarán las baterías de condensadores y los receptores sensibles.

Tabla 3. 5 Limites de THD

| | Voltaje > 40 KV | Voltaje ≤ 40 KV |
|-----|-----------------|-----------------|
| THD | 3 | 8 |

Referencia: La distorsión armónica total de tensión THD se mide de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7 en intervalos de medición de 10 minutos.

Límites: La distorsión armónica total debe ser menor o igual al 8% y las armónicas individuales su cumplimiento debe estar en función de los parámetros que se indican en la tabla 3.6 (Regulación No. 004/01 - CONELEC).

Tabla 3. 6 Límites de armónicos de tensión

| ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD | TOLERANCIA $ v_i' $ o $ THD' $ (% respecto a la tensión nominal del punto de Medición) |
|----------------------------------|---|
| | V ≤ 40kV (transformadores de distribución) |
| Impares no múltiplos de 3 | |
| 5 | 6.0 |
| 7 | 5.0 |
| 11 | 3.5 |
| 13 | 3.0 |
| 17 | 2.0 |
| 19 | 1.5 |
| 23 | 1.5 |
| 25 | 1.5 |
| >25 | $0.2 + 1.3 \cdot 25/n$ |
| Impares múltiplos de 3 | |
| 3 | 5.0 |
| 9 | 1.5 |
| 15 | 0.3 |
| 21 | 0.2 |
| Mayores de 21 | 0.2 |
| Pares | |
| 2 | 2.0 |
| 4 | 1.0 |
| 6 | 0.5 |
| 8 | 0.5 |
| 10 | 0.5 |
| 12 | 0.5 |
| Mayores a 12 | 0.5 |
| THD | 8 |

FACTOR DE POTENCIA

Límites:

Mínimo 0.92

Cabe indicar que a partir de la publicación y hasta la fecha la Regulación del CONELEC, actualmente se encuentra en la Etapa 2 para el control de cada una de las empresas de Distribución acerca de la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.

Para el análisis a armónicos de corriente que permita realizar un control en cada una de las presentes mediciones en este estudio se tomó en consideración la siguiente norma internacional:

IEEE – Standard 519 - 1992: “Especifica valores máximos del THD de corriente, este valor debe ser como máximo de 20% de la fundamental, para considerar afectado el sistema el número de datos que sobrepasan el valor máximo (20 %) deben superar el 5 % de las mediciones tomadas.”

Referencia y Límites: Para efectos de la evaluación de la calidad, el factor de potencia debe ser superior a 0.92 durante el 95% del periodo de medición conforme la Regulación No. 004/01 - CONELEC, cabe indicarse que éste es un efecto de la carga, por lo que no se atribuye como consecuencia del servicio otorgado por la ELEPCO S.A., sin embargo, es responsabilidad de la misma el controlar que se cumpla con las condiciones establecidas.

Resultados obtenidos de las mediciones realizadas con el equipo de monitoreo de la calidad **Fluke 1744:**

3.5. ANÁLISIS DE DATOS DE PUNTOS DE ESTUDIO

A continuación se presentan cada una de las mediciones con sus respectivos análisis:

3.5.1. SUBESTACIÓN LASSO

En lo referente a la Subestación según la regulación del CONELEC solo se establece la medición de tensión en la barra de la Subestación, para ello se realizaron mediciones de tensión en las salidas del Transformador de Potencia, previo a una reunión para coordinar las acciones, supervisión y el acceso hacia la subestación, para facilitar la obtención de las señales, colocación y remoción del equipo analizador.

En el ANEXO C.4 se presenta los datos obtenidos del analizador de energía, colocado en la barra general de la S/E Lasso de la línea a 13.8 Kv.

Con la finalidad de obtener mejores resultados, se procedió a monitorear a la barra general de la S/E Lasso, con el equipo para el análisis de calidad de energía Fluke 1744.

Niveles de Tensión

Resultados: De un total de 1008 muestras se obtuvo un cumplimiento del 100%, en vista que todas las mediciones se encuentran dentro del margen permitido como límite según la regulación vigente. En la tabla 3.7 se puede apreciar un resumen del comportamiento de los niveles de tensión registrados:

Tabla 3. 7 Cumplimiento niveles de tensión.

| NIVEL DE TENSION FASE A | | | | NIVEL DE TENSION FASE B | | | | NIVEL DE TENSION FASE C | | | | |
|---|------|----------|------|---|------|----------|------|---|------|----------|------|---|
| Límites: | | | | Límites: | | | | Límites: | | | | |
| -8% | | +8% | | -8% | | +8% | | -8% | | +8% | | |
| <7192.37 | | >8443.22 | | <7200.61 | | >8425.89 | | <7177.23 | | >8425.43 | | |
| 7817.80 V Valor medio | | | | 7826.75 V Valor medio | | | | 7801.34 V Valor medio | | | | |
| Mínimo 7568.05 08-03-2011 09:50:00 | | | | Máximo 8011.84 03-03-2011 23:00:00 | | | | Mínimo 7539.03 03-03-2011 09:50:00 | | | | Máximo 7994.59 03-03-2011 13:50:00 |
| N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | | |
| 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | |
| Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | | |
| SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | |
| X | | X | | X | | X | | X | | X | | |
| Porcentaje | | | | Porcentaje | | | | Porcentaje | | | | |
| 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | |
| % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |

Una presentación estadística de la variación de tensión (DV%) respecto al valor nominal de 7900 V es la que se muestra a continuación en la tabla 3.8, así como su distribución estadística en la figura 3.1.

Tabla 3. 8 Distribución estadística de frecuencias de la variación de tensión (DV)

| Fase A | | | Fase B | | | Fase C | | |
|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|
| % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % |
| -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 |
| -2,00 | 114 | 11.31 | -2,00 | 80 | 7.94 | -2,00 | 78 | 7.74 |
| -1,00 | 279 | 27.68 | -1,00 | 350 | 34.72 | -1,00 | 343 | 34.03 |
| 0,00 | 477 | 47.32 | 0,00 | 450 | 44.64 | 0,00 | 447 | 44.35 |
| 1,00 | 129 | 12.80 | 1,00 | 120 | 11.90 | 1,00 | 132 | 13.10 |
| 2,00 | 9 | 0.89 | 2,00 | 8 | 0.79 | 2,00 | 8 | 0.79 |
| 3,00 | 0 | 0.00 | 3,00 | 0 | 0.00 | 3,00 | 0 | 0.00 |
| 4,00 | 0 | 0.00 | 4,00 | 0 | 0.00 | 4,00 | 0 | 0.00 |
| 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 |
| 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 |
| Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 |

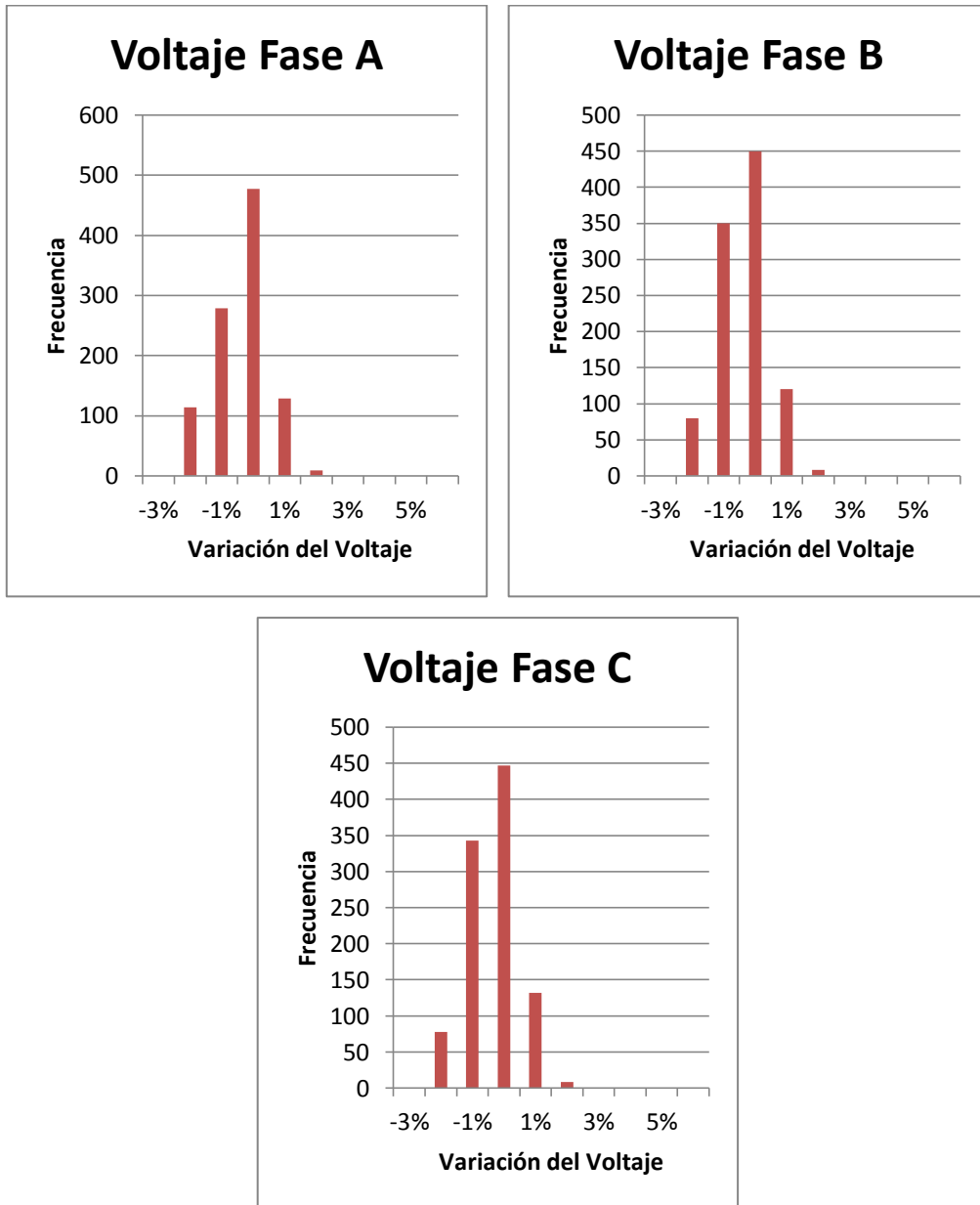


Figura 3. 1 Distribución estadística de frecuencias del DV%

En la figura 3.2 se puede observar el perfil de tensión durante el tiempo de medición para las tres fases del sistema.

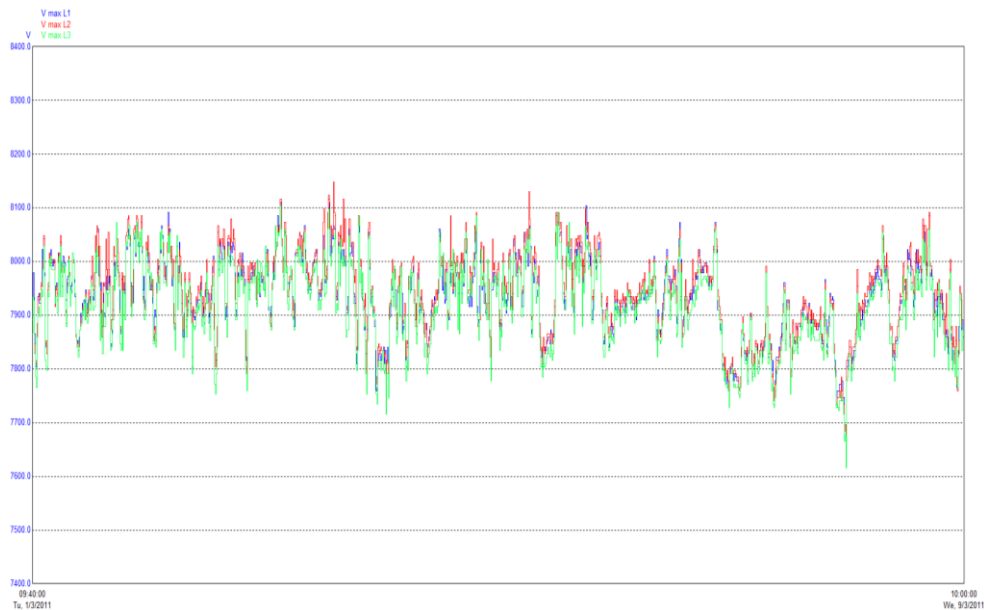


Figura 3. 2 Niveles de tensión por fase

En el ANEXO C.5 a, b, c se presenta las gráficas de cada una de las fases, en lo referente a Voltaje Promedio, Voltaje Máximo y Voltaje Mínimo.

Perturbaciones

Parpadeo (Flicker)

Referencia: El índice de severidad flicker de corta duración (Pst), definido de acuerdo a las normas IEC 60868, medida en intervalos de 10 minutos.

Resultados: Del total de 1008 muestras por fase, el cumplimiento es del 62.00 %, 58.93% y 63.88% para las fases 1, 2 y 3 respectivamente, lo cual muestra que no se cumple la regulación.

Tabla 3. 9 Cumplimiento de flicker

| FLICKER | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | FASE 1 | FASE 2 | FASE 3 |
| Limite | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Total de muestras | 1008 | 1008 | 1008 |
| Numero de muestras mayores al limite | 383 | 414 | 364 |
| Porcentaje de cumplimiento | 62.00% | 58.93% | 63.88% |
| Valor máximo registrado | 2.27 | 2.24 | 2.37 |
| Valor mínimo registrado | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Valor promedio | 0.73 | 0.76 | 0.71 |

Las magnitudes registradas del flicker durante el periodo de medición se observa en la figura 3.3.

