



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y**  
**APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS**  
**DE POTENCIA**

**TESIS DE GRADO**

**TEMA:**

**“PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DE DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO S.A”**

Tesis de grado previo a la obtención del título de  
Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

**Autor:**

Sunta Miranda Javier Iván

**Director de Tesis:**

Ing. Msc. Marcelo Barrera

**Asesor Técnico**

Dr. Galo Terán

**Latacunga – Ecuador**

**Noviembre 2014**





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS  
COORDINACIÓN DE TRABAJO DE GRADO



**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante:

- Sunta Miranda Javier Iván

Con la tesis, cuyo título es: **“PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DE DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO S.A”**.

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de Noviembre 2014

Para constancia firman:

  
Ing. Diana Marín  
**PRESIDENTE**

  
Ing. Xavier A. Proaño M. Mg. c  
**MIEMBRO**

  
Ing. Héctor Barrera Msc.  
**OPOSITOR**

  
Ing. Marcelo Barrera Msc.  
**TUTOR (DIRECTOR)**



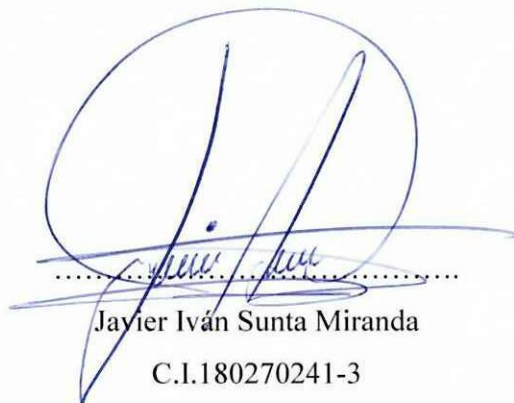
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**  
**Latacunga – Cotopaxi – Ecuador**

---

## AUTORÍA

Sunta Miranda Javier Iván, declaro que el presente trabajo de investigación es original, además no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autores vigentes.

Latacunga, 20 de Noviembre del 2014



Javier Iván Sunta Miranda  
C.I.180270241-3

## AVAL DEL DIRECTOR

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el Reglamento del Curso Profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Capítulo V, (Art. 9 literal f ), me permito informar que el postulante Sr. Sunta Miranda Javier Iván portador de la cedula de ciudadanía N°1802702413, ha desarrollado su Tesis de Grado de acuerdo al planteamiento formulado en el Anteproyecto de Tesis con el tema: **“PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DE DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO S.A”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo expuesto, considero que la presente Tesis de Grado cumple con los requerimientos Metodológicos y aportes Científicos – Técnicos suficientes para ser sometida a la evaluación del Tribunal de Grado.

Latacunga, 20 Noviembre del 2014



Ing. Msc. Eléc. Marcelo Barrera

**C.C. # 1801848779**

**DIRECTOR DE TESIS**

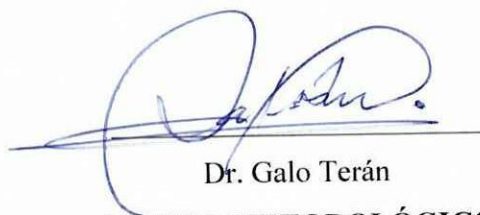
## AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO

Latacunga, 20 de Noviembre de 2014

En calidad de asesor metodológico del presente trabajo de grado realizado por el señor Sunta Miranda Javier Iván con cédula de identidad N° 180270241-3, alumno egresado de Ingeniería Eléctrica con el tema de tesis: “**PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DE DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO S.A**”, ha cumplido con lo establecido llevando en orden la estructura tentativa de la tesis de grado y las normas correspondiente para su correcto desarrollo.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a le verdad, facultando al interesado, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Atentamente:



Dr. Galo Terán

**ASESOR METODOLÓGICO**



## CERTIFICACION

En calidad de Jefe de Sección del área de Electrificación Urbana del Departamento de Diseño y Construcción perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., a petición verbal del interesado certifico que:

El Sr. Sunta Miranda Javier Iván, portador de la cedula de ciudadanía N°1802702413, realizó la Tesis de Grado con el tema:

**“PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A”**, bajo la supervisión de esta Sección, siguiendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos por la E.E.A.S.A.

Es todo cuanto puedo CERTIFICAR en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Ambato, 20 de Noviembre 2014

Atentamente,

Ing. Msc. Marcelo Barrera

C.I. 1801848779



**JEFE DE SECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN URBANA**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis primeramente a Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mi Esposa Rosario Armendáriz, por la paciencia y comprensión, preferiste sacrificar tu tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío. Por su bondad y sacrificio me inspiraste a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

A mis dos hijas Erika Salome y Renata Valentina, que son la razón de mi vida el tesoro más grande que Dios me regaló y el motivo de mí existir.

**Javier Sunta Miranda**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, a mi esposa e hijas que gracias a la comprensión y al apoyo incondicional e logrado culminar una etapa más de mi vida.

A la Universidad Técnica del Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, en especial a la Facultad de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia y sus distinguidos catedráticos y compañeros de estudio.

Especial reconocimiento y agradecimiento al Ing. Marcelo Barrera Director de Tesis por sus sabios conocimientos, su don de gente, por su mística profesional y sobre todo por su inestimable apoyo y confianza depositada en mi persona. Al Ing. Washington Defaz por su incomparable ayuda, colaboración y orientación al presente trabajo.

**Javier Sunta Miranda**

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
PORTADA.....	i
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AUTORIA.....	iii
AVAL DEL DIRECTOR.....	iv
AVAL ASESOR METODOLOGICO.....	v
CERTIFICACION DE LA EMPRESA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
INDICE GENERAL.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE GRAFICOS.....	xviii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
AVAL DE TRADUCCION.....	xxvi
INTRODUCCION.....	xxv

## INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.2. Delimitación espacial y temporal.....	2
1.2.1 Alimentador Ficoa periodo 2013 – 2014.....	2
1.3 El problema de las armónicas en sistemas eléctricos y sus efectos.....	2
1.3.1 El origen del problema de las armónicas.....	2
1.4 Armónicos.....	4
1.4.1 Análisis sobre los Armónicos.....	6
1.4.2. Principales fuentes emisoras de corrientes armónicas.....	7
1.4.3 Efectos de los Armónicos.....	8
1.4.3.1 Transformadores.....	9
1.4.3.2 Sobrecorriente en el Neutro.....	9
1.4.3.3 Motores y Generadores.....	10
1.4.3.4 Capacitores.....	10
1.4.3.5 Equipos de medición.....	10

1.4.3.6 Cables de potencia.....	10
1.4.3.7 Equipos electrónicos .....	11
1.5 Aspectos de Calidad de Energía.....	12
1.5.1 Tres Perspectivas de la Calidad de la Calidad de la Energía .....	12
1.6 Calidad del Producto.....	12
1.6.1 Nivel de Voltaje .....	13
1.6.1.1 Índice de Calidad.....	13
1.6.1.2 Mediciones .....	13
1.6.1.3 Límites .....	14
1.7 Descripción de las perturbaciones.....	15
1.7.1 Incrementos breves de voltaje (swells ) .....	15
1.7.2 Variaciones lentas y rápidas de voltaje. ....	15
1.7.3 Huecos y Cortes de tensión .....	16
1.7.3.1 Huecos de tensión.....	16
1.7.4 Ruido Eléctrico.....	18
1.7.5 Interrupciones de energía .....	18
1.7.6 Parpadeo (Flicker).....	19
1.7.6.1 Índice de Calidad.....	19
1.7.6.2 Mediciones .....	19
1.7.6.3 Límites .....	20
1.7.7 Armónicos .....	20
1.7.7.1 Índices de Calidad.....	20
1.7.7.2 Mediciones .....	21
1.7.7.3 Límites .....	22
1.7.8 Efecto armónico. ....	23
1.7.9 Distorsión armónica .....	24
1.7.9.1. Distorsión armónica total .....	24
1.7.9.2. Distorsión total de demanda.....	25
1.7.10 Parpadeo (flicker).....	25
1.7.11 Factor de Potencia .....	26
1.7.11.1 Índice de Calidad.....	26
1.7.11.2 Medición .....	26
1.7.11.3 Límite .....	26
1.7.11.4 El factor de Potencia .....	26
1.8 Norma IEEE-519 armónicos de corriente.....	28
1.8.1. Antecedentes .....	28
1.8.2. Máximos niveles de distorsión.....	28
1.9 Técnicas para la mitigación de armónicas .....	29
1.9.1. Alternativas para reducir la aportación de corrientes armónica.....	30
1.9.1.2 Sobredimensionamiento del neutro.....	31
1.9.1.3. Conexiones especiales en los transformadores .....	31
1.9.1.4 Filtros de Armónicas.....	32

1.9.2.1 Filtros pasivos .....	33
1.9.2.2. Filtros activos .....	36
1.9.2.3 Filtros híbridos (filtros pasivos y activos).....	37
CAPÍTULO II .....	38
2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	38
2.1 Aspectos Generales de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.....	38
2.1.1. Antecedentes.....	38
2.1.2 Filosofía Institucional.....	38
2.1.3 Misión .....	39
2.1.4 Visión .....	39
2.1.5 Principio Fundamental .....	39
2.2 Diseño metodológico .....	41
2.2.1 Método de investigación. ....	41
2.2.1.1 Método inductivo. ....	41
2.2.1.2 Método Analítico.....	41
2.2.2 Tipos de investigación.....	41
2.2.2.1 De Campo.....	42
2.2.2.2 Observación.....	42
2.3 Calculo de población y muestra. ....	42
2.3.1 Población.....	42
2.3.2 Muestra.....	43
2.3.2.1 Transformadores de la zona comercial.....	44
2.3.2.2 Transformadores de la zona residencial .....	45
2.4 Operacionalización de las variables .....	46
2.4.1 Contenido Armónico .....	46
2.4.2 Calidad de Energía .....	47
2.5 Software y equipos utilizados .....	48
2.5.1 Equipo de medición .....	48
2.5.2 Analizador de calidad de energía trifásico .....	48
2.6 Adquisición de datos.....	49
2.6.1 Creación de la base de datos .....	49
2.7 Descripción del software CYMDIS .....	50
2.7.1 Descripción del módulo CYMHARMO .....	52
2.8 Análisis de Armónicos.....	53
2.8.1 Armónicos de voltaje del transformador No 2111.....	53
2.8.2 Armónicos de corriente del transformador No 2111.....	55
2.8.3 Armónicos de voltaje del transformador No 1524.....	57
2.8.4 Armónicos de corriente del transformador No 1524.....	59
2.8.5 Armónicos de voltaje del transformador No 2077.....	60
2.8.6 Armónicos de corriente del transformador No 2077.....	62
2.8.7 Armónicos de voltaje del transformador No 2116.....	64