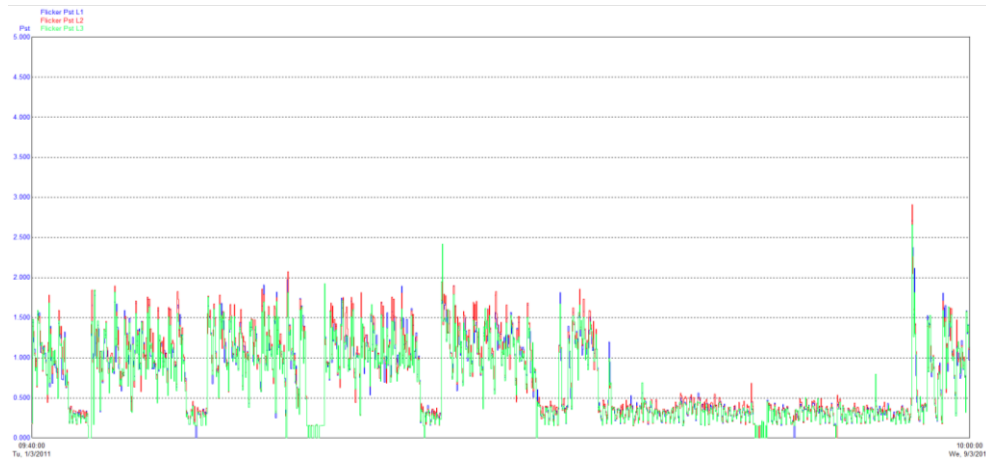


Figura 3. 3 Flicker

Armónicos

Resultados: Los resultados de la distorsión armónica de tensión se presentan en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12 de cada una de las fases, como también el cumplimiento de la distorsión armónica de tensión en la tabla 3.13.

Tabla 3. 10 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase A

| ARMONICAS FASE A | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.53 | 1.65 | 2.77 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 49.53 | 8.80 | 4.82 | 2.09 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 905 | 831 | 465 | 0 | 1 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 89.78% | 82.44% | 46.13% | 0.00% | 0.10% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 8.34 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 982 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 97.42% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.73 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 133 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 13.19% | 0.40% | 0.40% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 11 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase B

| ARMONICAS FASE B | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.76 | 2.07 | 3.37 | 6 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | SI | X | 99.40% | NO | 0.60% | | |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 64.43 | 12.04 | 5.81 | 2.27 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 820 | 981 | 562 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 81.35% | 97.32% | 55.75% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 11.39 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 1006 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 99.80% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.67 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 102 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 10.12% | 0.40% | 0.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 12 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase C

| ARMONICAS FASE C | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.51 | 1.66 | 2.81 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 51.88 | 10.77 | 3.88 | 1.66 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 738 | 567 | 354 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 73.21% | 56.25% | 35.12% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 1.27 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 76 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 7.54% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.68 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 109 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 10.81% | 0.30% | 0.79% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 13 Cumplimiento de la distorsión armónica de tensión.

| THD FASE 1 | | | THD FASE 2 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | | Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | | Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | | SI X | NO | |
| Máximo 2.77 | Promedio 1.65 | Mínimo 0.53 | Máximo 3.37 | Promedio 2.07 | Mínimo 0.76 |

| THD FASE 3 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | |
| Máximo 2.81 | Promedio 1.66 | Mínimo 1.51 |

En lo referente a la distribución armónica total de tensión (THDv) se puede observar que todos los registros están por debajo del límite exigido del producto, a excepción de los armónicos impares múltiplos de 3, de orden 3, 15 y 21.

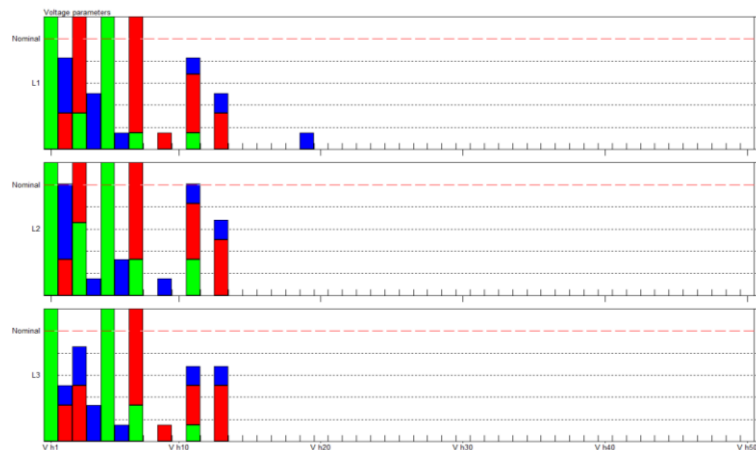


Figura 3. 4 Graficas de orden de armónicos en cada fase

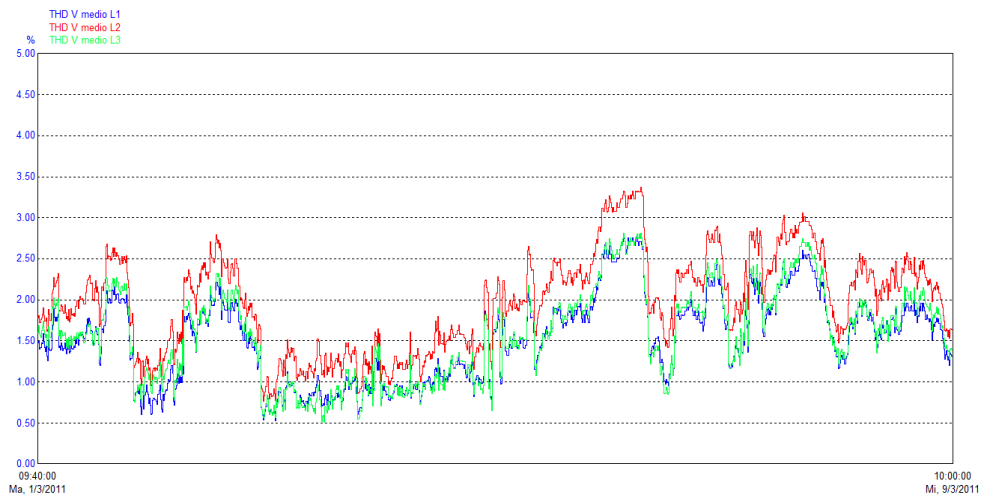


Figura 3. 5 Grafica de porcentajes de THD en cada una de las fases

Factor de Potencia

Resultados: De un total de 1008 muestras por fase, se obtuvo que exista el cumplimiento en todas las fases, pues superan el 5% tolerable del límite establecido, siendo los porcentajes del cumplimiento del 100% (ver tabla 3.14).

Tabla 3. 14 Cumplimiento del factor de potencia FP

| FP FASE 1 | | |
|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| Límite: | Muestras inferiores al limite | |
| 0.92 | 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI | | NO |
| X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.97 | 0.95 | 0.92 |

| FP FASE 2 | | |
|-------------------------------|----------------------------|--------|
| Límite: | Muestras mayores al limite | |
| 0.92 | 376 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI | | NO |
| X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.97 | 0.95 | 0.93 |

| FP FASE 3 | | |
|-------------------------------|----------------------------|--------|
| Límite: | Muestras mayores al limite | |
| 0.92 | 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI | | NO |
| X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.98 | 0.96 | 0.94 |

La figura 3.6 muestra el comportamiento de la potencia activa total (P) y la potencia reactiva total (Q) durante el periodo de medición.

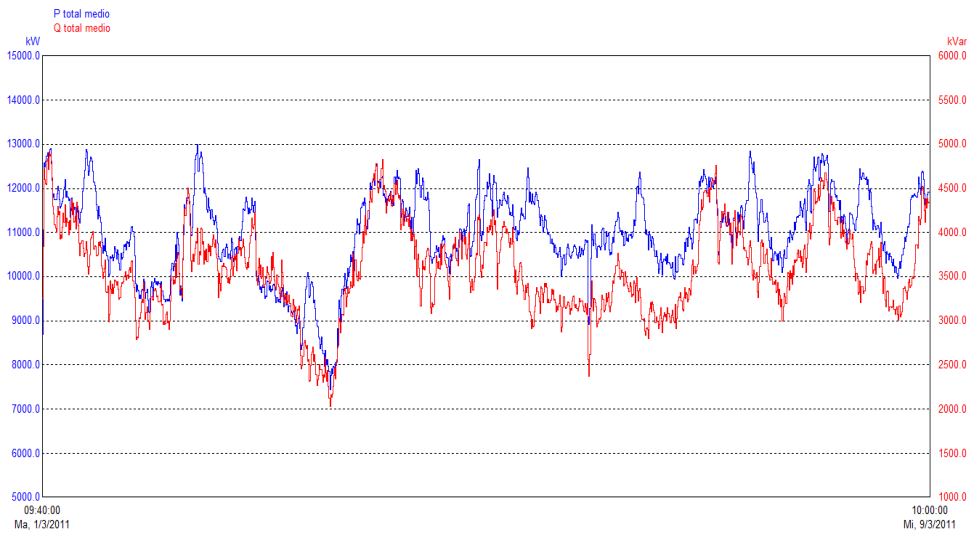


Figura 3. 6 Potencia activa y reactiva total

La figura 3.7 muestra el comportamiento de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) para la fase 1, durante el periodo de medición.

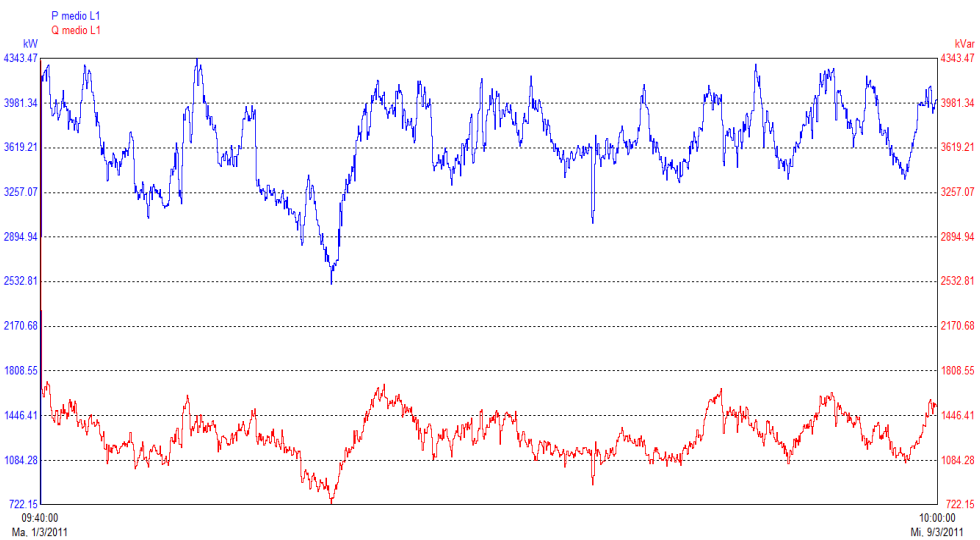


Figura 3. 7 Potencia activa y reactiva fase 1

De forma similar las figuras 3.8 y 3.9 muestran el comportamiento de las potencias activa (P) y reactiva (Q) para las fases 2 y 3 respectivamente.

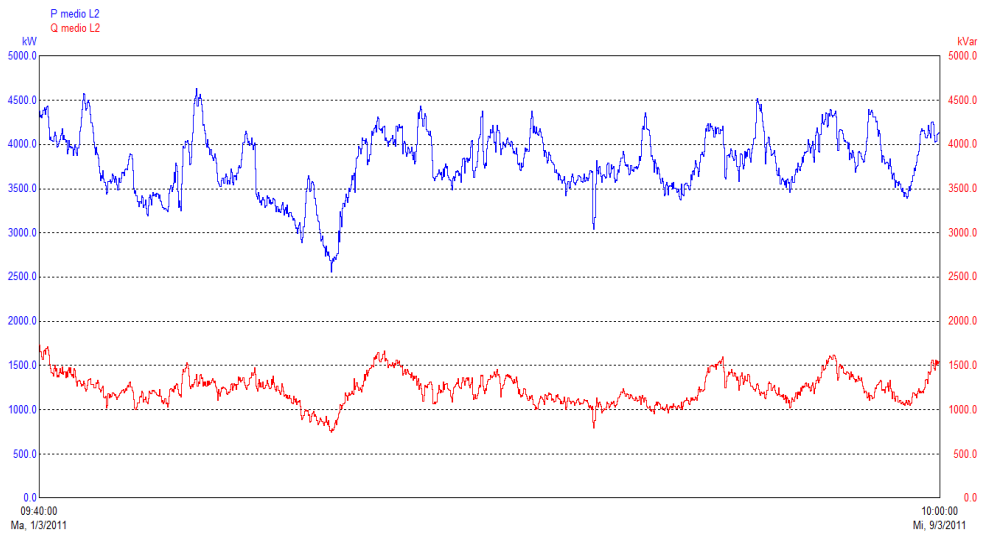


Figura 3. 8 Potencia activa y reactiva fase 2

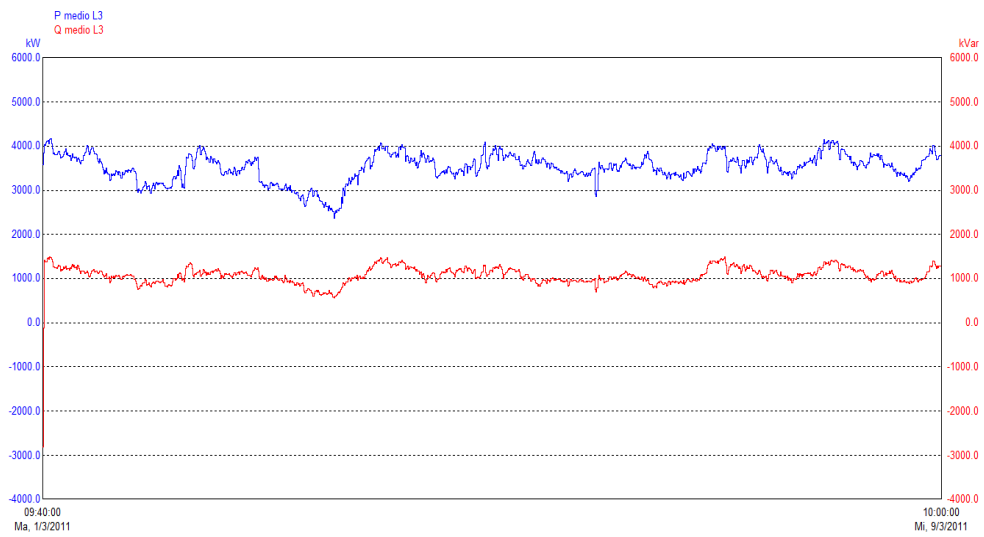


Figura 3. 9 Potencia activa reactiva fase 3

Y finalmente en la figura 3.10 se puede apreciar el comportamiento de las potencias activa (P) y el cos fi total (cos fi)

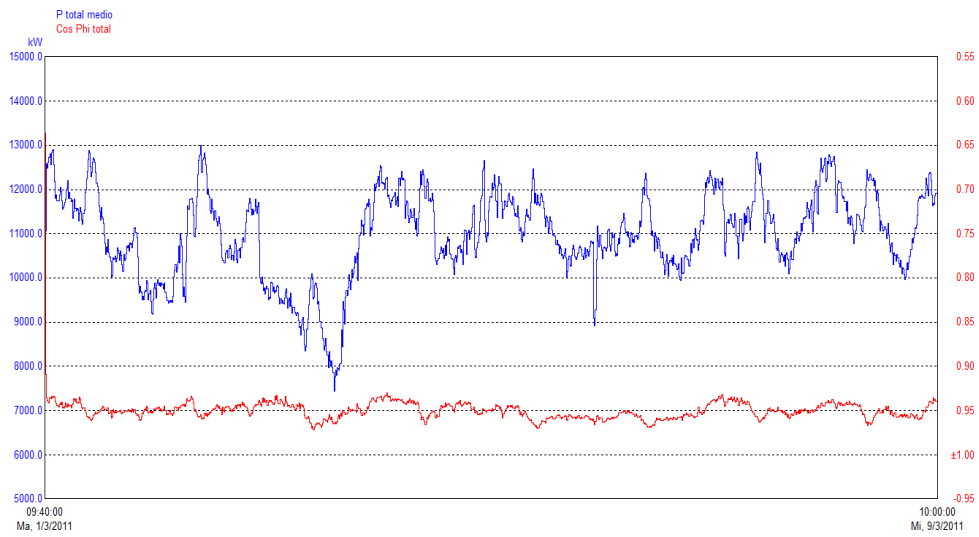


Figura 3. 10 Potencias activa (P) y cos fi total

En el ANEXO C.6 se presenta las gráficas e informes del equipo analizador de energía puesto en la Barra general S/E Lasso.

3.5.2. ALIMENTADOR No. 5 (ACOSA)

En el ANEXO C.7 se presenta los datos obtenidos del analizador de energía, colocado en el alimentador No. 5 (ACOSA).

A continuación se describen los resultados obtenidos de las mediciones y el análisis correspondiente de las mismas, para el efecto, los equipos guardan registros durante siete días, con intervalos de 10 minutos, obteniendo al final de cada medición, 1008 muestras.

Se procedió a realizar las mediciones y análisis de los resultados, en lo referente a Calidad del Producto en el alimentador, se muestran las siguientes tablas:

Niveles de Tensión

Resultados: De un total de 1008 muestras se obtuvo un cumplimiento del 100%, en vista que todas las mediciones se encuentran dentro del margen permitido como límite según la regulación vigente.

En la tabla 3.15 se puede apreciar un resumen del comportamiento de los niveles de tensión registrados:

Tabla 3. 15 Cumplimiento niveles de tensión

| NIVEL DE TENSION FASE A | | | | NIVEL DE TENSION FASE B | | | | NIVEL DE TENSION FASE C | | | |
|--------------------------------|------------|----------|------------|--------------------------------|------------|----------|------------|--------------------------------|------------|----------|------------|
| Límites: | | | | Límites: | | | | Límites: | | | |
| -8% | | +8% | | -8% | | +8% | | -8% | | +8% | |
| <7198.84 | | >8450.82 | | <7209.89 | | >8463.78 | | <7191.30 | | >8441.96 | |
| 7824.83 V Valor medio | | | | 7836.84 V Valor medio | | | | 7816.63 V Valor medio | | | |
| Mínimo | 7628.83 | Máximo | 8032.23 | Mínimo | 7639.40 | Máximo | 8038.50 | Mínimo | 7601.76 | Máximo | 8022.82 |
| | 25-03-2011 | | 27-03-2011 | | 25-03-2011 | | 27-03-2011 | | 25-03-2011 | | 27-03-2011 |
| | 12:50:00 | | 21:20:00 | | 12:50:00 | | 21:20:00 | | 12:50:00 | | 21:20:00 |
| N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | |
| 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | |
| SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO |
| X | | X | | X | | X | | X | | X | |
| Porcentaje | | | | Porcentaje | | | | Porcentaje | | | |
| 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |

Una presentación estadística de la variación de tensión (DV%) respecto al valor nominal de 7900 V es la que se muestra a continuación en la tabla 3.16, así como su distribución estadística en la figura 3.11.

Tabla 3. 16 Distribución estadística de frecuencias de la variación de tensión (DV)

| Fase A | | | Fase B | | | Fase C | | |
|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|
| % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % |
| -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 |
| -2,00 | 104 | 10.32 | -2,00 | 109 | 10.81 | -2,00 | 89 | 8.83 |
| -1,00 | 200 | 19.84 | -1,00 | 215 | 21.33 | -1,00 | 175 | 17.36 |
| 0,00 | 475 | 47.12 | 0,00 | 492 | 48.81 | 0,00 | 447 | 44.35 |
| 1,00 | 210 | 20.83 | 1,00 | 189 | 18.75 | 1,00 | 262 | 25.99 |
| 2,00 | 19 | 1.88 | 2,00 | 1 | 0.10 | 2,00 | 31 | 3.08 |
| 3,00 | 0 | 0.00 | 3,00 | 1 | 0.10 | 3,00 | 4 | 0.40 |
| 4,00 | 0 | 0.00 | 4,00 | 1 | 0.10 | 4,00 | 0 | 0.00 |
| 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 |
| 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 |
| Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 |

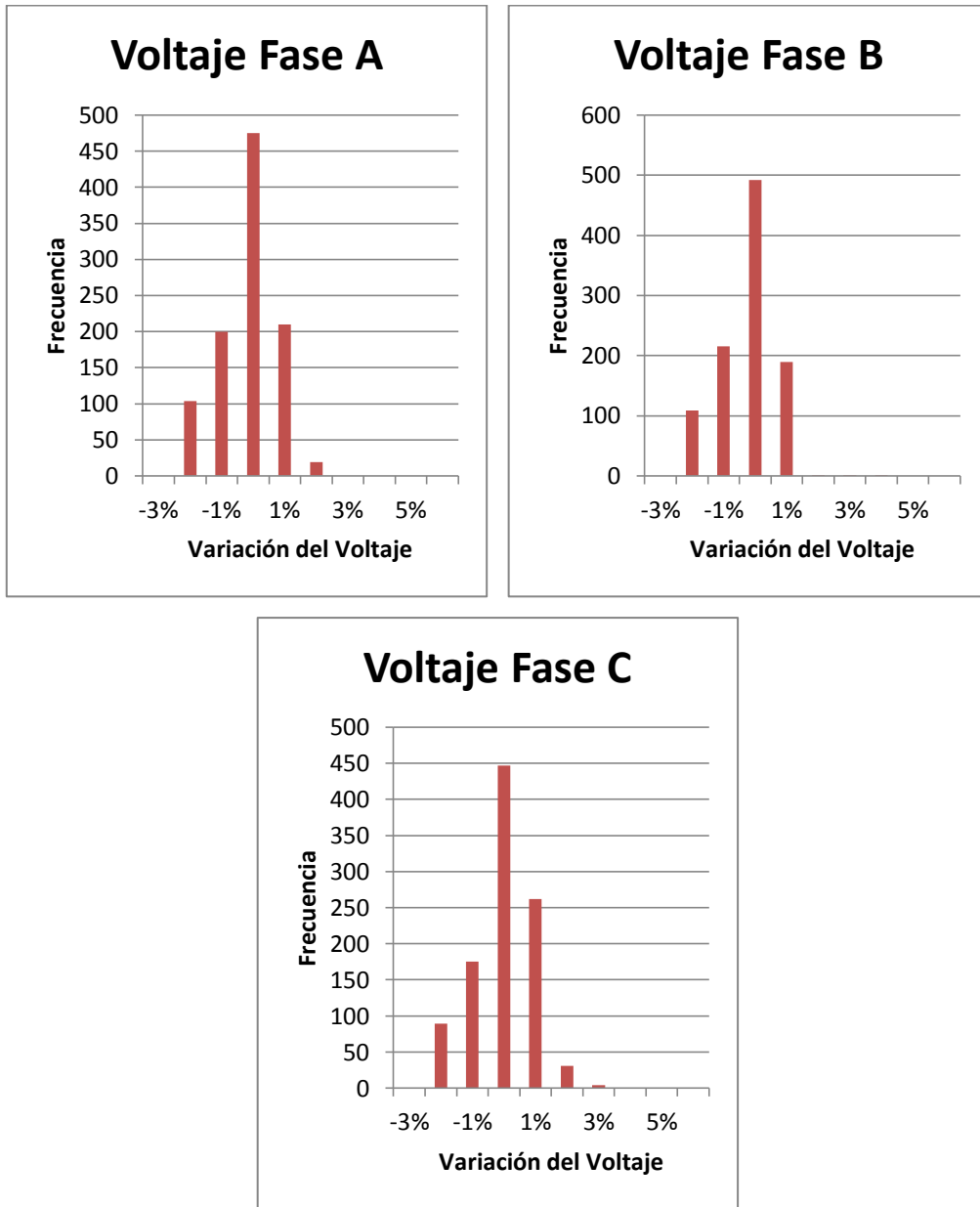


Figura 3. 11 Distribución estadística de frecuencias del DV%

En la figura 3.12 se puede observar el perfil de tensión durante el tiempo de medición para las tres fases del sistema.

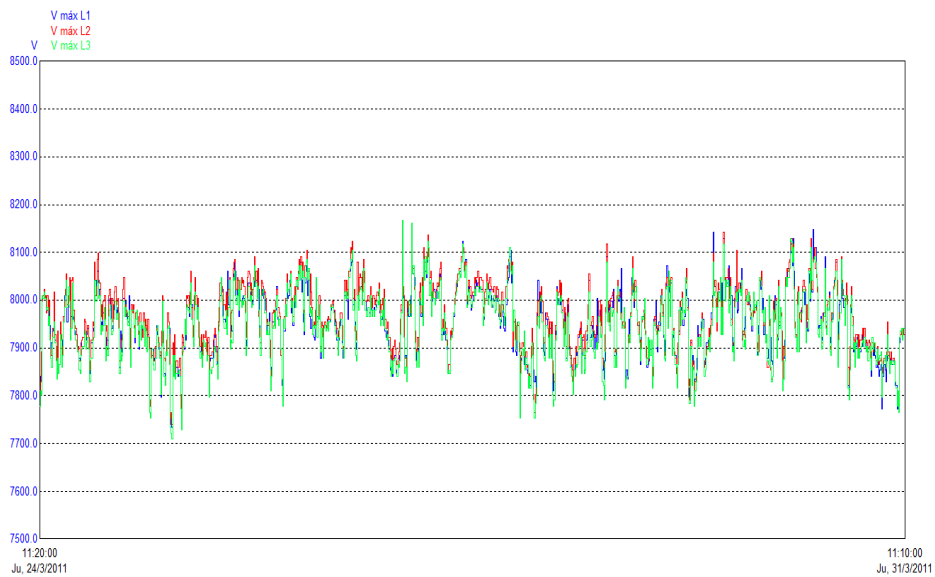


Figura 3. 12 Niveles de tensión por fase

En el ANEXO C.8 a, b, c se presenta las gráficas de cada una de las fases, en lo referente a Voltaje Promedio, Voltaje Máximo y Voltaje Mínimo.

Perturbaciones

Parpadeo (Flicker)

Resultados: Del total de 1008 muestras por fase, el cumplimiento es del 59.23 %, 59.72% y 61.61% para las fases 1, 2 y 3 respectivamente, lo cual muestra que el incumplimiento de la regulación es total.

Tabla 3. 17 Cumplimiento de flicker

| FLICKER | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | FASE 1 | FASE 2 | FASE 3 |
| Limite | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Total de muestras | 1008 | 1008 | 1008 |
| Numero de muestras mayores al limite | 411 | 406 | 387 |
| Porcentaje de cumplimiento | 59.23% | 59.72% | 61.61% |
| Valor máximo registrado | 2.27 | 2.24 | 2.37 |
| Valor mínimo registrado | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Valor promedio | 0.82 | 0.82 | 0.80 |

Las magnitudes registradas del flicker durante el periodo de medición se observa en la figura 3.13.

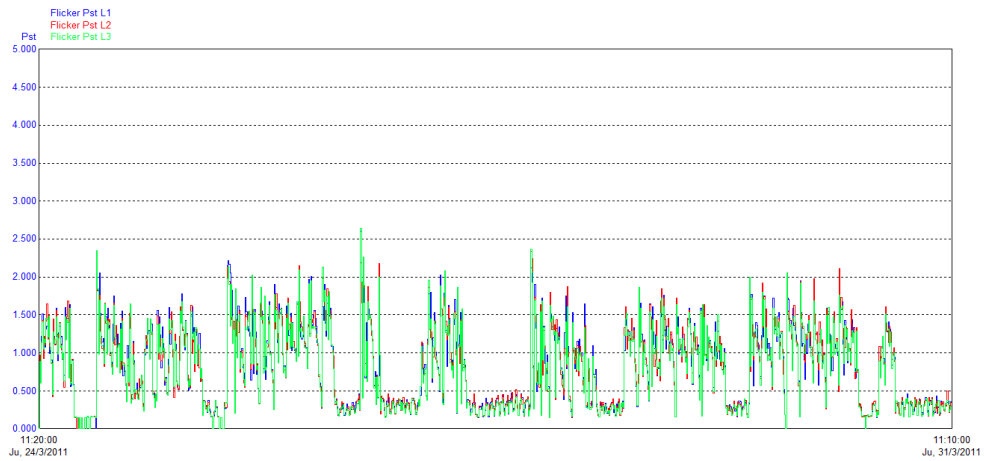


Figura 3. 13 Flicker

Armónicos

Resultados: Los resultados de la distorsión armónica de tensión se presentan en las tablas 3.18, 3.19 y 3.20 de cada una de las fases, como también el cumplimiento de la distorsión armónica de tensión en la tabla 3.21.