2.8.8 Armónicos de corriente del transformador No 2116.....	66
2.8.9 Armónicos de voltaje del transformador No 3505.....	68
2.8.10. Armónicos de corriente del transformador No 3505.....	70
2.8.11 Armónicos de voltaje del transformador No 2907.....	72
2.8.12 Armónicos de corriente del transformador No 2907.....	74
2.8.13 Armónicos de voltaje del transformador No 5577.....	76
2.8.14 Armónicos de corriente del transformador No 5577.....	78
2.8.15 Armónicos de voltaje del transformador No 6699.....	80
2.8.16 Armónicos de corriente del transformador No 6699.....	82
2.8.17 Armónicos de voltaje del transformador No 2072.....	84
2.8.18 Armónicos de corriente del transformador No 2072.....	86
2.8.19 Armónicos de voltaje del transformador No 2073.....	88
2.8.20 Armónicos de corriente del transformador No 2073.....	90
2.8.21 Armónicos de voltaje del transformador No 2127.....	92
2.8.22 Armónicos de corriente del transformador No 2127.....	94
2.8.23 Armónicos de voltaje del transformador No 4361.....	96
2.8.24 Armónicos de corriente del transformador No 4361.....	98
2.8.25 Armónicos de voltaje del transformado No 2056.....	100
2.8.26 Armónicos de corriente del transformador No 2056.....	102
2.8.27 Armónicos de voltaje del transformador No 6629.....	104
2.8.28 Armónicos de corriente del transformador No 6629.....	106
2.8.29 Armónicos de voltaje del transformador No 620.....	108
2.8.30 Armónicos de corriente del transformador No 620.....	110
2.8.31 Armónicos de voltaje del transformador No 897.....	112
2.8.32 Armónicos de corriente del transformador No 897.....	114
2.8.33 Armónicos de voltaje del transformador No 9117.....	116
2.8.34 Armónicos de corriente del transformador No 9117.....	118
2.8.35 Armónicos de voltaje del transformador No 6749.....	120
2.8.36 Armónicos de corriente en el transformador No 6749.....	122
2.8.37 Armónicos de voltaje del transformador No 1344.....	124
2.8.38 Armónicos de corriente en el transformador No 1344.....	126
2.8.39 Armónicos de voltaje del transformador No 2060.....	128
2.8.40 Armónicos de corriente del transformador No 2060.....	130
2.8.41 Armónicos de voltaje del transformador No 8676.....	132
2.8.42 Armónicos de corriente del transformador No 8676.....	134
2.8.43 Armónicos de voltaje del transformador No 1120.....	136
2.8.44 Armónicos de corriente del transformador No 1120.....	138
2.8.45 Armónicos de voltaje del transformador No 1247.....	140
2.8.46 Armónicos de corriente del transformador No 1247.....	142
2.8.47 Armónicos de voltaje del transformador No 6455.....	144
2.8.48 Armónicos de corriente del transformador No 6455.....	146
2.8.49 Armónicos de voltaje del transformador No 1341.....	148

2.8.50 Armónicos de corriente del transformador No 1341.....	150
2.9 Verificación de la hipótesis.....	152
CAPITULO III.....	154
3. PROPUESTA .....	154
3.1 Desarrollo de la propuesta.....	154
3.2 Presentación.....	154
3.3 Justificación de la Propuesta.....	155
3.4. Objetivos.....	156
3.4.1 General.....	156
3.4.2. Específicos .....	156
3.5. Descripción del Alimentador Ficoa que brinda servicio al sector noroeste de la ciudad de Ambato .....	157
3.5.1 Subestación Atocha.....	157
3.5.1.1 Descripción del alimentador Ficoa.....	158
3.6. Factibilidad de aplicación de la propuesta.....	158
3.6.1 Justificación de la propuesta para la mitigación de la incidencia de contenido armónico.....	161
3.7 Propuesta de análisis de Armónicos en las redes de distribución del Alimentador Ficoa.....	162
3.7.1 Consideraciones generales .....	166
3.8 Simulación de Transformadores con armónicos de voltaje .....	167
3.9 Análisis de los transformadores con armónicos de corriente .....	167
3.9.1 Transformador No 2111 .....	168
3.10 Diseño del filtro pasivo sintonizado serie RLC .....	170
3.11 Calculo de un filtro activo del transformador No. 2111 .....	176
3.11.1 Resultado de la simulación del transformador No. 2111 .....	178
3.12 Transformador No 2056.....	182
3.12.1 Calculo de un filtro activo para el transformador No 2056 .....	183
3.12.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 2056 .....	185
3.13 Transformador No 1120.....	187
3.13.1 Calculo de un filtro activo del transformador No. 1120 .....	189
3.13.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 1120 .....	190
3.14 Transformador No 2073.....	193
3.14.1 Calculo de un filtro activo del transformador No. 2073 .....	194
3.14.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 2073 .....	196
3.15 Transformador No 1341 .....	198
3.15.1 Calculo de un filtro activo del transformador No. 1341 .....	200
3.15.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 1341 .....	201
3.16 Análisis económico. ....	203
3.16.1 cálculos de costo por corrección de factor de potencia.....	204
3.16.2 Calculo económico por amónicas en la red.....	204
CONCLUSIONES .....	206

RECOMENDACIONES .....	209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	210
Bibliografía Citada .....	210
Bibliografías consultadas .....	211
Bibliografía electrónica.....	211
ANEXOS .....	212

### INDICE DE TABLAS

<b>TABLA No 1.1</b> COORDENADAS DE FICOA (AMBATO – ECUADOR.....	2
<b>TABLA No 1.2</b> LIMITES DE VARIACION DE VOLTAJE.....	14
<b>TABLA No 1.3</b> VALORES DE LOS ARMONICOS INDIVIDUALES ( $V_i'$ ) Y LOS THD .....	22
<b>TABLA No 1.4</b> LÍMITES PARA CONTENIDO ARMÓNICO DE CORRIENTE (IEEE 519).....	29
<b>TABLA No 2.1</b> USUARIOS TIPO COMERCIAL PUNTOS DE MEDICIÓN .....	44
<b>TABLA No 2.2</b> USUARIOS TIPO RESIDENCIAL PUNTOS DE MEDICIÓN .....	45
<b>TABLA No 2.3</b> PERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE ..	46
<b>TABLA No 2.4</b> OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE .....	47
<b>TABLA No 2.5</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR NO 2111.....	53
<b>TABLA No 2.6</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADO No. 2111.....	55
<b>TABLA No 2.7.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR NO 1524.....	57
<b>TABLA No 2.8.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1524.....	59
<b>TABLA No 2.9.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 2077.....	61
<b>TABLA No 2.10.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR DEL TRANSFORMADOR No. 2077.....	63
<b>TABLA No 2.11.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2116.....	65
<b>TABLA No 2.12.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2116.....	67
<b>TABLA No 2.13.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 3505.....	69
<b>TABLA No 2.14.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 3505.....	71
<b>TABLA No 2.15.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 2907.....	73

<b>TABLA No 2.16</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2907.....	75
<b>TABLA No 2.17.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 5577.....	77
<b>TABLA No 2.18.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 5577.....	79
<b>TABLA No 2.19.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6699.....	81
<b>TABLA No 2.20</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6699.....	83
<b>TABLA No 2.21.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2072.....	85
<b>TABLA No 2.22.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE.....	87
<b>TABLA No 2.23.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR NO 2073.....	89
<b>TABLA No 2.24</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2073.....	91
<b>TABLA No 2.25.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2127.....	93
<b>TABLA No 2.26.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2127.....	95
<b>TABLA No 2.27.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 4361.....	97
<b>TABLA No 2.28.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 4361.....	99
<b>TABLA No 2.29.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2056.....	101
<b>TABLA No 2.30.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2056.....	103
<b>TABLA No 2.31.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6629.....	105
<b>TABLA No 2.32</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6629.....	107
<b>TABLA No 2.33.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 620.....	109
<b>TABLA No 2.34.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 620.....	111
<b>TABLA No 2.35.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 897.....	113
<b>TABLA No 2.36.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE No 897.....	115
<b>TABLA No 2.37.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 9117.....	117
<b>TABLA No 2.38.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 9117.....	119

<b>TABLA No 2.39.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6749.....	121
<b>TABLA No 2.40</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6749.....	123
<b>TABLA No 2.41.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1344.....	125
<b>TABLA No 2.42.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1344.....	127
<b>TABLA No 2.43.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2060.....	129
<b>TABLA No 2.44</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR NO 2060.....	131
<b>TABLA No 2.45.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 8676.....	133
<b>TABLA No 2.46.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 8676.....	135
<b>TABLA No 2.47.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1120.....	137
<b>TABLA No 2.48.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1120.....	139
<b>TABLA No 2.49.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1247.....	141
<b>TABLA No 2.50.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1247.....	143
<b>TABLA No 2.51.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6455.....	145
<b>TABLA No 2.52.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6455.....	147
<b>TABLA No 2.53.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1341.....	149
<b>TABLA No 2.54.</b> MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1341.....	151
<b>TABLA No. 3.1</b> ALIMENTADORES DE LAS SUBESTACIÓN ATOCHA .....	157
<b>TABLA No 3.2</b> DATOS DE CARGA .....	163
<b>TABLA No. 3.3</b> TRANSFORMADORES CON ÍNDICES ARMÓNICOS DE CORRIENTE .....	167
<b>TABLA No. 3.4</b> DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR NO. 2111.....	168
<b>TABLA No. 3.5</b> DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR NO. 2111.....	170
<b>TABLA No. 3.6.</b> FILTRO PASIVO SINTONIZADO DEL TRANSFORMADOR No.2111.....	176
<b>TABLA No. 3.7</b> DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOSDEL TRANSFORMADOR No. 2111.....	176
<b>TABLA No 3.8</b> FILTROS ACTIVOS COMERCIALES .....	178
<b>TABLA No. 3.9</b> DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR NO. 2111 .....	180

<b>TABLA No. 3.10</b> DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 2056.....	182
<b>TABLA No. 3.11</b> DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 2056.....	183
<b>TABLA No. 3.12.</b> FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.2056.....	183
<b>TABLA No. 3.13</b> DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 2056.....	183
<b>TABLA No. 3.14</b> DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADORE No. 2056.....	185
<b>TABLA No. 3.15</b> DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1120.....	187
<b>TABLA No. 3.16</b> DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 1120.....	188
<b>TABLA No. 3.17</b> FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.1120.....	189
<b>TABLA No 3.18</b> DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 1120.....	189
<b>TABLA No. 3.19</b> DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No. 1120.....	190
<b>TABLA No. 3.20</b> DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 2073.....	193
<b>TABLA No.3.21</b> DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 2073.....	193
<b>TABLA No. 3.22.</b> FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.2073.....	194
<b>TABLA No. 3.23</b> DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS.....	194
<b>TABLA No. 3.24</b> DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No.2073.....	196
<b>TABLA No. 3.25</b> DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1341.....	198
<b>TABLA No. 3.26</b> DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 1341.....	199
<b>TABLA No. 3.27.</b> FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No. 1341.....	199
<b>TABLA No. 3.28</b> DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS.....	200
<b>TABLA No. 3.29</b> DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No. 1341.....	201
<b>TABLA No. 3.30</b> BENÉFICO ECONÓMICO CÁLCULO DE CAPACITOR.....	204
<b>TABLA No. 3.31</b> DATOS DE ARMÓNICOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO	204
<b>TABLA No. 3.32</b> CALCULO PARA EL TRANSFORMADOR NO. 2111.....	205
<b>TABLA No. 3.33</b> ANALISI ECONÓMICAS POR ARMÓNICAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	206
<b>TABLA No. 3.34</b> ANALISIS ECONÓMICAS POR ARMÓNICAS UTILIZANDO FILTRO PASIVO SINTONIZADO.....	206
<b>TABLA No. 3.35</b> ANALISIS ECONÓMICO POR ARMÓNICAS UTILIZANDO FILTRO ACTIVO.....	206