Tabla 3. 18 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase A

| ARMONICAS FASE A | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.53 | 1.71 | 2.77 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 47.45 | 7.73 | 3.89 | 1.97 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 816 | 398 | 3.19 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 80.95% | 39.48% | 31.65% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 7.73 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 755 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 74.90% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.76 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 142 | 4 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 14.09% | 0.40% | 0.79% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 19 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase B

| ARMONICAS FASE B | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.88 | 2.31 | 3.73 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 61.23 | 9.94 | 5.23 | 2.34 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 869 | 765 | 463 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 86.21% | 75.89% | 45.93% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 12.13 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 1008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 99.80% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.61 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 117 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 11.61% | 0.50% | 0.50% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 20 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase C

| ARMONICAS FASE C | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.61 | 1.77 | 2.92 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 50.07 | 9.25 | 3.21 | 1.44 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 822 | 295 | 222 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 81.55% | 29.27% | 22.02% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 1.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 11.11% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.72 | 0.08 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 143 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 14.19% | 0.20% | 0.99% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 21 Cumplimiento de la distorsión armónica de tensión

| THD FASE 1 | | | THD FASE 2 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al limite 0 | | Límite: 8% | Muestras mayores al limite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | | Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | | SI X | NO | |
| Máximo 2.66 | Promedio 1.61 | Mínimo 0.55 | Máximo 3.02 | Promedio 1.84 | Mínimo 0.66 |

| THD FASE 3 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al limite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | |
| Máximo 2.66 | Promedio 1.62 | Mínimo 0.57 |

En lo referente a la distribución armónica total de tensión (THDv) se puede observar que todos los registros están por debajo del límite exigido del producto, a excepción de los armónicos impares múltiplos de 3, de orden 3, 15 y 21.

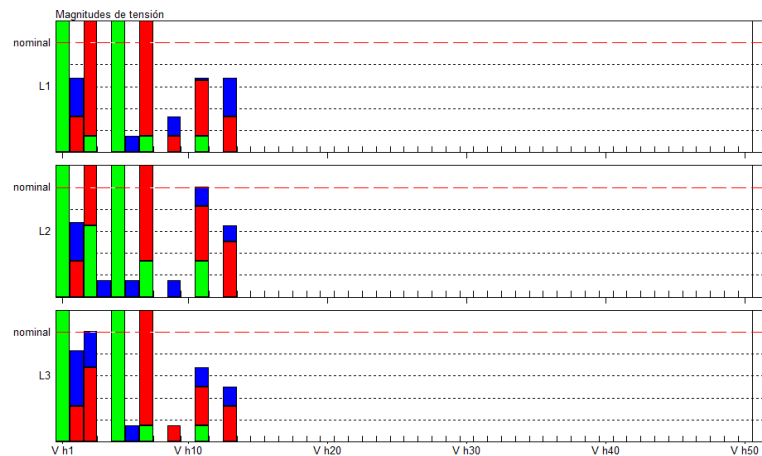


Figura 3. 14 Graficas de orden de armónicos en cada fase

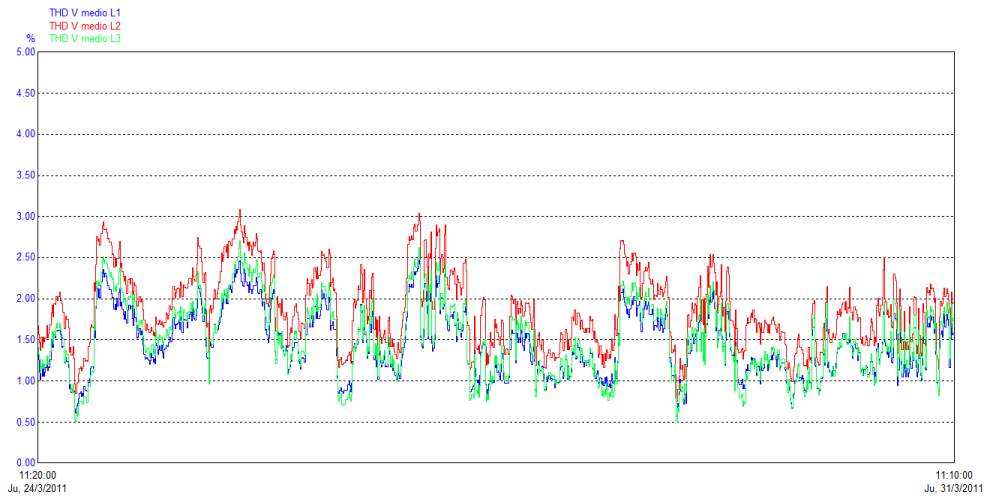


Figura 3. 15 Grafica de porcentajes de THD en cada una de las fases

Factor de Potencia

Resultados: De un total de 1008 muestras por fase, se obtuvo que exista el cumplimiento en todas las fases, pues superan el 5% tolerable del límite establecido, siendo los porcentajes del cumplimiento del 100% (ver tabla 3.22).

Tabla 3. 22 Cumplimiento del factor de potencia FP

| FP FASE 1 | | | FP FASE 2 | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Límite: | Muestras inferiores al límite | | Límite: | Muestras mayores al límite | |
| 0.92 | 0 | | 0.92 | 306 | |
| Cumplimiento de la regulación | | | Cumplimiento de la regulación | | |
| | SI | NO | | SI | NO |
| X | 100.00% | | X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.98 | 0.96 | 0.93 | 0.99 | 0.96 | 0.92 |

| FP FASE 3 | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Límite: | Muestras mayores al límite | |
| 0.92 | 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| | SI | NO |
| X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.97 | 0.96 | 0.94 |

La figura 3.16 muestra el comportamiento de la potencia activa total (P) y la potencia reactiva total (Q) durante el periodo de medición.

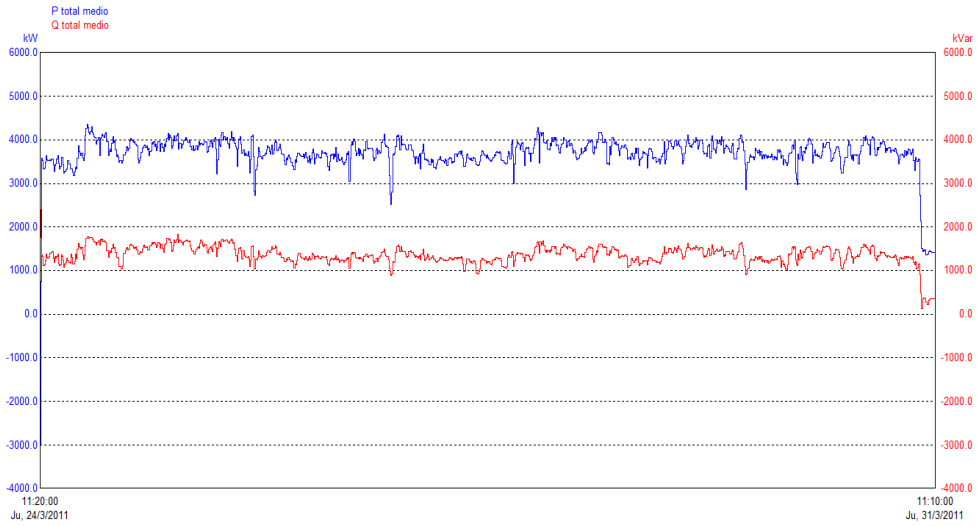


Figura 3. 16 Potencia activa y reactiva total

La figura 3.17 muestra el comportamiento de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) para la fase 1, durante el periodo de medición.

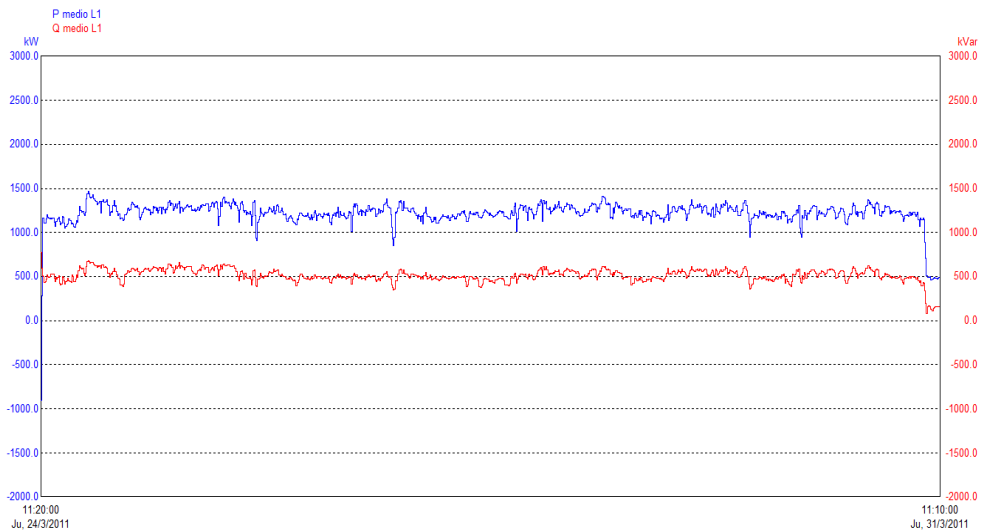


Figura 3. 17 Potencia activa y reactiva fase 1

De forma similar las figuras 3.18 y 3.19 muestran el comportamiento de las potencias activa (P) y reactiva (Q) para las fases 2 y 3 respectivamente.

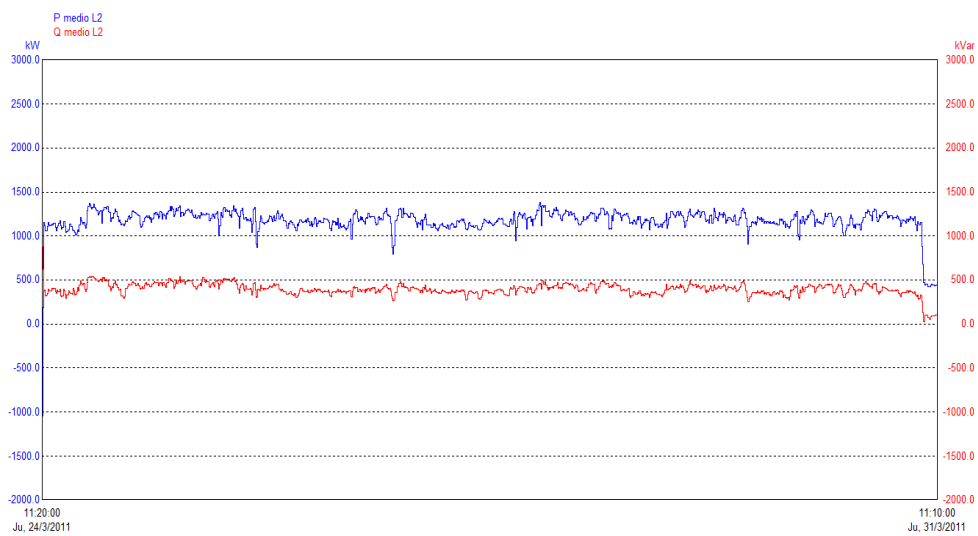


Figura 3. 18 Potencia activa y reactiva fase 2

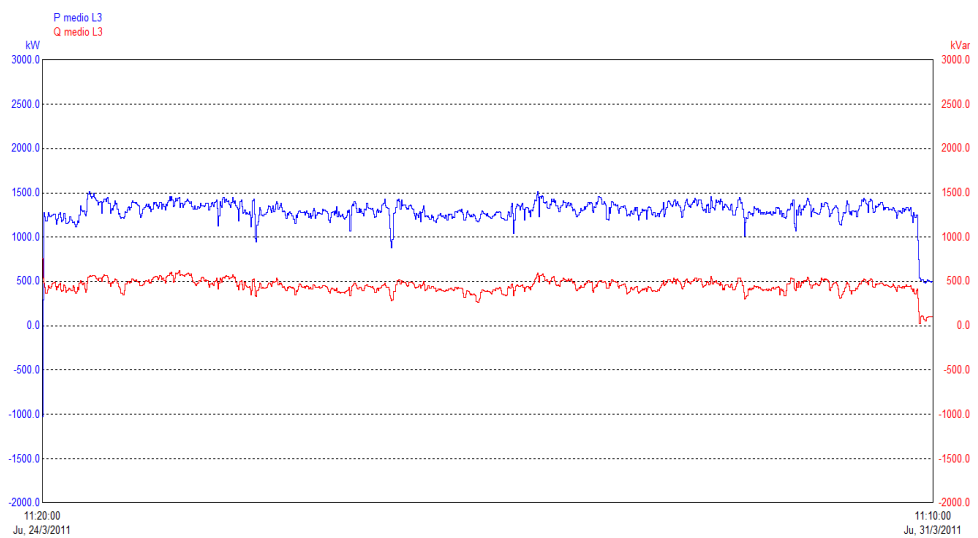


Figura 3. 19 Potencia activa reactiva fase 3

Y finalmente en la figura 3.20 se puede apreciar el comportamiento de las potencias activa (P) y el cos fi total (cos fi)

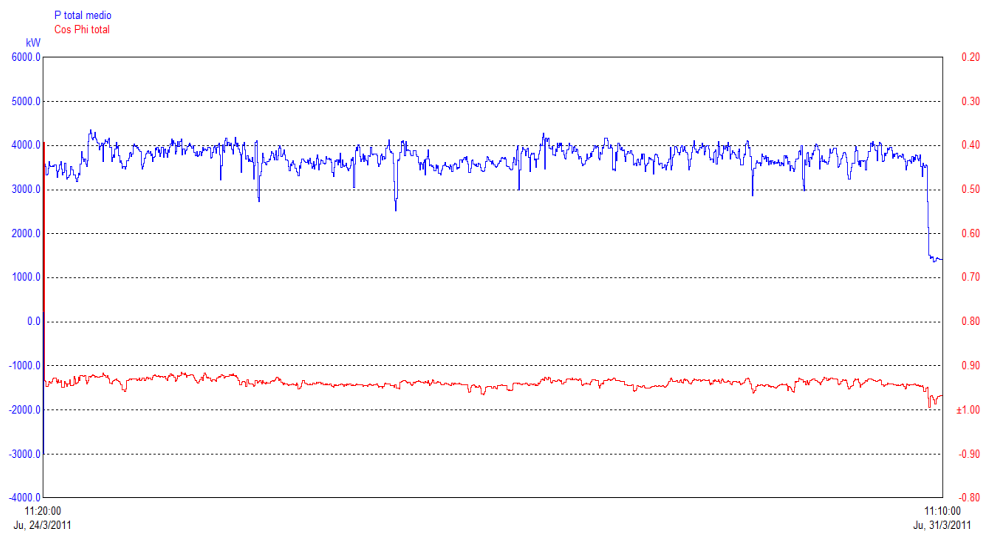


Figura 3. 20 Potencias activa (P) y cos fi total

En el ANEXO C.9 se presenta las gráficas e informes del equipo analizador de energía puesto en el alimentador No. 5 (ACOSA).

3.5.3 ALIMENTADOR NO. 6 (FAMILIA SANCELA DEL ECUADOR)

A continuación se describen los resultados obtenidos de las mediciones y el análisis correspondiente de los registros durante siete días, con intervalos de 10 minutos, obteniendo al final de cada medición, 1008 muestras.

En el ANEXO C.10 se presenta los datos obtenidos del analizador de energía, colocado en el alimentador No. 6 (FAMILIA SANCELA).

Se procedió a realizar las mediciones y análisis de los resultados, en lo referente a Calidad del Producto en el alimentador, se muestran las siguientes tablas:

Niveles de Tensión

Resultados: Del total de muestras se cumplió el 100%, todas las mediciones se encuentran dentro del margen permitido como límite según la regulación vigente.

En la tabla 3.23 se puede apreciar un resumen del comportamiento de los niveles de tensión registrados:

Tabla 3. 23 Cumplimiento niveles de tensión

| NIVEL DE TENSION FASE A | | | | NIVEL DE TENSION FASE B | | | | NIVEL DE TENSION FASE C | | | |
|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| Límites: | | | | Límites: | | | | Límites: | | | |
| -8% | | +8% | | -8% | | +8% | | -8% | | +8% | |
| <7195.61 | | >8447.02 | | <7205.25 | | >8458.34 | | <7184.27 | | >8433.71 | |
| 7821.32 V Valor medio | | | | 7831.80 V Valor medio | | | | 7808.99 V Valor medio | | | |
| Mínimo 7598.24 06-04-2011 02:50:00 | | Máximo 8043.20 05-04-2011 21:30:00 | | Mínimo 7607.65 06-04-2011 02:50:00 | | Máximo 8038.50 05-04-2011 21:40:00 | | Mínimo 7570.40 06-04-2011 02:50:00 | | Máximo 8033.61 05-04-2011 21:30:00 | |
| N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | | N° muestras mayores al limite | | | |
| 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | | Cumplimiento con la regulación | | | |
| SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO | SI | NO |
| X | | X | | X | | X | | X | | X | |
| Porcentaje | | | | Porcentaje | | | | Porcentaje | | | |
| 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % |

Una presentación estadística de la variación de tensión (DV%) respecto al valor nominal de 7900 V es la que se muestra a continuación en la tabla 3.24, así como su distribución estadística en la figura 3.21.

Tabla 3. 24 Distribución estadística de frecuencias de la variación de tensión (DV)

| Fase A | | | Fase B | | | Fase C | | |
|--------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|------------|--------|
| % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % | % DV | Frecuencia | % |
| -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 | -3,00 | 0 | 0.00 |
| -2,00 | 109 | 10.81 | -2,00 | 58 | 5.75 | -2,00 | 83 | 8.23 |
| -1,00 | 240 | 23.81 | -1,00 | 277 | 27.48 | -1,00 | 250 | 24.80 |
| 0,00 | 485 | 48.12 | 0,00 | 475 | 47.12 | 0,00 | 477 | 47.32 |
| 1,00 | 169 | 16.77 | 1,00 | 187 | 18.55 | 1,00 | 180 | 17.86 |
| 2,00 | 5 | 0.50 | 2,00 | 11 | 1.09 | 2,00 | 16 | 1.59 |
| 3,00 | 0 | 0.00 | 3,00 | 0 | 0.00 | 3,00 | 2 | 0.20 |
| 4,00 | 0 | 0.00 | 4,00 | 0 | 0.00 | 4,00 | 0 | 0.00 |
| 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 | 5,00 | 0 | 0.00 |
| 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 | 6,00 | 0 | 0.00 |
| Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 | Total | 1008 | 100.00 |

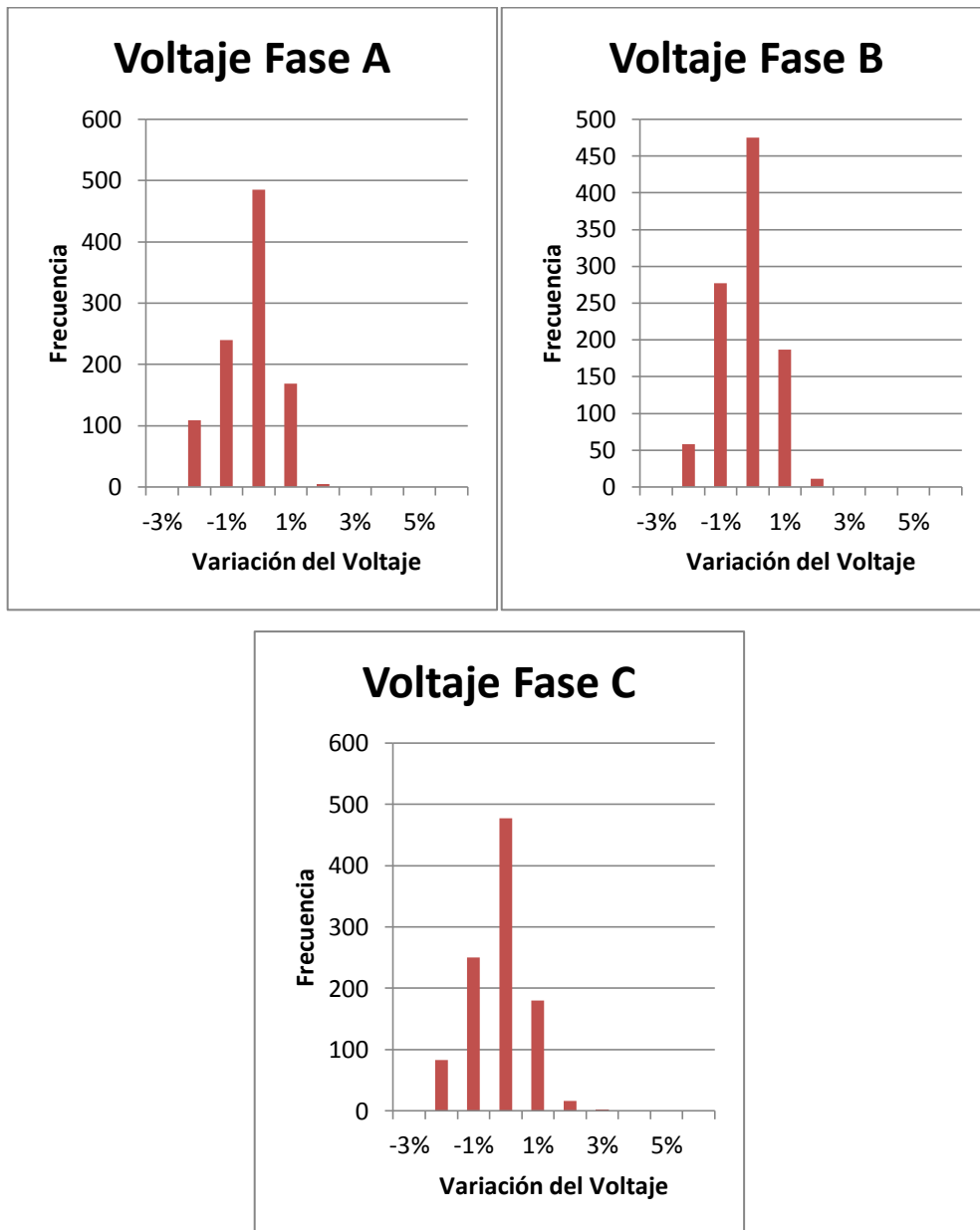


Figura 3. 21 Distribución estadística de frecuencias del DV%

En la figura 3.22 se puede observar el perfil de tensión durante el tiempo de medición para las tres fases del sistema.

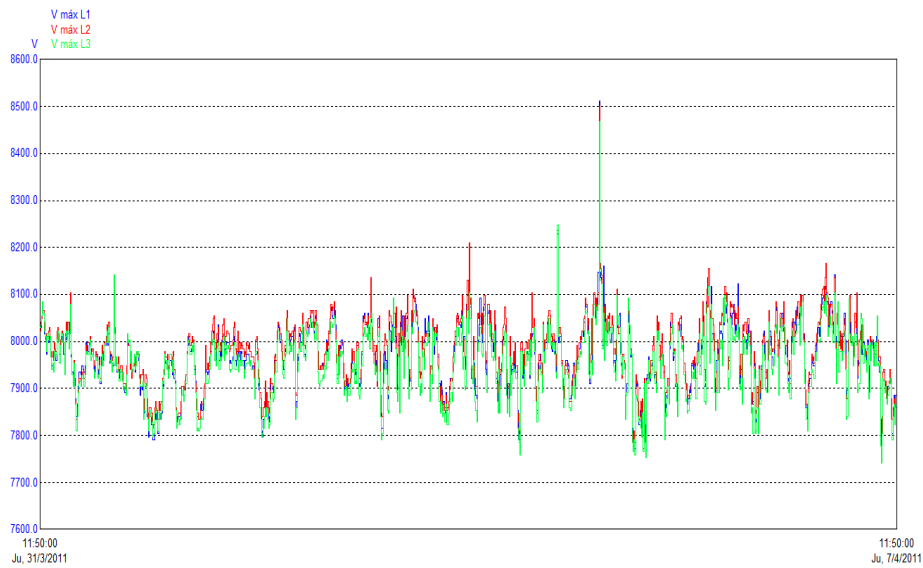


Figura 3. 22 Niveles de tensión por fase

En el ANEXO C.11 a, b, c se presenta las gráficas de cada una de las fases, en lo referente a Voltaje Promedio, Voltaje Máximo y Voltaje Mínimo.

Perturbaciones

Parpadeo (Flicker)

Resultados: Del total de 1008 muestras por fase, el cumplimiento es del 60.62 %, 59.33% y 62.70% para las fases 1, 2 y 3 respectivamente, lo cual muestra que el incumplimiento de la regulación es total.

Tabla 3. 25 Cumplimiento de flicker

| FLICKER | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | FASE 1 | FASE 2 | FASE 3 |
| Limite | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Total de muestras | 1008 | 1008 | 1008 |
| Numero de muestras mayores al limite | 397 | 410 | 376 |
| Porcentaje de cumplimiento | 60.62% | 59.33% | 62.70% |
| Valor máximo registrado | 2.49 | 2.58 | 2.52 |
| Valor mínimo registrado | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Valor promedio | 0.78 | 0.79 | 0.76 |

Las magnitudes registradas del flicker durante el periodo de medición se observa en la figura 3.23.

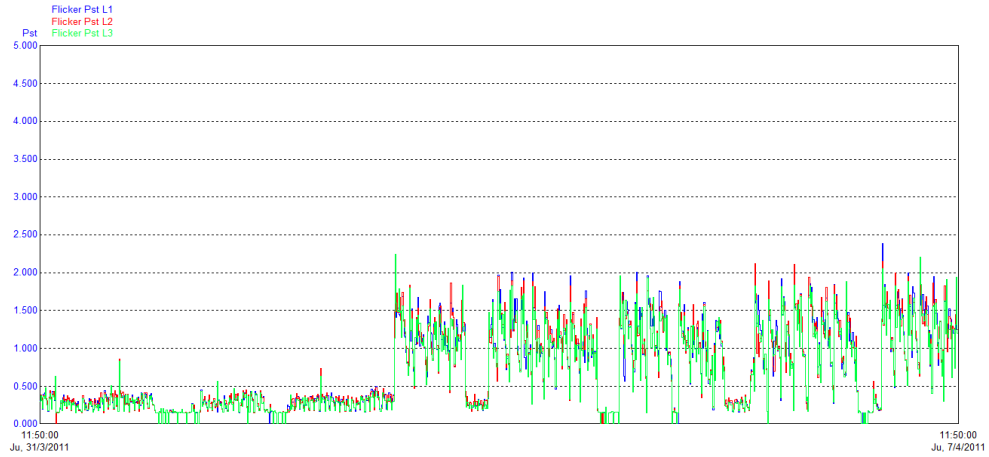


Figura 3. 23 Flicker

Armónicos

Resultados: Los resultados de la distorsión armónica de tensión se presentan en las tablas 3.26, 3.27 y 3.28 de cada una de las fases, como también el cumplimiento de la distorsión armónica de tensión en la tabla 3.29.