## INDICE DE GRAFICOS

<b>GRAFICO No 1.1</b> ESQUEMA BÁSICO DE DISTORSIÓN DE VOLTAJE .....	3
<b>GRAFICO No 1.2</b> DESCOMPOSICIÓN DE UNA ONDA DISTORSIONADA .....	4
<b>GRAFICO No 1.3</b> FORMA DE ONDA IDEAL Y FORMA DE ONDA DISTORSIONADA .....	7
<b>GRAFICO No 1.4</b> DIFERENTES SISTEMAS AFECTADOS POR LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS.....	11
<b>GRAFICO No 1.5</b> SEÑAL DE UN INCREMENTO DE TENSIÓN (SWELLS) .....	15
<b>GRAFICO No 1.6</b> VARIACIÓN RÁPIDA DE VOLTAJE.....	16
<b>GRAFICO No 1.7</b> GRAFICO DE UN HUECO DE TENSIÓN .....	17
<b>GRAFICO No 1.8</b> RUIDO ELÉCTRICO .....	18
<b>GRAFICO No 1.9</b> CORTE LARGO DE VOLTAJE .....	19
<b>GRAFICO No 1.10</b> FORMA DE ONDA DE VOLTAJE CON GRAN DISTORSIÓN ARMÓNICA.....	24
<b>GRAFICO No 1.11</b> PARPADEO (FLICKERS) .....	26
<b>GRAFICO No 1.12</b> DESPLAZAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA .....	27
<b>GRAFICO No 1.13</b> FILTRO PASIVOS SHUNT .....	34
<b>GRAFICO No 1.14</b> FILTRO PASIVO EN SERIE .....	35
<b>GRAFICO No 1.15</b> FILTRO PASIVO EN PARALELO .....	36
<b>GRAFICO No 1.16</b> FILTRO ACTIVO.....	36
<b>GRAFICO No 2.1</b> SISTEMA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A .....	40
<b>GRAFICO No 2.2</b> ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA TRIFÁSICO POWERPAD® MODELO 3945-B .....	49
<b>GRAFICO No 2.3</b> BASE DE DATOS, EXTRACTO DE LA HOJA DE CÁLCULO DE MEDICIONES REALIZADAS.....	50
<b>GRAFICO No 2.4</b> SOFTWARE CYMDIST .....	51
<b>GRAFICO No 2.5</b> MODELO GENERADOR DE ARMÓNICOS .....	52
<b>GRAFICO No 2.6</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No. 2111 .....	54
<b>GRAFICO No 2.7</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 2111 .....	56
<b>GRAFICO No 2.8</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 1524 .....	58
<b>GRAFICO No 2.9</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1524 .....	60
<b>GRAFICO No 2.10</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2077 .....	62
<b>GRAFICO No 2.11</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2077 .....	64
<b>GRAFICO No 2.12</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2116.....	66
<b>GRAFICO No 2.13</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2116.....	68

<b>GRAFICO No 2.14</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 3505.....	70
<b>GRAFICO No 2.15</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 3505.....	72
<b>GRAFICO No 2.16</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2907.....	74
<b>GRAFICO No 2.17</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2907.....	76
<b>GRAFICO No 2.18</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 5577.....	78
<b>GRAFICO No 2.19</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 5577.....	80
<b>GRAFICO No 2.20</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6699.....	82
<b>GRAFICO No 2.21</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6699.....	84
<b>GRAFICO No 2.22</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 2072.....	86
<b>GRAFICO No 2.23</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2072.....	88
<b>GRAFICO No 2.24</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2073.....	90
<b>GRAFICO No 2.25</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2073.....	92
<b>GRAFICO No 2.26</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2127.....	94
<b>GRAFICO No 2.27</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2127.....	96
<b>GRAFICO No 2.28</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 4361.....	98
<b>GRAFICO No 2.29</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 4361.....	100
<b>GRAFICO No 2.30</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2056.....	102
<b>GRAFICO No 2.31</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2056.....	104
<b>GRAFICO No 2.32</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6629.....	106
<b>GRAFICO No 2.33</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6629.....	107
<b>GRAFICO No 2.34</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 620.....	110
<b>GRAFICO No 2.35</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 620.....	112
<b>GRAFICO No 2.36</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 897.....	114

<b>GRAFICO No 2.37</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 897 .....	116
<b>GRAFICO No 2.38</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 9117 .....	118
<b>GRAFICO No 2.39</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 9117 .....	120
<b>GRAFICO No 2.40</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6749 .....	122
<b>GRAFICO No 2.41</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6749 .....	124
<b>GRAFICO No 2.42</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1344 .....	126
<b>GRAFICO No 2.43</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1344 .....	128
<b>GRAFICO No 2.44</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2060 .....	130
<b>GRAFICO No 2.45</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2060 .....	132
<b>GRAFICO No 2.46</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 8676 .....	134
<b>GRAFICO No 2.47</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 8676 .....	136
<b>GRAFICO No 2.48</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1120 .....	138
<b>GRAFICO No 2.49</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1120 .....	140
<b>GRAFICO No 2.50</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1247 .....	142
<b>GRAFICO No 2.51</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1247 .....	144
<b>GRAFICO No 2.52</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6455 .....	146
<b>GRAFICO No 2.53</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6455 .....	148
<b>GRAFICO No 2.54</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1341 .....	150
<b>GRAFICO No 2.55</b> MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1341 .....	152
<b>GRAFICO No. 3.1</b> INGRESO DE FILTRO ARMONICO.....	179
<b>GRAFICO No. 3.2</b> INGRESO DE FILTRO .....	179
<b>GRAFICO No. 3.3</b> ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2111 .....	180
<b>GRAFICO No. 3.4</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 2111 .....	181
<b>GRAFICO No. 3.5</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR No. 2111 .....	181

<b>GRAFICO No. 3.6</b> ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2056 .....	186
<b>GRAFICO No. 3.7</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 2056 .....	186
<b>GRAFICO No. 3.8</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR No. 2056 .....	187
<b>GRAFICO No. 3.9</b> ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 1120 .....	191
<b>GRAFICO No. 3.10</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 1120 .....	192
<b>GRAFICO No. 3.11</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR No. 1120 .....	192
<b>GRAFICO No. 3.12</b> ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2073 .....	197
<b>GRAFICO No. 3.13</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 2073 .....	197
<b>GRAFICO No. 3.14</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR NO. 2073 .....	198
<b>GRAFICO No. 3.15</b> ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 1341 .....	202
<b>GRAFICO No. 3.16</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR NO. 1341 .....	202
<b>GRAFICO No. 3.17</b> ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR NO. 1341 .....	203

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realiza con el propósito de analizar la incidencia de contenido armónico en los transformadores que dan servicio a los usuarios comerciales y residenciales, como caso de estudio se tomó el alimentador FICOA de la S/E Atocha perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte SA, con el objetivo de analizar la incidencia de contenido armónico, los mismos que permitan mejorar la calidad de energía, cumpliendo con las normas y resoluciones del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Se encontraron los resultados de las encuestas realizadas al personal del departamento de diseño y construcción en lo que respecta a las diferentes perturbaciones en la red eléctrica de distribución llegando a la conclusión que la distorsión armónica de corriente y voltaje afectan con interferencias en sistemas telefónicos, capacidades de manejo de corriente sobre los conductores, coordinación de protecciones, rendimiento de los transformadores que alimentan los sistemas de distribución y transmisión, así como los sistemas de generación, entre otros aspectos. Para el análisis de armónicos se utilizaron equipos de última generación como analizadores de redes eléctricas, que muestran información completa acerca de estas perturbaciones, además se utilizó el software CYMDIS para el análisis de las cargas lineales y no lineales de la red, los datos obtenidos en la simulación resultaron ser herramientas efectivas para evaluar la incidencia de armónicos en las redes eléctricas de distribución. El conocimiento de perturbaciones y la adecuada elección de la propuesta para el control de armónicos, permitieron optimizar recursos, de tal manera que resulto de mucha utilidad para evaluar el estado actual del alimentador donde se obtuvo índices de armónicos en los parámetros normales de acuerdo a las exigencias de CONELEC.

## ABSTRACT

This research work, carried out with the purpose of analyzing the incidence of harmonic content in the transformers that provide service to users trading them and residential, as case study took the Ficoa feeder of the S/E Atocha, belonging to the company electric Ambato Regional Centro North SA, with the aim of analyzing the incidence of harmonic content, which improve the quality of energy, complying with the standards and resolutions of the National Council of electricity (CONELEC). We found the results of the surveys to the staff of the Department of design and construction in regards to different disruptions in the electrical distribution network reaching the conclusion affecting the harmonic distortion of current and voltage interferences in telephone systems, handling capabilities of current drivers, coordination of protections, performance of the transformers which feed on transmission and distribution systems, as well as systems of generation, among other aspects. For harmonic analysis latest generation equipment such as electrical networks analyzers were used that show information complete about these disturbances, also used the CYMDIS software for the analysis of linear and non-linear loads on the network, the data obtained in the simulation they proved be effective tools to assess the incidence of harmonics in the electric distribution networks. Knowledge of disturbances and the proper choice of the proposal for the control of harmonics, allowed to optimize resources, in such a way that proved very useful to assess the current state of the feeder where indexes of harmonics in the normal parameters according to the requirements of CONELEC was obtained.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**  
**Latacunga – Cotopaxi – Ecuador**

---

### **AVAL DE TRADUCCIÓN**

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Lcda. Lidia Rebeca Yugla Lema , con cédula de ciudadanía N° 050265234-0, CERTIFICO que he realizado la respectiva revisión del ABSTRACT, con el tema: **“PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA INCIDENCIA DE CONTENIDO ARMÓNICO EN LA CALIDAD DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN REDES DISTRIBUCION EN LA ZONA RESIDENCIAL Y COMERCIAL DEL ALIMENTADOR FICOA, DE LA EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A”**, cuyo autor es: Javier Iván Sunta Miranda, con cédula de ciudadanía N° 1802702413 postulante a Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia y el Director de Tesis Ing. Marcelo Barrera.

Latacunga, Noviembre del 2014

Docente:

  
.....

Lcda. Lidia Rebeca Yugla Lema

C.C. # 050265234-0

**ENGLISH TEACHER**

## INTRODUCCIÓN

Toda la investigación se realizó en la S/E Atocha específicamente en el alimentador Ficoa, específicamente en ramales trifásicos y monofásicos, en donde existen 204 transformadores, de los cuales se tomó una muestra de 25 transformadores en donde se ha procedido a realizar su verificación y análisis de la incidencia de armónicos existentes en la red, esto con el objetivo de proponer medidas correctivas para lograr mejorar la calidad de energía en la zona residencial y comercial del sector, garantizando la confiabilidad y el buen funcionamiento de la red eléctrica de distribución de dicha empresa.

Al realizar el diagnóstico del alimentador, este nos permite identificar eventos potencialmente perjudiciales, donde se evalúa de forma independiente las armónicas 3, 5, 7 y 11 que son las más frecuentes en el sistema de distribución eléctrica, las que producen corrientes excedentes por el neutro, calentamiento de transformadores, conductores, además fluctuaciones de voltaje.

Si la red eléctrica se encontrara libre de usuarios que contaminan la forma de onda, ésta presentaría una forma de onda de voltaje de buena calidad, la cual se vería perturbada ocasionalmente debido a fallas en los centros de generación, de distribución o debido a descargas atmosféricas, principalmente. Por otra parte, al tener un número muy grande de usuarios instalados en la red, estos pueden alterar la forma de onda de voltaje con caídas permanentes o transitorias excesivas e influir en la forma de onda de corrientes debido a sus cargas no lineales; adicionalmente, las cargas pueden averiarse y producir consumos anómalos o cortocircuitos, lo cual puede repercutir en otras cargas que se encuentren conectadas en un punto cercano.

El proyecto de investigación realizado se encuentra constituido por tres capítulos: El primer capítulo propone el MARCO TEORICO; describe de manera general todos los argumentos y fundamentación teórica adoptada durante el desarrollo del

presente trabajo de investigación, enunciando las definiciones básicas y conceptos que están relacionados con las perturbaciones y armónicos en redes eléctricas.

En el Segundo Capítulo es el ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS para el desarrollo del proyecto de investigación, considerado como de observación y de campo, ya que ayuda a la encuesta como una técnica para recaudar datos e información para poder analizar y evaluar la posibilidad del proyecto de investigación.

En el Tercer Capítulo se realiza la PROPUESTA, una vez que se establecen los parámetros eléctricos para proyectar la incidencia de contenido armónico de acuerdo a los datos recopilados de los transformadores; y, simular en el software CIMDYST una proyección de demanda en el Alimentador Ficoa.

Finalmente se elabora las conclusiones y recomendaciones surgidas en el desarrollo del proyecto de investigación.

# CAPÍTULO I

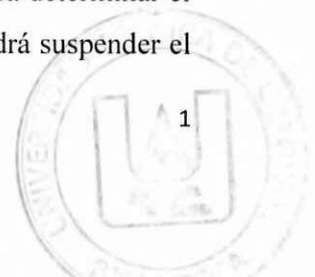
## 1.- MARCO TEÓRICO.

### *1.1. Antecedentes Investigativos.*

En la actualidad el desarrollo tecnológico ha incrementado los problemas en las redes de distribución de bajo voltaje, debido a la utilización de cargas no lineales como son: focos ahorradores, sistemas automáticos, controladores programables, balastos electrónicos, computadoras, entre otros, provocando una mala calidad del suministro eléctrico, debido a la deformación de la onda fundamental.

**Según la NORMA IEEE 519 (1992), dice que:** “Las cargas no lineales como los focos ahorradores cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación AC, esto produce un flujo de corrientes armónicas que son introducidas al sistema de distribución, lo que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y con otros equipos principalmente electrónicos, esta interferencia también se puede producir en las residencias”. Pág. 1.

Según el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, Capítulo II, Aspectos Técnicos, en su artículo 10, referente a la Calidad del producto, perturbaciones, manifiesta.-“Las perturbaciones que se controlarán son las oscilaciones rápidas de voltaje (flicker), las distorsiones armónicas y cualquier otro parámetro que la experiencia demuestre que afecta la calidad del servicio. El distribuidor por su propia iniciativa, por reclamo de los consumidores o exigencia del CONELEC, efectuará las mediciones y estudios necesarios para determinar el origen y las magnitudes de las perturbaciones. El distribuidor podrá suspender el



servicio a los consumidores cuyas instalaciones produzcan perturbaciones en el sistema de distribución que excedan los límites permitidos, hasta que se eliminen las causas de tales perturbaciones”.

## ***1.2. Delimitación espacial y temporal.***

### ***1.2.1 Alimentador Ficoa periodo 2013 – 2014.***

**TABLA No 1.1 COORDENADAS DE FICOA (AMBATO – ECUADOR)**

<b>Ciudad</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Ficoa	Tungurahua	1.23333	-78.6333

FUENTE:<http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=ficoa&id=7272>

ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### ***1.3 El problema de las armónicas en sistemas eléctricos y sus efectos.***

#### ***1.3.1 El origen del problema de las armónicas.***

En los sistemas eléctricos ideales se debe proporcionar voltaje con las siguientes características:

- Amplitud constante
- Forma de onda sinusoidal
- Frecuencia constante
- Simetría en el caso de red trifásica

Bajo estos parámetros, las máquinas y equipos eléctricos conectados a este sistema no tendrían que presentar un comportamiento anormal, debiendo funcionar tal como se espera en su diseño.

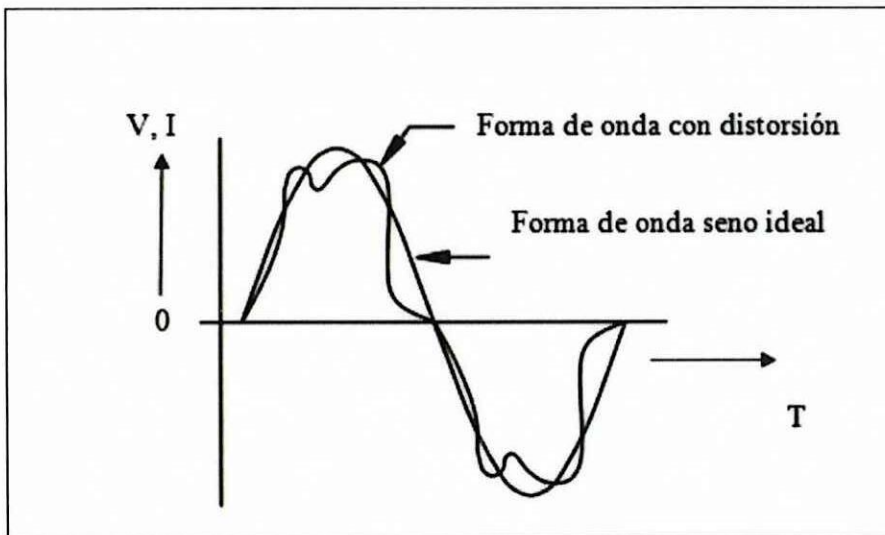
En la práctica, las redes de distribución eléctricas presentan una serie de perturbaciones que alteran a la calidad del servicio eléctrico, dentro de las cuales destacan:

Variadores de velocidad, variaciones de voltaje, sobrevoltajes, deformaciones de voltaje y corriente, armónicas, interarmónicas, notching, noise (ruido), etc.

El origen del problema está en la presencia de cargas no lineales llamadas también armónicas, dentro del sistema de distribución. Estas cargas no lineales provocan la circulación de corrientes no sinusoidales.

Los armónicos proceden principalmente de estas cargas cuya característica es absorber una corriente que no tiene la misma forma que la tensión que los alimenta como se muestra en el grafico 1.1 y esta carga armónica crea los voltajes que pueden perturbar el funcionamiento de otros usuarios conectados a la misma fuente.

**GRAFICO No 1.1** ESQUEMA BÁSICO DE DISTORSIÓN DE VOLTAJE



FUENTE: [HTTP://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/papers-capitulo1.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/papers-capitulo1.pdf)  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Lamentablemente, los armónicos producen efectos negativos en los equipos y en los sistemas eléctricos y electrónicos, empeorando su operación.

Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores así como interferencia en equipos de comunicación, mientras que la distorsión de voltaje provoca una operación incorrecta de equipos sensibles como computadoras, microcontroladores etc.

## 1.4 Armónicos.

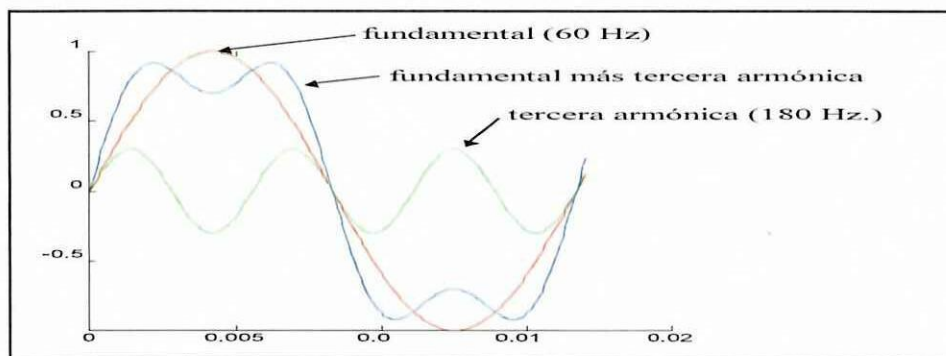
Dentro de un sistema de alimentación eléctrica, estas corrientes generan consumo que no es utilizado por los equipos. Idealmente las ondas de corriente y voltaje son de forma sinusoidal, al realizar mediciones en un sistema eléctrico, se detecta que la onda esté distorsionada, se dice que se trata de una onda contaminada por componentes armónicas, ver Figura 1.2.

El análisis de componentes armónicas proviene del teorema de Fourier y define este fenómeno afirmando, en la siguiente definición:

**FOURIER**, Jean (2012) dice que: “Cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia”. Pág. 44.

Bajo ciertas condiciones analíticas, una función periódica cualquiera puede considerarse integrada por una suma de funciones sinusoidales definidas por magnitud, ángulo y frecuencia de oscilación, siendo la primera armónica, denominada también señal fundamental, del mismo período y frecuencia que la función original y el resto serán funciones sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental. Estas componentes son denominadas armónicas de la función periódica original.

**GRAFICO No 1.2** DESCOMPOSICIÓN DE UNA ONDA DISTORSIONADA



FUENTE: <http://elec.itmorelia.edu.mx/armonico/capitulo%20iii.htm>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

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

- Amplitud: hace referencia al valor de voltaje 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.

$$n = \frac{f_n}{f_1} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde:

- n: Rango de armónica.
- $f_n$ : Frecuencia de un armónica n.
- $f_1$ : Frecuencia fundamental.

Según **DANIEL W. Hart** (2001) dice que: “Las series de Fourier pueden utilizarse para describir formas de onda periódicas no sinusoidales en términos de una serie de sinusoides. Las relaciones de potencia para estos circuitos pueden expresarse en términos de las componentes de las series de Fourier”. Pág. 42.

La señal periódica contiene armónicas cuando la forma de onda de esa señal no es senoidal, lo que es lo mismo, cuando se encuentra deformada con respecto a lo que sería una señal senoidal.

La serie de Fourier para una función periódica ( $t$ ) puede expresarse en forma trigonométrica del siguiente modo:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \text{Cos}(n \cdot \omega_0 \cdot t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \text{Sen}(n \cdot \omega_0 \cdot t) \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Cuyos coeficientes son:

$$a_0 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(t) dt \quad (\text{Ec. 1.3})$$

$$a_n = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \text{Cos}(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt \quad (\text{Ec. 1.4})$$

$$b_n = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T f(t) \cdot \text{Sen}(n \cdot \omega_0 \cdot t) dt \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Donde:

$a_0$ : Valor promedio de  $f(t)$ .

$\omega_0$ : Frecuencia eléctrica fundamental del sistema.

T : Período.

n: Número de la armónica.

Los coeficientes  $a_n$  y  $b_n$  se conocen como los coeficientes de Fourier y como las componentes armónicas de la función. Las funciones periódicas pueden representarse como la sumatoria de la componente a la frecuencia fundamental y las diferentes armónicas.

Este análisis puede ser aplicado a las formas de onda de las señales del voltaje y la corriente de la red, de donde se obtiene la definición de armónicas de corriente y voltaje.