Tabla 3. 26 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase A

| ARMONICAS FASE A | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.61 | 1.68 | 2.75 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 48.49 | 8.27 | 4.36 | 2.03 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 1008 | 861 | 614 | 392 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 85.42% | 60.91% | 38.89% | 0.00% | 0.10% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 8.03 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 869 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 86.21% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.73 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 138 | 4 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 13.69% | 0.40% | 0.60% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 27 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase B

| ARMONICAS FASE B | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.82 | 2.09 | 3.35 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | SI | X | 100.00% | NO | 0.00% | | |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 62.83 | 10.98 | 5.52 | 2.31 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 845 | 873 | 512 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 83.83% | 86.61% | 50.79% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 11.76 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 1007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 99.90% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.64 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 110 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 10.91% | 0.30% | 0.40% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 28 Resultado de la distorsión armónica de tensión fase C

| ARMONICAS FASE C | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|------------------|--------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Limite THD _v | Mínimo | THD _v | Máximo | Numero de muestras mayores al limite | | | |
| 8% | 0.56 | 1.72 | 2.87 | 0 | | | |
| Cumplimiento con la regulación | | SI | X | 100.00% | NO | | 0.00% |
| Armónicas Individuales | | | | | | | |
| Impares no múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 5 | 7 | 11 | 13 | 17 | 19 | |
| Limite | 6 | 5 | 3.5 | 3 | 2 | 1.5 | |
| Valor medido | 50.98 | 10.01 | 3.55 | 1.55 | 0.00 | 1.10 | |
| Muestra > lim | 1008 | 780 | 331 | 288 | 0 | 0 | |
| Cumple | | | | | X | X | |
| No cumple | X | X | X | X | | | |
| Porcentaje no cumple | 100.00% | 77.38% | 32.84% | 28.57% | 0.00% | 0.00% | |
| Orden Armónica | 23 | 25 | 29 | 31 | 35 | 37 | |
| Limite | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | |
| Valor medido | 1.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |
| Impares múltiplos de 3 | | | | | | | |
| Orden Armónica | 3 | 9 | 15 | 21 | 27 | 33 | 39 |
| Limite | 5 | 1.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Valor medido | 1.44 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 94 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 9.33% | 0.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Pares | | | | | | | |
| Orden Armónica | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| Limite | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.69 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 126 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | X | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 12.50% | 0.10% | 0.79% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | X |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Orden Armónica | 30 | 32 | 34 | 36 | 38 | 40 | |
| Limite | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | |
| Valor medido | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| Muestra > lim | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Cumple | X | X | X | X | X | X | |
| No cumple | | | | | | | |
| Porcentaje no cumple | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | |

Tabla 3. 29 Cumplimiento de la distorsión armónica de tensión

| THD FASE 1 | | | THD FASE 2 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | | Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | | Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | | SI X | NO | |
| Máximo 2.72 | Promedio 1.63 | Mínimo 0.54 | Máximo 3.20 | Promedio 1.96 | Mínimo 0.71 |

| THD FASE 3 | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Límite: 8% | Muestras mayores al límite 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| SI X | NO | |
| Máximo 2.74 | Promedio 1.66 | Mínimo 0.57 |

En lo referente a la distribución armónica total de tensión (THDv) se puede observar que todos los registros están por debajo del límite exigido del producto, a excepción de los armónicos impares múltiplos de 3, de orden 3, 15 y 21.

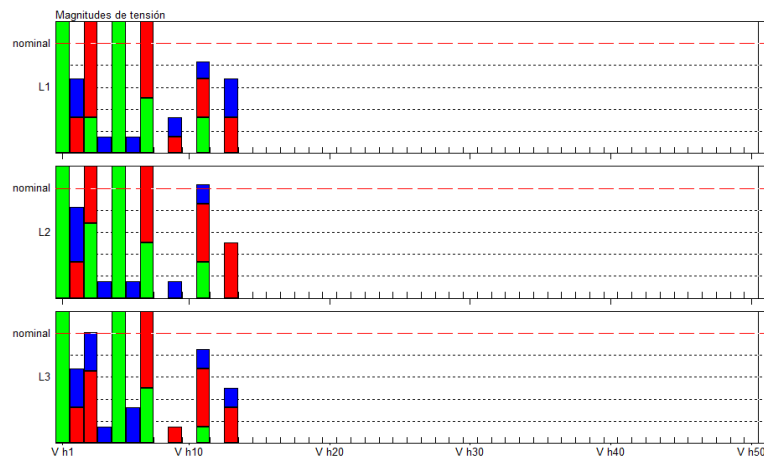


Figura 3. 24 Graficas de orden de armónicos en cada fase

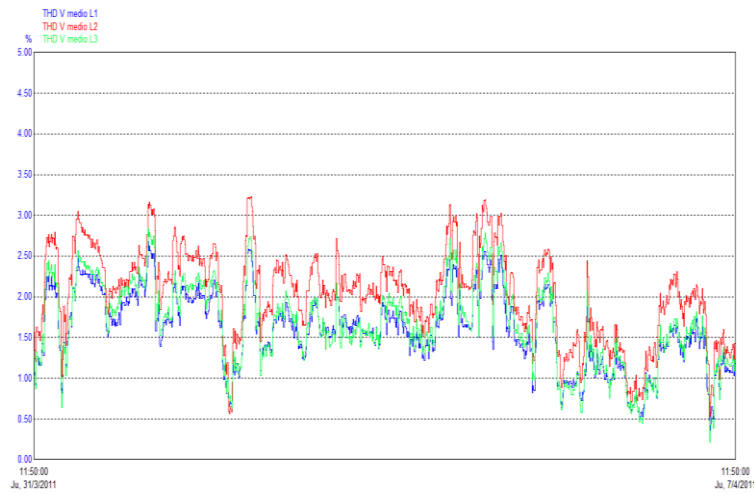


Figura 3. 25 Grafica de porcentajes de THD en cada una de las fases

Factor de Potencia

Resultados: De un total de 1008 muestras por fase, se obtuvo que exista el cumplimiento en todas las fases, pues superan el 5% tolerable del límite establecido, siendo los porcentajes del cumplimiento del 100% (ver tabla 3.30).

Tabla 3. 30 Cumplimiento del factor de potencia FP

| FP FASE 1 | | | FP FASE 2 | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Límite: | Muestras inferiores al límite | | Límite: | Muestras mayores al límite | |
| 0.92 | 0 | | 0.92 | 279 | |
| Cumplimiento de la regulación | | | Cumplimiento de la regulación | | |
| | SI | NO | | SI | NO |
| X | 100.00% | | X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo | Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.96 | 0.95 | 0.93 | 0.95 | 0.94 | 0.92 |

| FP FASE 3 | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Límite: | Muestras mayores al límite | |
| 0.92 | 0 | |
| Cumplimiento de la regulación | | |
| | SI | NO |
| X | 100.00% | |
| Máximo | Promedio | Mínimo |
| 0.96 | 0.96 | 0.95 |

La figura 3.26 muestra el comportamiento de la potencia activa total (P) y la potencia reactiva total (Q) durante el periodo de medición.

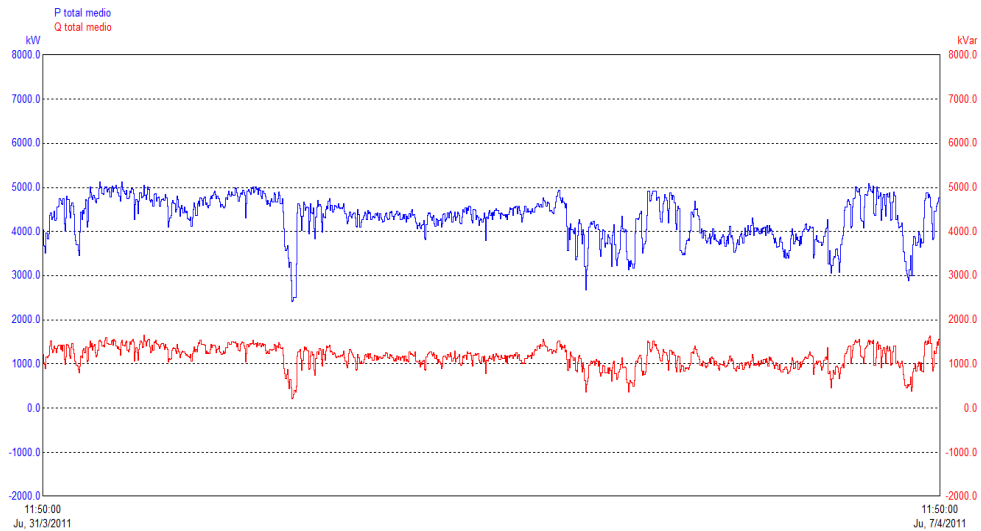


Figura 3. 26 Potencia activa y reactiva total

La figura 3.27 muestra el comportamiento de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) para la fase 1, durante el periodo de medición.

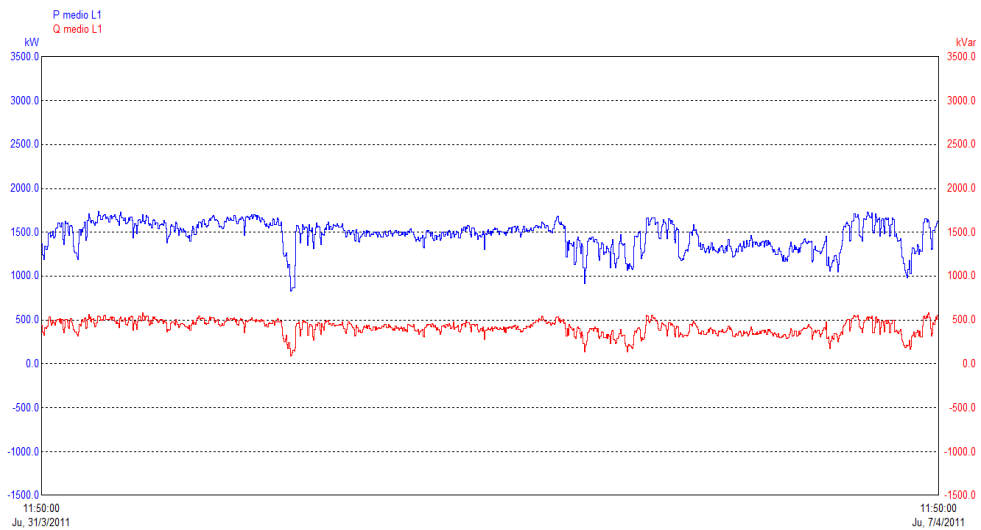


Figura 3. 27 Potencia activa y reactiva fase 1

De forma similar las figuras 3.28 y 3.29 muestran el comportamiento de las potencias activa (P) y reactiva (Q) para las fases 2 y 3 respectivamente.

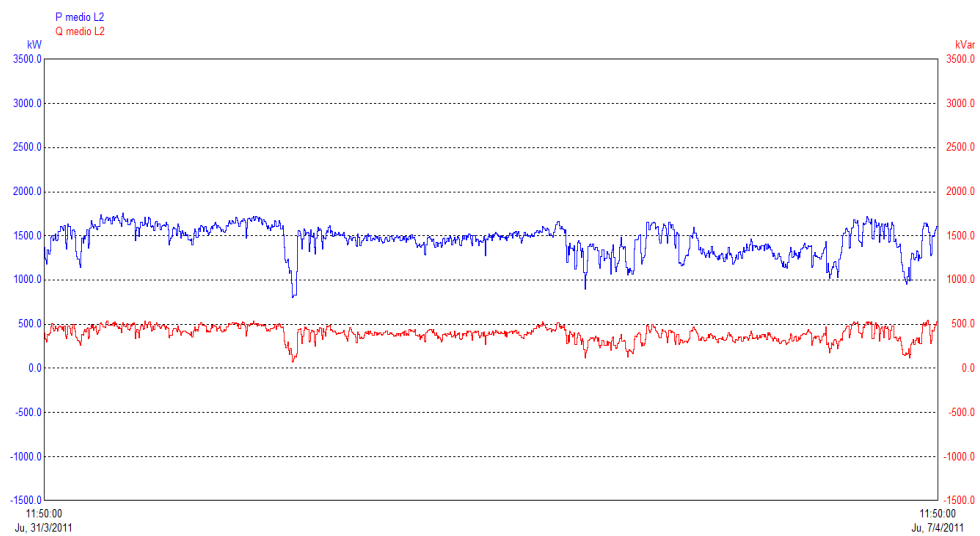


Figura 3. 28 Potencia activa y reactiva fase 2

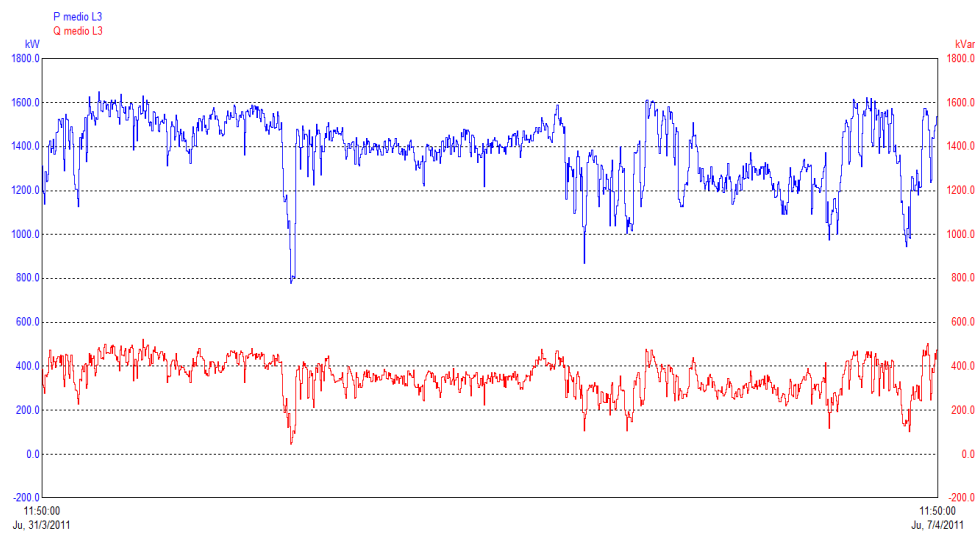


Figura 3. 29 Potencia activa reactiva fase 3

Y finalmente en la figura 3.30 se puede apreciar el comportamiento de las potencias activa (P) y el cos fi total (cos fi)

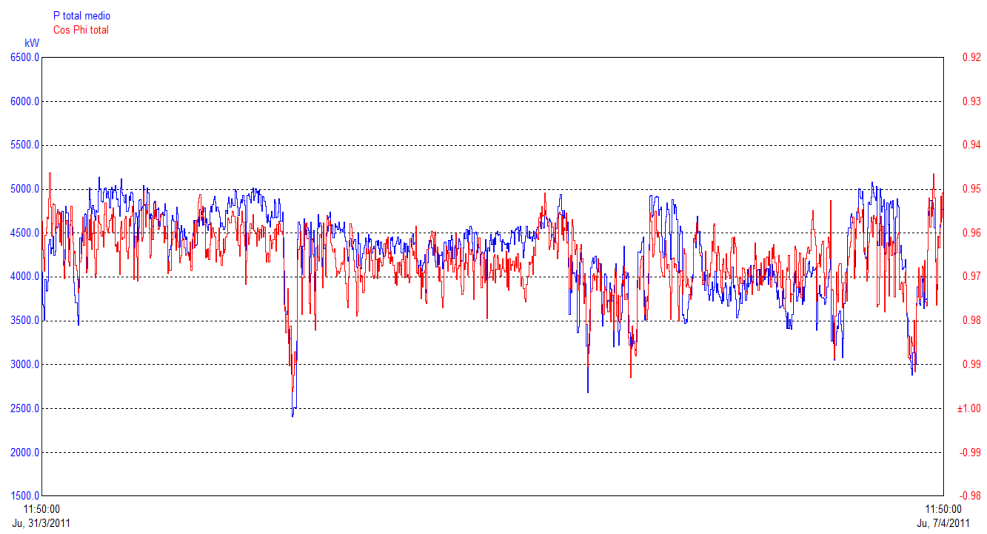


Figura 3. 30 Potencias activa (P) y cos fi total

En el ANEXO C.12 se presenta las gráficas e informes del equipo analizador de energía puesto en el alimentador No. 6 (FAMILIA SANCELA).