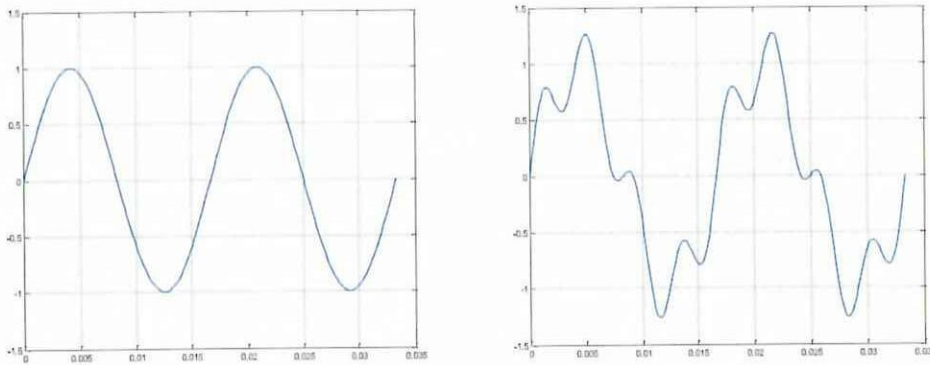
Conforme se va incrementando el orden, la frecuencia de las corrientes armónicas crece y su magnitud normalmente disminuye por lo que, las de orden inferior generalmente la tercera, quinta y la séptima tienen mayor influencia en los sistemas de potencia. Los armónicos por encima del orden 23 son despreciables.

#### ***1.4.1 Análisis sobre los Armónicos.***

Los armónicos se analizan con el objetivo de evaluar el grado de contaminación existente y el impacto de la contaminación, además debe pronosticar la capacidad

para asimilar nueva contaminación, determinar la ubicación y las características de los bancos de condensadores.

**GRAFICO No 1.3** FORMA DE ONDA IDEAL Y FORMA DE ONDA DISTORSIONADA



FUENTE: <http://www.schneiderelectric.es>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

#### **1.4.2. Principales fuentes emisoras de corrientes armónicas.**

Una carga es considerada no lineal si su impedancia cambia con el voltaje aplicado. De la misma manera, muchas cargas como motores son muy tolerantes a la presencia de armónicos, sin embargo estos pueden ser dañinos, ya que según la **NORMA IEEE-519**, (1992) dice que: “Pueden causar el calentamiento dieléctrico esfuerzo eléctrico, ocasionando de esta manera el envejecimiento prematuro del aislamiento eléctrico”. Pág. 31.

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.

Existen dos categorías generadoras de armónicos que se describen a continuación:

- La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional al voltaje, como resultado de esto,

cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia.

- El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia. Filtros eléctricos y electrónicos, variadores de velocidad de motores.

Las dos categorías de equipos generadoras de armónicos, pueden originar una interacción compleja en la cual la energía de los armónicos es transformada o multiplicada de una frecuencia a otra.

### *1.4.3 Efectos de los Armónicos*

Los efectos nocivos producidos por el flujo de corrientes armónicas son cada día más significativos en los sistemas eléctricos de potencia, dichos efectos dependen de la intensidad relativa de las fuentes emisoras y pueden resumirse en la forma siguiente:

- Pérdidas adicionales de los sistemas eléctricos y por tanto reducción de su eficiencia.
- Sobrecalentamiento y destrucción del conductor neutro debido a los 3ros armónicos y sus múltiplos.
- Vibraciones y ruidos en motores, generadores, y transformadores, reduciendo su vida útil.
- Efectos de resonancia que amplifican los problemas mencionados anteriormente y pueden provocar incidentes eléctricos, mal funcionamiento y fallos destructivos de equipos de potencia y control.
- Problemas de funcionamiento en dispositivos electrónicos sensibles de telecomunicaciones, telemando, computadoras, televisores.
- Errores de lógica en los equipos de cómputo y telecomunicaciones.
- Disparos intempestivos de las protecciones eléctricas.
- Errores de Medición de Energía en Medidores Electromecánicos.

Tomando en cuenta algunos de ellos se da una descripción a continuación:

#### ***1.4.3.1 Transformadores***

En los transformadores el efecto que causan los armónicos es el incremento de pérdidas en el cobre, y en el hierro como consecuencia del envejecimiento prematuro del mismo, debido al sobrecalentamiento producido por el incremento de las pérdidas.

Según la **NORMA IEEE-519**, (1992) dice que: “El incremento de pérdidas depende de la frecuencia y, por tanto, los componentes armónicos de alta frecuencia pueden ser más importantes que los componentes armónicos de baja frecuencia causando calentamiento en el transformador”. Pág. 33.

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.

#### ***1.4.3.2 Sobrecorriente 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: 3°, 9°, 15° 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.

#### ***1.4.3.3 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.

#### ***1.4.3.4 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.

#### ***1.4.3.5 Equipos de medición.***

Los dispositivos de disco de inducción, tales como los medidores de Kilovatios – horas (KWh), normalmente ven solamente la corriente fundamental que está en la fase con el voltaje fundamental. Las corrientes armónicas también se registrarán en el medidor debido a que la mayoría del voltaje armónico está fuera de fase con la corriente armónica.

#### ***1.4.3.6 Cables de potencia***

Los cables sometidos a corrientes armónicas del sistema pueden estar sujetos a sobre esfuerzos, lo cual puede conducir a fallas dieléctricas en el aislamiento. Los cables que están sujetos a niveles ordinarios de corrientes armónicas están propensos a calentamientos elevados. El flujo no sinusoidal en un conductor,

producirá un calentamiento adicional por encima de lo esperado para un valor RMS de la forma de onda.

#### *1.4.3.7 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.

Según la **NORMA IEEE-519**, (1992) dice que: “La distorsión armónica puede resultar en un cambio en el cruce por voltaje cero o en el punto al cual un voltaje fase a fase se vuelve mayor que otro voltaje fase, además requieren fuentes AC con un factor de distorsión de voltaje armónico menor al 15% con el mayor armónico solo siendo menor al 3% del voltaje fundamental”. Pág. 35.

**GRAFICO No 1.4** DIFERENTES SISTEMAS AFECTADOS POR LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS.



FUENTE:<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/257/6/t-espe-024628.pdf>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## ***1.5 Aspectos de Calidad de Energía***

La calidad de la energía eléctrica es la ausencia de interrupciones, sobrevoltajes, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje dirigidas al usuario. Tanto como una buena estabilidad de voltaje, frecuencia y confiabilidad del servicio eléctrico ininterrumpido.

Las armónicas no sólo afectan a los aparatos eléctricos de los consumidores, sino que también daña la correcta operación de la red de suministro. Las armónicas causan problemas como:

- Operación incorrecta de controles remotos.
- Sobrecalentamiento de cables.
- Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores y motores.
- Errores en medición.
- operación incorrecta de sistemas de protección.

### ***1.5.1 Tres Perspectivas de la Calidad de la Calidad de la Energía***

El problema de la calidad de la energía tiene tres perspectivas diferentes.

- Primero, es la que corresponde al lado de los usuarios después del medidor, y es el impacto de los disturbios en los equipos.
- Segundo, también del lado de los usuarios, es que los fabricantes de equipos deben conocer los niveles de éstos disturbios y la frecuencia con que ocurren, para así determinar una tolerancia razonable para sus equipos.
- Tercero que concierne a ambos lados del medidor, es cómo los disturbios ocasionados por un usuario afectan a otros usuarios que están conectados a la misma red de suministro.

## ***1.6 Calidad del Producto***

Según la regulación No. CONELEC-004/01, la Calidad del Producto comprende los siguientes aspectos:

- a) Nivel de voltaje
- b) Perturbaciones de voltaje
- c) Factor de Potencia

### **1.6.1 Nivel de Voltaje**

La Regulación No. CONELEC-004/01 establece parámetros a través de fórmulas que sirve para determinar la calidad de voltaje, como la que mostrare a continuación:

#### **1.6.1.1 Índice de Calidad**

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Donde:

$\Delta V_k$ : variación de voltaje, en el punto de medición, en el intervalo k de 10 minutos.

$V_k$ : voltaje eficaz (rms) medido en cada intervalo de medición k de 10 minutos.

$V_n$ : voltaje nominal en el punto de medición.

#### **1.6.1.2 Mediciones**

La calidad de voltaje se determina como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos cada 10 minutos, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles.

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro de voltaje en cada uno de los siguientes puntos de medición:
  - a) 20% de las barras de salida de subestaciones de distribución AV/MV, no menos de 3.
  - b) 0,15% de los transformadores de distribución, no menos de 5.

- c) 0,01 % de los Consumidores de Bajo Voltaje del área de concesión, no menos de 10.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
  3. Simultáneamente con el registro del voltaje se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.
  4. Para cada mes, el registro en cada punto de medición se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

### 1.6.1.3 Límites

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición  $\pm$  respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos, en cada mes, el servicio lo suministra incumpliendo los límites de voltaje Tabla 1.2.

Las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal se señalan a continuación:

**TABLA No 1.2 LÍMITES DE VARIACION DE VOLTAJE**

<b>Nivel</b>	<b>Variación</b>
Alto Voltaje	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje Urbanas	$\pm 8,0 \%$
Bajo Voltaje Rurales	$\pm 10 \%$

FUENTE: REGULACION CONELEC-004-01  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## 1.7 Descripción de las perturbaciones

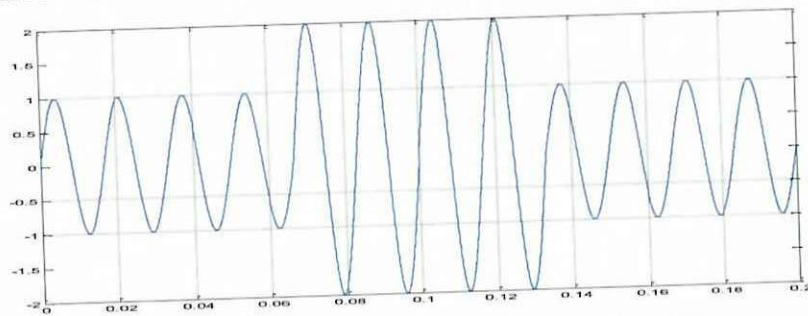
Las perturbaciones siempre están presentes en los sistemas de potencia, lo principal es conocerlas y tratar de disminuirlas hasta formar sistemas de potencia con una igualdad eléctrica aceptable, las más frecuentes en la red eléctrica son las siguientes:

### 1.7.1 Incrementos breves de voltaje (swells)

Según, **TOLEDO** Norman, (2008), dice que: “Un swells es un incremento entre 1.1 y 1.8 pu en voltaje o corriente rms, en un tiempo desde 0.5 ciclo a un minuto”.

Son aumentos breves del valor eficaz de la tensión que puede o no estar acompañados de una disminución de la corriente. Además se caracteriza por su magnitud y duración, típicamente las magnitudes oscilan entre 1.1 y 1.8 pu y la duración entre  $\frac{1}{2}$  ciclo a 1 minuto. Son ocasionados por la desconexión de cargas grandes y no llega a ser un sobrevoltaje.

**GRAFICO No 1.5** SEÑAL DE UN INCREMENTO DE TENSIÓN (SWELLS)



FUENTE: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=165>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

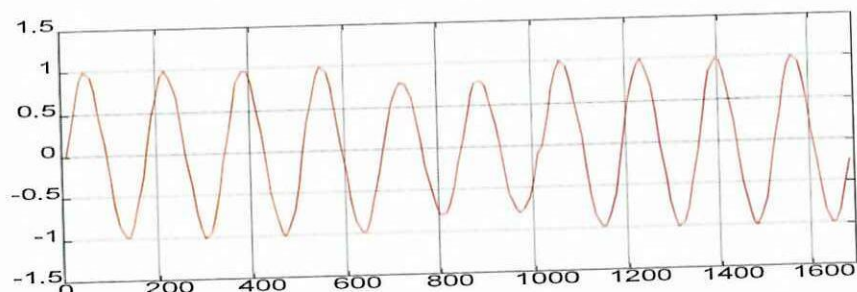
### 1.7.2 Variaciones lentas y rápidas de voltaje.

Se considera una variación lenta de voltaje, aquella que se presenta con una duración de 10 segundos o más.

Se produce debido a la variación de las cargas en redes eléctricas con impedancia alta de cortocircuito. Si sobrepasan los límites estáticos permitidos por los equipos, pueden producir fallos en su operación.

Por otra parte, una variación rápida de voltaje tiene una duración menor a los 10 segundos. Se producen debido a la conexión y desconexión de cargas grandes y maniobras en las líneas de la red eléctrica. El daño que pueden causar en los equipos depende de su amplitud y su duración, dado que un equipo puede soportar una mayor amplitud en un menor tiempo y viceversa.

**GRAFICO No 1.6 VARIACIÓN RÁPIDA DE VOLTAJE**



FUENTE:<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=165>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### **1.7.3 Huecos y Cortes de tensión**

Según P. FERRACCI. (2004) dice que: “Los huecos y cortes de tensión alteran el funcionamiento de numerosos aparatos conectados a la red. Son la causa más frecuente de los problemas de calidad de la energía”. Pág. 15.

#### **1.7.3.1 Huecos de tensión.**

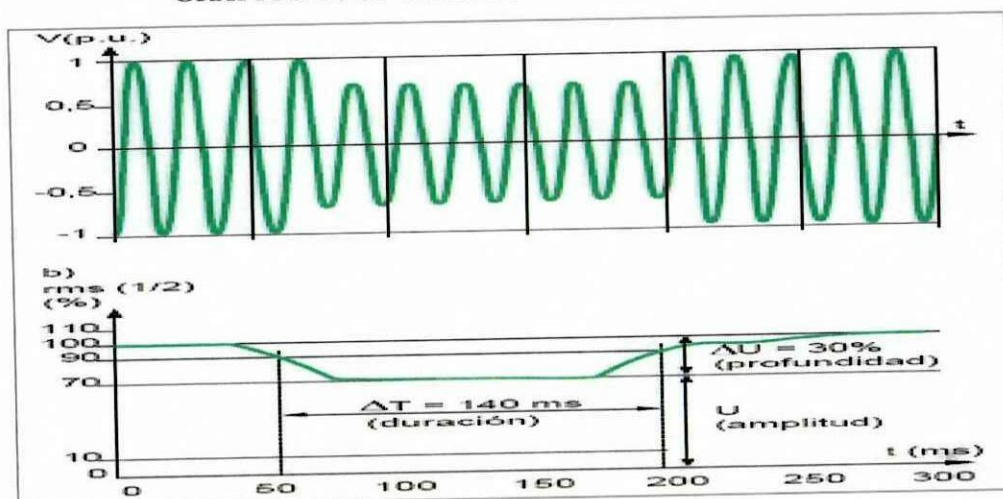
- Se considera un hueco de tensión a una bajada de tensión de corta duración entre el 90 % y 1 %. Las bajas tensiones pueden estar producidas por averías en otros consumidores. Además pueden ser temporales o de mayor duración.

- Estas pueden provocar incrementos de corrientes en otros consumidores, así como el re-arranque de motores y el mal funcionamiento de algunos equipos más exigentes.
- Si se atiende a la causa más típica que lo produce la aparición y eliminación de fallas, su duración debiera estar relacionada con el tiempo máximo de permanencia de la falla. Por consiguiente, en el caso de las fallas habituales, sería razonable establecer se valor máximo en unos pocos segundos
- Sin embargo hay fallas, como las que ocasionalmente se derivan del arranque directo de motores asíncronos, en las que el tiempo de recuperación de la tensión puede llegar a las decenas de segundos. Por ello, algunas definiciones consideran que existe hueco de tensión cuando la duración es de hasta un minuto.

Además las características de los huecos de tensión son los siguientes:

- Los huecos se caracterizan por dos parámetros:
  - Profundidad  $\Delta U$
  - Duración  $\Delta t$
- Si la tensión desaparece esto es conocido como un corte.

**GRAFICO No 1.7** GRAFICO DE UN HUECO DE TENSIÓN



FUENTE: <http://www.schneiderelectric.es>  
 ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

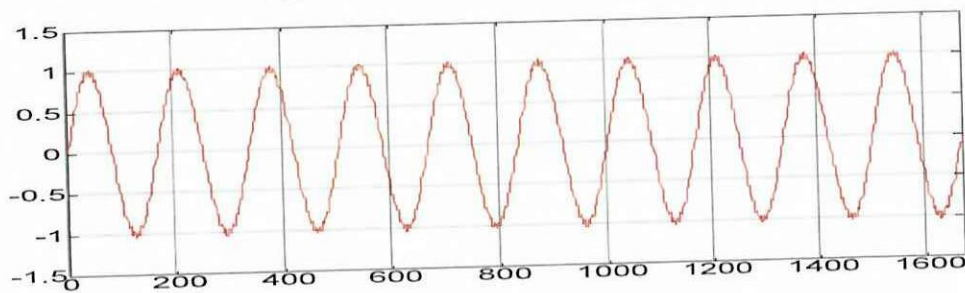
### 1.7.4 Ruido Eléctrico

Son perturbaciones de voltaje que tienen lugar entre los conductores activos de alimentación (fase y neutro en sistemas monofásicos; fases o fase y neutro en sistemas trifásicos). Si son frecuentes y de escaso valor (decenas de voltios más o menos), se llaman ruidos.

Los ruidos eléctricos se producen debido al funcionamiento de máquinas eléctricas con escobillas, soldadoras de arco, timbres, interruptores, etc., los cuales se encuentran conectados en algún punto cercano a la carga utilizada. No producen daño en los equipos, pero si pueden causar un mal funcionamiento.

Es la distorsión (no necesariamente periódica) de la forma senoidal del voltaje. Este es debido a switcheo, transmisores de radio y equipo industrial de arco eléctrico.

**GRAFICO No 1.8 RUIDO ELÉCTRICO**

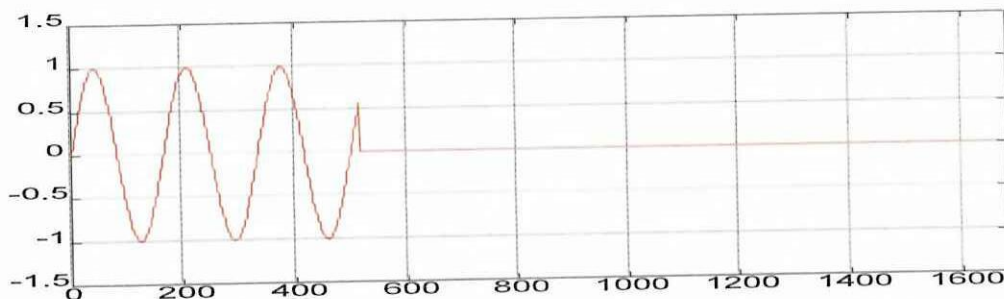


FUENTE: POWER SYSTEMS QUALITY, MCGRAW-HILL, SECOND EDITION 2004  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 1.7.5 Interrupciones de energía

Es la pérdida total de potencia. Por lo general se considera interrupción cuando el voltaje ha decrecido a un 15 % del valor nominal o menos. Este es debido a aperturas de líneas, daño de transformadores, operación de fusibles o equipos de protección de la red, entre otras posibilidades. También se consideran interrupciones de energía aquellas que duran milisegundos.

GRAFICO No 1.9 CORTE LARGO DE VOLTAJE.



FUENTE: <http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=165>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 1.7.6 Parpadeo (Flicker)

#### 1.7.6.1 Índice de Calidad

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración ( $P_{st}$ ), en intervalos de medición de 10 minutos, definido de acuerdo a las normas IEC; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

$P_{st}$ : Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ : Niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

#### 1.7.6.2 Mediciones

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

- Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
- Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las

mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.

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

Las mediciones se deben realizar con un medidor de efecto "Flicker" para intervalos de 10 minutos y de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 60868.

Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de flicker, se efectuarán mediciones de monitoreo de flicker, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

### ***1.7.6.3 Límites***

El índice de severidad del Flicker  $P_{st}$  en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite  $P_{st} = 1$  como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano en una muestra específica de población.

Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible arriba señalado, en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido en este numeral, por un tiempo superior al 5 % del período de medición de 7 días continuos.

### ***1.7.7 Armónicos***

#### ***1.7.7.1 Índices de Calidad***

$$V_i' = \left( \frac{V_i}{V_n} \right) * 100$$

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

Donde:

$V_i'$ : factor de distorsión armónica individual de voltaje.

THD: factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje

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

$V_n$ : voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

### 1.7.7.2 Mediciones

El Distribuidor deberá realizar mensualmente lo siguiente:

1. Un registro en cada uno de los puntos de medición, en un número equivalente al 0,15% de los transformadores de distribución, en los bornes de bajo voltaje, no menos de 5.
2. Para la selección de los puntos se considerarán los niveles de voltaje, el tipo de zona (urbana, rural), y la topología de la red, a fin de que las mediciones sean representativas de todo el sistema. Una vez realizada la selección de los puntos, la Empresa Distribuidora debe notificar al CONELEC, por lo menos 2 meses antes de efectuar las mediciones.
3. Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad.



4. En cada punto de medición, para cada mes, el registro se efectuará durante un período no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos.

Las mediciones se deben realizar con un medidor de distorsiones armónicas de voltaje de acuerdo a los procedimientos especificados en la norma IEC 61000-4-7. Con la finalidad de ubicar de una manera más eficiente los medidores de distorsiones armónicas, se efectuarán mediciones de monitoreo de armónicas, de manera simultánea con las mediciones de voltaje indicadas anteriormente; por lo que los medidores de voltaje deberán estar equipados para realizar tales mediciones de monitoreo.

### 1.7.7.3 Límites

Los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales ( $V_i'$ ) y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite ( $V_i'$  y THD') señalados a continuación. Para efectos de esta regulación se consideran los armónicos comprendidos entre la segunda y la cuadragésima, ambas inclusive.

**TABLA No 1.3 VALORES DE LOS ARMONICOS INDIVIDUALES ( $V_i'$ ) Y LOS THD**

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0

17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
<b>Impares múltiplos de tres</b>		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
<b>Pares</b>		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
<b>THD</b>	<b>3</b>	<b>8</b>

FUENTE: REGULACION CONELEC-004-01  
 ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 1.7.8 Efecto armónico.

Según MERLIN Gerin (2004) dice que: “Los armónicos proceden principalmente de cargas no lineales cuya característica es absorber una corriente que no tiene la misma forma que la tensión que los alimenta, al circular a través de las impedancias de la red, estas corrientes armónicas crean los voltajes que pueden perturbar el funcionamiento de otros usuarios conectados a la misma”. Pág. 10.