CAPÍTULO IV

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

4.1. INTRODUCCIÓN.

Una vez que en los capítulos precedentes de este proyecto de titulación se ha efectuado: a) la revisión de los aspectos teóricos de la calidad del servicio, b) la revisión de las experiencias internacionales a nivel de América Latina y Europa, y c) La evaluación práctica de la aplicación de la Regulación No. CONELEC 004/01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, se tienen los suficientes elementos para desarrollar, en el presente capítulo, la propuesta de reformas regulatorias a la norma vigente de calidad del servicio, así como de los mecanismos y valores para la compensación económica a los usuarios finales, ante incumplimiento de los indicadores de calidad.

Las propuestas de mejoras que se realizarán en los alimentadores, por lo cual se desarrollaran mediante una metodología para mejorar los perfiles de voltaje como también los niveles de carga en conductores, haciendo una reconfiguración de los primarios en estudio para lograr un mejor funcionamiento.

Entre los aspectos más relevantes que requieren una revisión normativa se han identificado los siguientes:

- **Aspectos Generales**
 - Incluir las definiciones relacionadas con alimentadores de alta y baja densidad, con la red global de distribución, con las zonas de servicio, rural, urbana y con la definición de un

usuario de alto y medio voltaje a efectos de medir calidad del producto.

- Incluir conjuntamente con la identificación del cliente la ubicación y tipificación del mismo.
- Etapa final: tendrá su inicio a la finalización de la etapa de prueba y control, para la cual la presente Regulación define las siguientes sub etapas:
 - Definición de las sub etapas de aplicación: Sub etapa 1A 1B, 2 y 3.

- **Calidad del Servicio Técnico**

- Clasificación de las interrupciones.
- Análisis de la carga desconectada a ser considerada para el cálculo de los indicadores, debido a interrupciones de tipo monofásico o bifásico.
- Discriminación de fases en el cálculo de las interrupciones.
- Análisis dinámico de la carga instalada en la red de distribución.
- Cálculo de la energía no suministrada.

- **Calidad del Producto**

- Análisis de la aleatoriedad a ser considerada para la selección de los componentes del sistema de distribución y consumidores a los cuales se debe evaluar la calidad del producto.
- Determinación del grado de responsabilidad de la carga en las perturbaciones existentes en la red.

- Exclusión de los períodos de medición para la evaluación de la calidad del producto, durante los cuales se presentaron interrupciones de servicio.
- Definición de la energía suministrada en malas condiciones de calidad.

- **Calidad del Servicio Comercial**

- Necesidad de nuevos indicadores para la evaluación de la calidad de otros servicios prestados por la distribuidora, adicionales a los que se mencionan en la Regulación vigente.
- Modificaciones conceptuales a ciertos indicadores comerciales y aclaración de los índices existentes.
- Efectuar el cálculo de los indicadores utilizando información de períodos trimestrales anteriores al mes de reporte del indicador.
- Eliminación del concepto de densidad demográfica y consideración de zonas urbanas y rurales.

4.2. PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA ENERGÍA EN LA SUBESTACIÓN LASSO Y SUS ALIMENTADORES.

4.2.1. POSIBLES SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DETECTADOS

Una vez simulado y estudiado cada uno de los casos e ideas que podrían mejorar las condiciones de operación del sistema eléctrico en estudio se plantean las soluciones en función de cubrir la demanda para los próximos años hasta llegar al año meta 2013.

A continuación se describe una manera simplificada de los pasos que se deben seguir para mejorar las condiciones de operación de un sistema de distribución:

El análisis de las condiciones de operación se la realizó en base a corridas de flujos para ubicar los lugares con voltajes deficientes, las perdidas por sección de red y cargabilidad de los elementos, a los problemas que ya se han determinado y que fueron descritos anteriormente se proponen algunas soluciones que serán verificadas, en cuanto se refiere a su efectividad, en el programa.

Los correctivos más factibles sugeridos son balancear las cargas, emplear capacitores, o mejorar la sección de conductores, o ambas, en función del costo y beneficio logrado; la posibilidad de emplear reguladores de voltaje y añadir una nueva subestación.

a. BARRA GENERAL S/E LASSO

a.1. Nivel de tensión

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de tensión estaban dentro de los rangos permitidos. Razón por la cual no se hace necesario ninguna propuesta de mejora al respecto.

a.2. Perturbaciones (Flicker)

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de perturbaciones (flicker pst y plt) sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual se hace necesario implementar propuesta de solución para disminuir la perturbación flicker es la implementación de un compensador estático de reactivos (SVC) automático. Estos sistemas son capaces de compensar reactivos a cargas dinámicas con una velocidad de respuesta de uno o dos ciclos. Constan de una combinación de capacitores y reactores para regular los niveles de tensión, que varían rápidamente debido a la carga fluctuante. Este sistema tiene la ventaja de proporcionar una compensación continua del factor de potencia ya que responden rápidamente a los cambios en las condiciones de la red.

a.3. Distorsión armónica

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de distorsión armónica total de voltaje (THDV) no sobrepasan el límite permitido, no así con la distorsión armónica total de corriente (THDI) en donde los niveles alcanzados son altos. Para mitigar esta perturbación lo que se está realizando es la colocación de un filtro activo para todo el conjunto, a la salida del transformador. Con eso se busca eliminar las perturbaciones en este sistema.

a.4. Factor de potencia

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de factor de potencia no sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual no se hace necesario implementar ninguna propuesta de mejora al respecto.

b. ALIMENTADOR No. 5 (ACOSA)

b.1. Nivel de tensión

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de tensión estaban dentro de los rangos permitidos. Razón por la cual no se hace necesario ninguna propuesta de mejora al respecto.

b.2. Perturbaciones (Flicker)

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de perturbaciones (flicker pst y plt) no sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual no se hace necesario implementar ninguna propuesta de mejora al respecto.

b.3. Distorsión armónica

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de distorsión armónica total de corriente y de voltaje (THDI y THDV) no sobrepasan el límite permitido, los armónicos múltiplos de 3° orden que son los mas perjudiciales, mientras que existen armónicos de 5° orden causados por variadores de voltaje y transformadores de frecuencia, en una proporción del +8% por la cual se hace necesario implementar una propuesta de mejora al respecto, que se hará junto con el factor de potencia.

b.4. Factor de potencia

En los niveles de factor de potencia dos de las fases no sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual no se hace necesario implementar ninguna propuesta de mejora al respecto. Pero para la fase que se encuentra sobrepasado los valores, la solución para mejorar el factor de potencia y para la eliminación del 5° armónico sería el que se implemente el filtro activo de las siguientes características, tomando en cuenta que para lo cual tenemos que tener en cuenta los siguientes aspectos:

Datos requeridos para el diseño del filtro contra los armónicos

1. Tensión de servicio y duración de las variaciones de tensión en el sistema.
2. Requerimiento de potencia reactiva a la frecuencia fundamental.
3. Corrientes armónicas en la red (normal y el peor caso), o Información sobre las cargas que generan armónicos (por Ej. Un rectificador de 6 pulsos 10 MW existente en el área de enchapado, que es el área donde existe la mayor producción de armónicos ya que existen la mayor parte equipos electrónicos)
4. Nivel de cortocircuito existente en la red y su rango de variación, (para el cálculo de las impedancias a diferentes frecuencias)
5. Nivel permitido de corrientes y tensiones armónicas.
6. Nivel de aislamiento requerido de los filtros.
7. Condiciones medioambientales (instalación interior o exterior, temperatura ambiente).

Datos del filtro contra los armónicos y para mejorar el factor de potencia.

Tabla 4. 1 Características de filtro Matrix® Harmonic Filters

Series D

| | |
|--|--|
| Carga: | 6 rectificador, que opera en modo de par variable y elegido de la tabla de selección estándar. Para la aplicación de par constante seleccionar Control de filtro basado en la nota de aplicación adecuado: UN-0106 |
| Entrada de Voltaje: | Tensión nominal VAC +/- 10%, 3 fases |
| Frecuencia: | Frecuencia nominal + .75 Hz |
| Voltaje de entrada de línea de desequilibrio: | 1% como máximo |
| Impedancia de la fuente máxima: | 6,00% |
| Impedancia de fuente mínima: | 1,5% |
| Factor de servicio: | 1,00 |
| Temperatura ambiente (en funcionamiento) | |
| Filtros cerrados: | -40 a +40 grados C |
| Abra Panel de Filtros: | de -40 a +50 grados C |
| Temperatura de almacenamiento: | de -40 a +90 grados C |
| Altitud: | 0 a 3300 metros sobre el nivel del mar sin reducción de potencia |
| Humedad relativa: | 0 a 95% sin condensación Aprobaciones de los organismos |
| UL y cUL: | UL508 y CSA C22.2-No 14-95 Archivo E180243 (3HP a 1000HP, 120 VCA a 600 VCA, 50 Hz, 50/60Hz, Y 60 Hz trifásico) rendimiento |
| Distorsión armónica de corriente: | 5% máximo a plena carga |

Con mayor detalle en el ANEXO D.1

c. ALIMENTADOR No. 6 (FAMILIA SANCELA)

c.1. Nivel de tensión

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de tensión estaban dentro de los rangos permitidos. Razón por la cual no se hace necesario ninguna propuesta de mejora al respecto.

c.2. Perturbaciones (Flicker)

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de perturbaciones (flicker pst y plt) sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual se hace necesario implementar propuesta de solución para disminuir la perturbación flicker es la implementación de un compensador estático de reactivos (SVC) automático. Estos sistemas son capaces de compensar reactivos a cargas dinámicas con una velocidad de respuesta de uno o dos ciclos. Constan de una combinación de capacitores y reactores para regular los niveles de tensión, que varían rápidamente debido a la carga fluctuante. Este sistema tiene la ventaja de proporcionar una compensación continua del factor de potencia ya que responden rápidamente a los cambios en las condiciones de la red.

c.3. Distorsión armónica

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de distorsión armónica total de corriente y de voltaje (THDI y THDV) no sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual no se hace necesario implementar ninguna propuesta de mejora al respecto.

c.4. Factor de potencia

En el análisis expuesto anteriormente se vio que los niveles de factor de potencia no sobrepasan el límite permitido. Razón por la cual no se hace necesario implementar ninguna propuesta de mejora al respecto.

Es importante recalcar que mientras menores son las pérdidas técnicas significa menos energía no facturada y por lo tanto genera menor cantidad de dinero por pérdidas técnicas, el ahorro de esta energía puede ser direccionada a cubrir la demanda de otros clientes lo que se convierte en energía facturada generando mayores ingresos para la Empresa.

La justificación técnica de las soluciones planteadas presentan resultados positivos por lo tanto la inversión económica se justifica para obtener los beneficios de un sistema planificado para los próximos años.

4.2.2. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.

En las propuestas que se hicieron para mitigar las perturbaciones en la subestación Lasso se tomaron en cuenta algunos aspectos.

Se propuso colocar los filtros activos en las salidas de cada uno de los alimentadores, debido al alto costo que implicaría colocar uno en cada punto o fuente de perturbación.

En consecuencia el beneficio que se obtendrá con la implementación de las propuestas radica principalmente en el mejoramiento de los niveles de calidad de la energía para que los equipos trabajen de una manera normal y rindan al máximo. Con esto estaríamos evitando efectos físicos

nocivos, que a la final conducen a un mal funcionamiento del equipo y reducen radicalmente la vida útil del mismo.

a. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

A más de la evaluación económica de las alternativas planteadas se realiza un análisis económico del sistema de distribución de la subestación Lasso de la zona de concesión de ELEPCO para los próximos años, el análisis económico de los alimentadores de la S/E Lasso con los cuales se pretende dar soluciones a los valores que no están contemplados dentro de la regulación 004/01.

b. COSTO DEL BANCO DE CAPACITORES

La instalación de los capacitores en la subestación Lasso se lo realiza en función de las necesidades del sistema y en función de los valores estandarizados de capacitores disponibles en el mercado nacional o en su defecto la opción de una posible importación desde un país proveedor, se considera un valor referencial de 32000 USD para la compra de un banco de capacitores trifásico de 2000 Kvar.

c. COSTO DE LA S/E FAMILIA SANCELA

La construcción de una subestación para la Fabrica Familia Sancela estará implantada dentro de los límites de la fábrica en el sector Lasso, la cual tendría que contar con un espacio destinado para ello.

Subestación de transformación Eléctrica Familia Sancela:

- Gis-Transformador de potencia de 20 MVA y de relación de transformación de 69/13.8 Kv.

- Casa de control con tableros y equipos de operación y protección
- Pórtico de salida metálico.