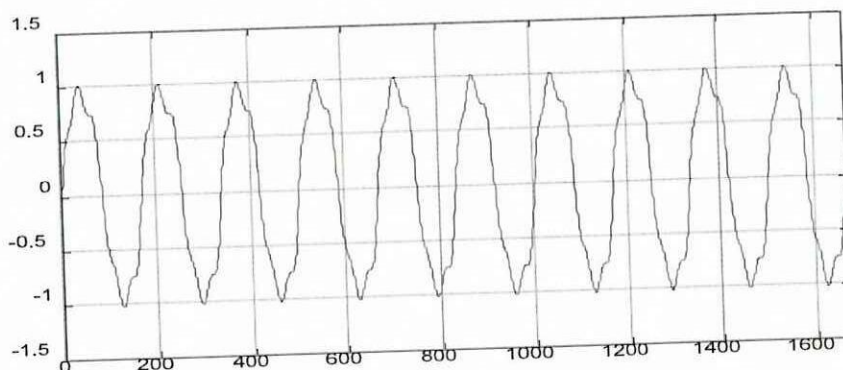
Un armónico puede ser definido como “un componente sinusoidal de una onda periódica o cantidad que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia fundamental”.

### 1.7.9 Distorsión armónica

Según FINK Donald, dice que, “La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico. Es la sobre posición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la potencia sobre la onda sinodal de la misma”. Pág. 23-10

Es una deformación de la forma de onda de voltaje, debida a la presencia de armónicos. Su nombre técnico es Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés). Se debe principalmente a la conexión a la red eléctrica de máquinas con núcleo magnético saturado, convertidores estáticos, hornos de arco eléctrico y otras cargas no lineales. Casi todas las cargas críticas como lo son los equipos electrónicos soportan una distorsión máxima del 5%.

**GRAFICO No 1.10 FORMA DE ONDA DE VOLTAJE CON GRAN DISTORSIÓN ARMÓNICA.**



FUENTE: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=165>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

#### 1.7.9.1. Distorsión armónica total

Para el voltaje

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1} \times 100 \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Para la corriente

$$TIID_1 = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_1} \times 100 \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Para armónicas individuales

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} \times 100 \quad (\text{Ec. 1.3})$$

#### **1.7.9.2. Distorsión total de demanda**

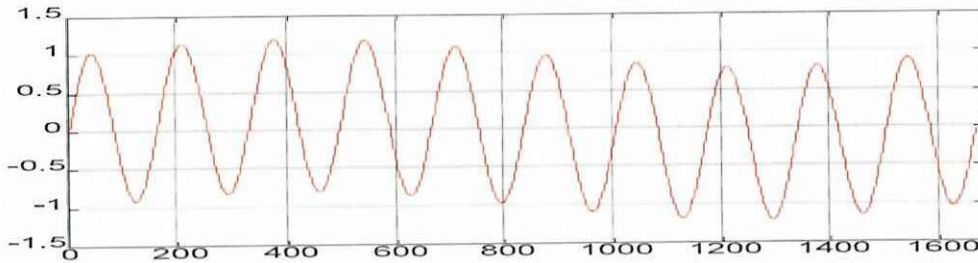
$$TDD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_{dem-max}} \times 100 \quad (\text{Ec. 1.4})$$

#### **1.7.10 Parpadeo (flicker)**

Según **RENE WIERDA** (2001) dice que: “El flicker se relaciona con variaciones luminosas; es el resultado de pequeñas fluctuaciones de tensión provocadas por el funcionamiento de cargas variables importantes: hornos de arco, equipos de soldadura, motores. Provocan una fatiga física y psíquica a los usuarios de iluminación conectada cerca de la carga perturbadora”. Pág. 4.

Produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto (de aquí el nombre); En general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada, la cual se puede observar en la figura 1.11.

**GRAFICO No1.11 PARPADEO (FLICKERS)**



FUENTE:<http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?idarticulo=165>  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### **1.7.11 Factor de Potencia**

#### **1.7.11.1 Índice de Calidad**

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al factor de potencia, si en el 5% o más del período evaluado el valor del factor de potencia es inferior a los límites, el Consumidor está incumpliendo con el índice de calidad.

#### **1.7.11.2 Medición**

Adicionalmente a las disposiciones que constan en el artículo 12 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, el Distribuidor efectuará registros del factor de potencia en cada mes, en el 2% del número de Consumidores servidos en AV y MV. Las mediciones se harán mediante registros en períodos de 10 minutos, con régimen de funcionamiento y cargas normales, por un tiempo no menor a siete (7) días continuos.

#### **1.7.11.3 Límite**

El valor mínimo es de 0,92.

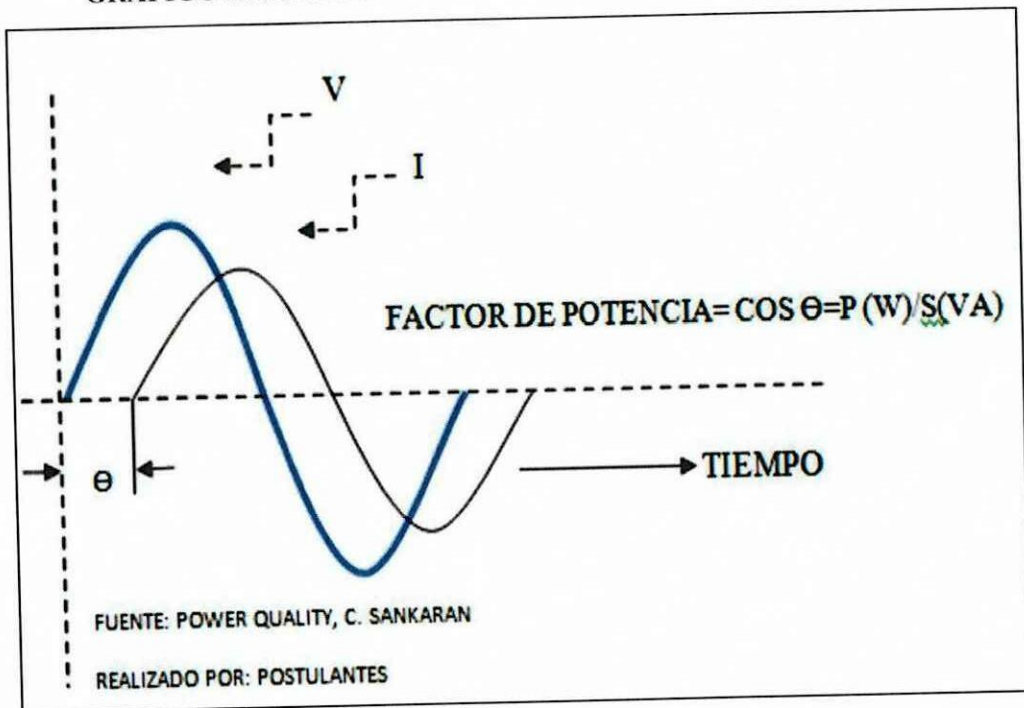
#### **1.7.11.4 El factor de Potencia**

Según, **FOWLER**, Richard (2000) dice que: “La relación de la potencia real con la aparente en un circuito se conoce como el factor de potencia (FP)”.

También se lo puede definir como el coseno del ángulo de fase existente entre el voltaje y la corriente cuando las ondas son sinusoidales puras.

$$\text{Factor de Potencia} = \cos \Phi = \frac{P}{S}$$

**GRAFICO No1.12 DESPLAZAMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA**



FUENTE: POWER QUALITY, C. SANKARAN  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

El factor de potencia tiene valores entre cero y uno, como el factor de potencia es la potencia que se utiliza para un trabajo útil sobre la potencia total consumida; sería ideal que el factor de potencia sea igual a la unidad para una mayor eficiencia y menor cantidad de pérdidas.

Pero entre menor sea el factor de potencia mayor van a ser las pérdidas y otros problemas tanto para el usuario como para el distribuidor de energía eléctrica, conforme se enumera a continuación.

- Pérdidas en transformadores y líneas de distribución.
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de transmisión.

- Aumento de la caída de voltaje
- Disminución de potencia activa en los transformadores
- Mayor inversión en redes
- Recargos económicos

## **1.8 Norma IEEE-519 armónicos de corriente**

### **1.8.1. Antecedentes**

En 1981, el Instituto de Ingenieros en Electricidad y Electrónica (IEEE) elaboró el estándar IEEE-519 titulado “Prácticas Recomendadas y Requerimientos para control de armónicas en sistemas de potencia”. El documento establece los niveles de distorsión de voltaje aceptables en sistemas de distribución al mismo tiempo que establece límites en la distorsión armónica de corriente que los usuarios pueden “inyectar” al sistema.

Las cargas no lineales demandan una corriente no senoidal, cuyo paso por la impedancia del sistema provoca una caída de voltaje no senoidal, lo cual se traduce en una distorsión de voltaje en terminales de la carga. Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores así como interferencia en equipo de comunicación mientras que la distorsión de voltaje provoca una operación incorrecta de equipo sensible (computadoras, microcontroladores).

### **1.8.2. Máximos niveles de distorsión.**

El estándar también establece límites para los niveles de distorsión de corriente que puede ser “inyectada: por parte de los usuarios. Estos límites se establecen para cada una de las armónicas individuales así como para la distorsión de demanda total (TDD) y están en función del nivel de corto circuito (MVAcc) en el punto de suministro (punto de acoplamiento común) y del valor RMS de la corriente fundamental correspondiente a la demanda máxima promedio de los últimos doce meses (IL).

**Límites.-** Los valores límites de contenido armónico, de TDD y más procedimientos para aplicación de límites, se regirán a lo indicado en la guía de la Norma IEEE 519 Harmonic Control. Una tabla con los límites señalados en esa guía se indica a continuación:

**TABLA No1.4 LÍMITES PARA CONTENIDO ARMÓNICO DE CORRIENTE (IEEE 519)**

<b>Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.</b>						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.  
 IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.  
 TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.

FUENTE: NORMA IEEE 519 LÍMITES EN LA DISTORSIÓN DE LA CORRIENTE.  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## 1.9 Técnicas para la mitigación de armónicas

Los efectos producidos por las corrientes armónicas presentes en la red, deben ser previstos a fin de evitar daños tanto en el sistema eléctrico como en los diferentes equipos conectados al mismo. Existen diferentes técnicas o métodos que ayudan a mantener las cargas libres de estas distorsiones producidas en la red.

El empleo de medidas correctivas de los efectos de las distorsiones armónicas persigue lo siguiente:

- Evitar la propagación de las corrientes armónicas a través de la red, especialmente en aquellos lugares donde se encuentran conectadas cargas que muestran cierta sensibilidad a tales distorsiones.
- Procurar que las corrientes armónicas inyectadas a la red eléctrica no sobrepasen ciertos valores que están determinados por las Normas de cada país.

Reducir la aportación de corrientes armónicas provenientes de las fuentes que las generan:

- Cuando se trata de fuentes de armónicas provenientes de lámparas, es recomendable utilizar conexión delta-estrella del transformador de alimentación con el fin de atrapar las armónicas de secuencia cero.
- Si las armónicas provienen de un transformador, lo mejor será cambiar el transformador o liberarle carga.
- En caso de tener varias cargas que utilicen rectificación conectadas a un mismo sector, entonces lo recomendable es que unos rectificadores se alimenten de un transformador delta-estrella y otros de un delta-delta, esto con el fin de que se tenga cancelación de armónicas.
- Utilizando filtros armónicos pasivos y activos, para mitigar la distorsión armónica presentes en instalaciones comerciales y residenciales.

Las soluciones a dicho problema se realiza resolviendo el problema en forma global, buscando reducir las pérdidas y mantener los niveles de armónicos por debajo de lo niveles permitidos, en este caso, se trata de un problema de optimización donde se determina la ubicación de los filtros pasivos o filtros pasivos.

### ***1.9.1. Alternativas para reducir la aportación de corrientes armónica.***

El requisito primordial que debe cumplir todo sistema eléctrico es la fiabilidad del suministro. La energía eléctrica, como producto, exige tener en consideración la calidad, continuidad de suministro y la forma de onda.



Para lo cual se citaran propuestas para eliminar las perturbaciones de la red eléctrica.

- Sobredimensionamiento del neutro
- Conexiones especiales en los transformadores
- Uso de filtros: pasivos, activos, híbridos(pasivos y activos)

#### ***1.9.1.2 Sobredimensionamiento del neutro.***

Al sobredimensionar los conductores utilizados en el neutro del sistema se le está suministrando una mayor capacidad para soportar las Sobrecorriente que circulan por el mismo.

La existencia de flujos de corriente a través del neutro de los sistemas trifásicos indica ya sea desbalances en el mismo o existencia de corrientes armónicas. En un sistema trifásico balanceado la sumatoria vectorial de las corrientes de las tres fases debe ser cero y por lo tanto ninguna corriente circulará por el neutro. Sin embargo, si la sumatoria es diferente de cero y circula una corriente a la frecuencia fundamental por el neutro, el sistema presentará condiciones de desbalance.

#### ***1.9.1.3. Conexiones especiales en los transformadores***

Las conexiones de los transformadores merecen especial atención cuando se están analizando las corrientes de secuencia cero de un sistema, ya que éstas dependen en gran medida del tipo de polarización de los elementos como generadores, transformadores, cargas. Las corrientes de secuencia cero únicamente podrán circular si existe una ruta de retorno a tierra por la cual pueda completarse el circuito.

Las conexiones de los transformadores, especialmente delta y estrella, influyen en la impedancia y por lo tanto en las corrientes armónicas que estarán presentes en la red.

Las conexiones son una combinación de las diferentes formas de conectar un transformador trifásico o un banco de transformadores monofásicos tanto en estrella como en delta.

➤ **Conexión Y-Y. Ambos neutros aterrizados.**

Cuando los dos devanados de un transformador están puestos a tierra, ya sea directamente o a través de una reactancia de limitación, existe una ruta de baja impedancia para que las corrientes de secuencia cero puedan circular hacia tierra. No se eliminan las corrientes de secuencia cero.

➤ **Conexión Y-Y. Ambos sin conexión a tierra.**

Al igual que el caso anterior, no podrán circular las corrientes de secuencia cero no estar aterrizados No fluyen las corrientes de secuencia cero.

➤ **Conexión Y- $\Delta$ . Aterrizada la Y.**

En este caso, las corrientes de secuencia cero pueden circular a través de la puesta a tierra de la estrella (Y), ya que las corrientes inducidas en la delta ( $\Delta$ ) pueden circular dentro de los devanados de ésta. Con esta conexión no se impide la circulación de las armónicas de tercer orden.

➤ **Conexión Y- $\Delta$ . Sin aterrizar.**

La impedancia de secuencia cero del transformador tiene un valor infinito si éste no tiene una conexión a tierra, por lo tanto la corriente no puede fluir entre el transformador y tierra. Las armónicas de secuencia cero no pueden circular a través transformador.

#### **1.9.1.4 Filtros de Armónicas**

Las empresas distribuidoras de electricidad deberían utilizar filtros de armónicas en sistemas de distribución a nivel de la carga para garantizar niveles de calidad

de energía, entre tanto que los usuarios finales que contaminaren o inyecten armónicas deberán utilizar filtros, para evitar que los equipos electrónicos funcionen incorrectamente.

Los filtros pueden usarse para:

- Mejorar el factor de potencia.
- Reducir armónicos
- Reducir corrientes de retorno por el neutro en sistemas trifásicos
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución
- Liberar capacidad de distribución

Los filtros de armónicas se clasifican en dos grupos principales; filtros pasivos y filtros activos.

#### ***1.9.2.1 Filtros pasivos***

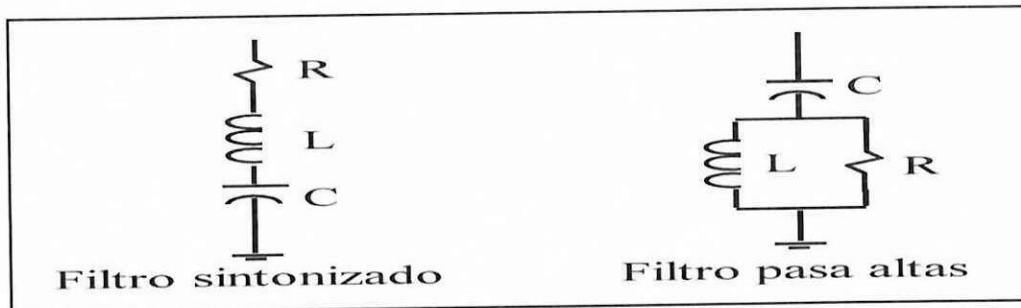
Los filtros armónicos pasivos utilizan inductores y capacitores estáticos, no cambian sus valores de inductancia (henrios) y capacitancia (faradios), se diseñan para controlar armónicas específicas. Son llamados pasivos debido a que no responden a cambios en frecuencia.

Estos filtros van desde pequeños dispositivos de enchufar, hasta dispositivos grandes, a veces conectados directamente a los dispositivos que están generando armónicas en la instalación.

Estos tipos de filtros absorben el choque eléctrico y trabajan bajo el principio que los inductores y capacitores conectados juntos, deben bloquear corrientes armónicas o enviarlas a tierra.

Los filtros que cuentan con inductores y capacitores bloquean o pasan ciertas frecuencias debido a que un incremento en frecuencia aumenta la impedancia del inductor y disminuye la impedancia del capacitor, hay muchos tipos de configuraciones para filtros de armónicos, los dos tipos básicos son filtros en serie y en paralelo.

GRAFICO No1.13 FILTRO PASIVOS SHUNT



FUENTE: POWER QUALITY, C. SANKARAN  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

El filtro lo que hace es presentar una impedancia baja a una corriente de una frecuencia determinada, esto significa que los elementos del filtro entran en resonancia serie, ocasionando la circulación de esta corriente. De esta manera a partir de un valor del banco de capacitores se obtiene el valor del reactor del filtro:

$$X_{cap} = \frac{KV^2}{MVAr_{CAP}} \quad (EC. 1.4)$$

$$X_{vac} = \frac{X_{cap}}{h^2} \quad (EC.1.5)$$

Donde  $h$  es la armónica a la cual esta sintonizado el filtro, y por tanto a la corriente que se quiere drenar.

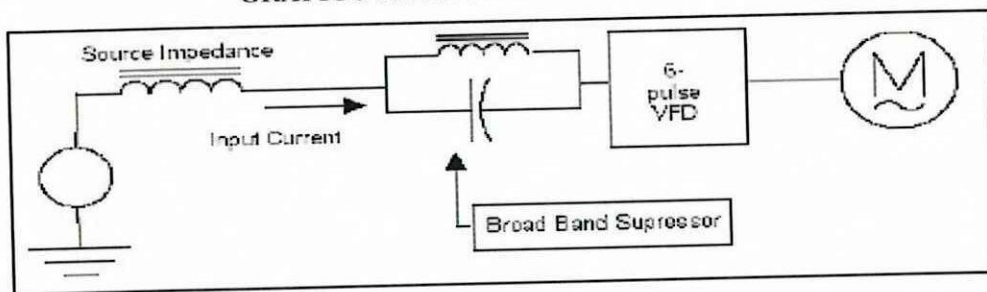
El filtro sintonizado es utilizado para eliminar en forma individual las armónicas más bajas como la 3<sup>a</sup>, 5<sup>a</sup> y 7<sup>a</sup>. En cambio el filtro pasa altas es utilizado para eliminar un rango de armónicas las cuales tienen un valor pequeño de corriente, por lo general son usados para eliminar de la armónicas 11<sup>a</sup> en adelante.

**Filtro en serie.-** El filtro en serie o filtro pasa bajo consiste de un capacitor y un inductor conectados en paralelo, pero en serie con la carga, el proporciona un camino de alta impedancia para las corrientes armónicas y las bloquea, evitando que alcancen la fuente de poder. Sin embargo, permite que pase la corriente

fundamental de 60Hz. Esto gracias a que la impedancia de sus componentes es dependiente de la frecuencia a la que se somete.

Este filtro es sintonizado a una frecuencia particular, ofreciendo una alta impedancia únicamente a la componente de frecuencia sintonizada, el filtro en serie es utilizado comúnmente para aplicaciones monofásicas donde minimiza efectivamente la 3ra armónica (orden de armónica más común en sistemas monofásicos), también ofrece cierta impedancia a componentes armónicos cercanas a la frecuencia sintonizada, y conforme se aleje de esta frecuencia en cualquier dirección la impedancia proporcionada se va disminuyendo.

GRAFICO No1.14 FILTRO PASIVO SERIE

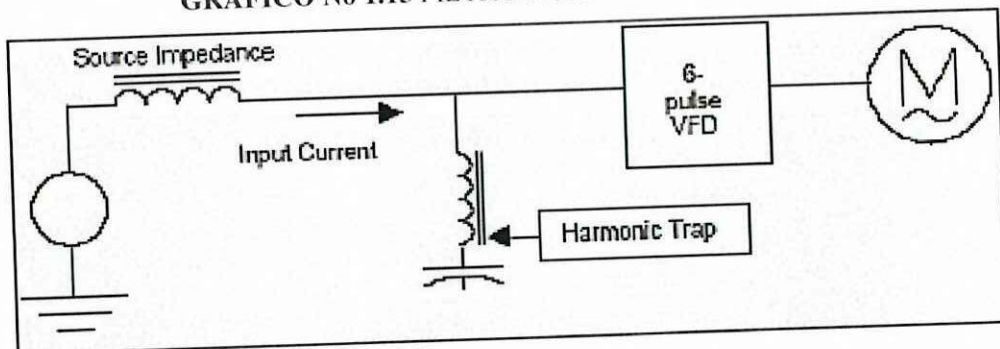


FUENTE: POWER QUALITY, C. SANKARAN  
ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Este filtro no genera interferencia ni resonancia en el sistema eléctrico existente, gracias a que no afectan la frecuencia natural del sistema de potencia al colocarse en serie con el mismo, la mayor desventaja de este tipo de filtro es que debe poder conducir la corriente total de la carga. Además, una sola sección de filtros no es adecuada para atenuar todos los diferentes órdenes del espectro armónico presentes en la corriente no-lineal de la carga.

**Filtro en paralelo.-** El filtro en paralelo consiste de un capacitor y un inductor conectado en serie, pero en paralelo con la carga, este tipo de filtro proporciona un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas y la envía a tierra sin peligro alguno.

GRAFICO No 1.15 FILTRO PASIVO EN PARALELO



FUENTE: POWER QUALITY, C. SANKARAN  
 ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

El filtro en paralelo es más común y menos costoso, debido a que no debe conducir la corriente total