Presupuesto referencial:

Tabla 4. 2 Presupuesto S/E FAMILIA SANCELA

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN | Cant. | Valor \$ |
|--|---|--------------|----------|
| 1. EQUIPOS | | | |
| 1 | Panel de alimentadores | 5 | 180000 |
| 2 | Panel de Entrada de Transformador | 1 | 40000 |
| 3 | Panel de Servicio Auxiliares | 1 | 15000 |
| 4 | Baterías y Cargador | 1 | 20000 |
| | | TOTAL | 255000 |
| 2. MATERIALES | | | |
| 5 | Pórtico de hierro 69 kV. | 1 | 6000 |
| 6 | Malla de puesta a tierra | 1 | 6100 |
| 7 | Cables de fuerza | Grupo | 5800 |
| 8 | Puntas Terminales 15 kV. Conectores | Grupo | 5500 |
| 9 | Misceláneos | 1 | 1000 |
| | | TOTAL | 24400 |
| 3. MONTAJE ELECTROMECAÁNICO Y PRUEBAS | | | |
| 10 | Montaje Electromecánico y Pruebas | 1 | 20000 |
| 11 | Pruebas | 1 | 10000 |
| 12 | Mano de obra de la malla de puesta a tierra | 1 | 1000 |
| | | TOTAL | 31000 |
| 4. TRANSPORTE Y SEGUROS | | | |
| 13 | GIS - Transformador | 1 | 6000 |
| 14 | Equipos y materiales | | 4000 |
| | | TOTAL | 10000 |
| 5. OBRAS CIVILES | | | |
| 15 | Implantación general y cerramiento perimetral | 1 | 15800 |
| 16 | Sala de control y bases del GIS – Transformador | 1 | 22000 |
| 19 | Vías de acceso y parqueadero (Adoquinado) | 1 | 7800 |
| | | TOTAL | 45600 |

TOTAL DEL PROYECTO (USD) 366000

4.2.3. PROPUESTA DE REFORMAS NORMATIVAS Y COMPENSACIONES AL CONSUMIDOR FINAL

a. PROPUESTA DE REFORMAS

Por facilidad de comprensión para el lector del presente proyecto de titulación, y adicionalmente con fines comparativos, a continuación se muestran los cambios o reformas propuestas, así como la justificación respectiva, dentro del propio texto de la vigente Regulación No. CONELEC 004/01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución;

En el ANEXO D.2 se presenta la propuesta de una nueva Regulación para la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se presenta el desarrollo de conclusiones y recomendaciones del estudio: **“PROPUESTA DE MEJORA EN BASE AL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA DE LOS ALIMENTADORES N° 5 Y 6 DE LA SUBESTACIÓN LASSO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA COTOPAXI S.A. USANDO LA REGULACIÓN DEL CONELEC N° 004/01”**; en lo referente a la Calidad del Producto de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A.

5.1. CONCLUSIONES

Una vez culminado el proyecto, de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- Se analizo la calidad de energía del servicio eléctrico de los Alimentadores N° 5 Y 6 de la Subestación Lasso de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A., en los cuales no existen problemas de voltaje en lo referente a la Regulación del CONELEC ya que las variaciones se encuentran dentro del $\pm 8,0\%$ que es el rango de la Regulación, mientras que en lo referente a perturbaciones de voltaje (armónicos, flickers, factor de potencia, sobre voltajes) posee mediciones fuera del límite menores al 5% del total de mediciones y el factor de potencia es mayor al 0.92.
- Se compilo la información utilizando un analizador de energía con el cual se realizo el levantamiento de la información de 7 días consecutivos, con un lapso de 10 minutos entre cada medición, que fue utilizada para analizar el sistema eléctrico de la subestación Lasso, donde se pudo observar que las curvas mas criticas de voltaje alcanzan sus picos mas altos de voltaje, entre las 22h00 y

06h00, horario en el que las actividades de las empresas industriales tienen mas producción.

- Se tomo como referencia para el análisis la Regulación CONELEC 004/01 con la cual se pudo tabular los datos obtenidos del analizador de energía colocado en cada uno de los alimentadores, de la cual observamos que presentan anomalías en los armónicos; ocasionados principalmente en los alimentadores en los cuales alimentan a la empresa Familia Sancela, la cual posee equipos de nueva tecnología como son: variadores de velocidad, PLC's, y un gran número de luminarias, debido a que son cargas no lineales y por lo tanto generan armónicos que afectan a todo el sistema eléctrico del alimentador que están conectados.
- Se determino el estado de los alimentadores estudiados, llegando a la conclusión de que el problema de desbalance de carga que mantienen las empresas son las causantes que no cumplan con lo establecido en la Regulación, ya que están en un continuo incremento de maquinaria que generalmente no son planificadas, que en su mayoría son monofásicas o bifásicas, afectando a la calidad de energía del alimentador y perdidas económicas a la empresa distribuidora de energía eléctrica.
- Luego de haber tabulados los datos y realizando estudios estadísticos de cada una de las variables se llega a la conclusión de que los equipos de última generación como equipos que cuentan con controles electrónicos son los mayores productores de perturbaciones en los sistemas eléctricos, por lo cual es imprescindible que la colocación de analizadores de redes eléctricas para que exista un completo análisis de los disturbios que degradan la calidad de la energía eléctrica de las redes.

5.2. RECOMENDACIONES

- La creación de una normativa, en la cual exista la aplicación de multas para los clientes que no cumplan con los parámetros de calidad de energía de la regulación del CONELEC No.- 004/01 para nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje (armónicos de voltaje, flickers), factor de potencia, como también los plazos en los cuales se debe hacer el análisis de las redes y corrección de los factores que no se cumplan
- Que los tiempos o periodos mínimos entre análisis de energía sean de por lo menos de seis meses a fin de acondicionar sus instalaciones para evitar penalizaciones y mejorar la vida útil de sus equipos.
- Que se determine la mejor manera en la cual el CONELEC como ente Regulador pueda aportar a la capacitación del personal hacia las empresas distribuidoras, en los aspectos de captación, entrega de informaciones, de soluciones adecuadas y oportunas de los variados problemas técnicos, que en el llenado de formularios detectan.
- Que todas las instituciones deben respetar y mantener funcionando sus equipos dentro de los parámetros normalizados por el CONELEC, en tal razón se debe crear un departamento o sección dentro de la ELEPCO S.A., la cual estará encargada de regular y controlar el cumplimiento de las normativas y regulaciones para la Calidad de energía, cuya actividad estará destinada a realizar labores íntegras de medición, análisis, emisión de resultados y corrección de los valores.
- Que las empresas distribuidoras, deben adquirir nuevos equipos de monitoreo de la calidad de la energía eléctrica para realizar análisis permanentes y de esta manera monitorear las diferentes redes de distribución del sistema eléctrico de la provincia de Cotopaxi.

- Realizar una restructuración de los circuitos de los alimentadores en la zona industrial, diferenciando las zonas industriales, con las zonas urbanas, de manera particular en las áreas que se encuentran en expansión como es los alrededores de la subestación Lasso.
- Efectuar proyectos de nuevas subestaciones, como la que se encuentra descrita en el capítulo 4 del análisis técnico económico, referentes a la construcción de una subestación para la Empresa Familia Sancela.
- Que en la actualidad se ha dado mucha importancia en el análisis de la calidad de energía, se deberían profundizar en la investigación para encontrar nuevas soluciones para el control de perturbaciones en la red; temas que se podrían aprovechar para nuevas tesis de grado.

ANEXOS

ANEXO A

“S/E LASSO”

ANEXO A.1

“GRANDES CONSUMIDORES”

ANEXO A.2

**“DIAGRAMA UNIFILAR DE
ELEPCO S.A.”**

ANEXO A.3

“DETALLE DE LAS S/E ELEPCO S.

A.”

ANEXO A.4

“ALIMENTADORES S/E LASSO”

ANEXO A.5

“DIAGRAMA UNIFILAR S/E LASSO”

ANEXO B

“NORMAS Y REGULACIONES”

ANEXO B.1

**“REGULACIÓN No. CONELEC
004/01”**

ANEXO C

**“ANÁLISIS DE DATOS Y
CARACTERÍSTICAS DE LA S/E
LASSO”**

ANEXO C.1

**“CARACTERÍSTICAS DEL
TRANSFORMADOR S/E LASSO”**

ANEXO C.2

“UNIFILARES S/E LASSO”

(CELDA SECCIONAMIENTO, ALIMENTADORES)

ANEXO C.3

**“CARACTERÍSTICAS ANALIZADOR
DE ENERGÍA FLUKE 1744 Y SONDA
AMPERFLEX”**

ANEXO C.4

“DATOS BARRA S/E LASSO”

ANEXO C.5

**“GRAFICAS DE VOLTAJES BARRA
S/E LASSO”**

ANEXO C.6

**“INFORME DEL ANALIZADOR DE LA
BARRA S/E LASSO”**

ANEXO C.7

**“DATOS ALIMENTADOR No. 5 S/E
LASSO (ACOSA)”**

ANEXO C.8

**“GRAFICAS DE VOLTAJES
ALIMENTADOR No. 5 S/E LASSO
(ACOSA)”**

ANEXO C.9

**“INFORME DEL ANALIZADOR DEL
ALIMENTADOR No. 5 S/E LASSO
(ACOSA)”**

ANEXO C.10

**“DATOS ALIMENTADOR No. 6 S/E
LASSO (FAMILIA SANCELA)”**

ANEXO C.11

**“GRAFICAS DE VOLTAJES
ALIMENTADOR No. 6 S/E LASSO
(FAMILIA SANCELA)”**

ANEXO C.12

**“INFORME DEL ANALIZADOR DEL
ALIMENTADOR No.6 S/E LASSO
(FAMILIA SANCELA)”**

ANEXO D

“PROPUESTAS DE SOLUCIÓN”

ANEXO D.1

**“CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO
ACTIVO, PARA ELIMINACIÓN DE
ARMÓNICOS Y MEJORAMIENTO DE
FACTOR DE POTENCIA”**

ANEXO D.2

“PROPUESTA DE REGULACIÓN”

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **ENRÍQUEZ HARPER** Gilberto, Elementaos de Diseño de subestaciones Eléctricas, 1ra edición, Limusa S. A., México, 1983.
- [2] **RAÚL MARTÍN** Juan, Diseño de Subestaciones Eléctricas, Mc Graw-Hill, México, 1987.
- [3] **HARPER ENRÍQUEZ** Gilberto, El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica, 1ra edición, Limusa S. A., México, 2003.
- [4] **TORRES** Horacio, Energía Eléctrica un producto con calidad, 2da edición, Icontec, Bogotá, 1985.
- [5] **J. GOÑI** Miguel, Biblioteca Básica de Electrónica – Diccionario de términos, tomo 14, 1ra edición, Publicidad y Ediciones S. A., Chile, 1986.
- [6] **J. GOÑI** Miguel, Biblioteca Básica de Electrónica – Instrumentos de Medida, tomo 8, 1ra edición, Publicidad y Ediciones S. A., Chile, 1986.
- [7] **WILDI** Theodore, Electric Power Transmission System, 1ra edición, Buck Engineering Co, Quebec Canadá, 1974.
- [8] **BELVER** Inmaculada Zamora & **STADIER** Valentín Macho, “Distorsión Armónica producida por Convertidores Estáticos”, 1ra Edición, España, 2005.
- [9] **EDMINISTER** Joseph, “Circuitos Eléctricos”, 1ra Edición, Colombia, 1970.
- [10] **BOYLESTAD** Robert L., “Introducción al Análisis de Circuitos”, Décima Edición, 2004.
- [11] **FLOY** Thomas, “Principios de Circuitos Eléctricos”, Octava Edición, 2007.
- [12] **WILDI** Theodore, “Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia”, 6ta Edición, México, 2007.

- [13] **GRADY M. & GILLESKIE R.**, “Harmonics and How They Relate to Power Factor Proc. of the EPRI Power Quality Issues & Opportunities Conference (PQA’93)”, San Diego, 1993.
- [14] **MOHAN N.**, “Power Electronics: converter, applications and design”, Editorial John Wiley & Sons. Inc., United States, 1995.
- [15] Regulación CONELEC N°-004/01 Calidad de Servicio eléctrico de distribución. Resolución N° 0116/01, 23 mayo 2001.
- [16] **AYSEN** Arsoy, **MARK** Halpin, **YILU** Liu; Modeling and Simulation of Power System Harmonics, CD room 1999.
- [17] **DONAL G.** Fink y H. Wayne Beaty, Manual de Ingeniería Eléctrica, Décima Tercera Edición, Tomos I, II, 1993.
- [18] **J. ARRIGALLA**, D. Bradley y P. Bodger, Power System Harmonic, U.K., 1979.
- [19] **BALCELLS** Josep, Calidad De la red eléctrica: ¿Cómo medirla?, Departament d’Enginyeria Electrónica UPC, Sección Terrassa. Montevideo Uruguay, 2003.
- [20] **SHAUNGHNESSY** Tom, Factor de Potencia, Armónicos y Filtros Armónicos, Revista Power Quality. Junio 1999.
- [21] **LOWENSTEIN** Michael Z., Harmonic current and voltage distortion, Newspaper PQ CORNER, EC&M, November 2002.
- [22] López Bautista, Eder Santiago. Proyecto de Titulación “Análisis de la Calidad del Transporte de Potencia”. Quito: EPN. 2007.
- [23] Álvarez Cisneros, Edgar Bladimir. Proyecto de Titulación “Determinación de Señales Armónicas de corriente y voltaje en la Industria”. Latacunga: ESPE – L. 2005.
- [24] CONELEC. Sistematización de Datos del Sector Eléctrico. [Online] <http://sisdat.conelec.gov.ec>.
- [25] CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD. CONELEC. [Online] [Cita: marzo 23, 2011] www.conelec.gov.ec.
- [26] International Electrotechnical Commission – IEC. IEC. [Online] [Cita: abril 26, 2011] www.iec.ch.

- [27]** European Committee for Standardization – CEN. CEN. [Online] [Cita: junio 06, 2011] www.cenom.be.
- [28]** International Conference of Large Electric Networks – CIGRE. CIGRE. [Online] [Cita: junio 16, 2011] www.cigre.org.
- [29]** Comité Europea de Normalización Electrotechnique – CENELEC. CENELEC. [Online] [Cita: marzo 23, 2011] www.cenelec.be.
- [30]** Comisión Panamericana de Normas Técnicas – COPANT. COPANT. [Online] [Cita: marzo 23, 2011] www.copant.org.
- [31]** Ley de Régimen del Sector Eléctrico. Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad. Quito: Corporación de Estudios y Publicaciones. 1996 (reforma 2005).
- [32]** CONELEC. Regulación No. CONELEC 004/01. Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución. Quito: s.n. 2001.

Latacunga, Julio del 2012

El presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por:

DIEGO JACINTO TERÁN ESPINOSA

APROBADO POR:

**ING. WILSON SÁNCHEZ O.
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO POR:

**DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADÉMICO**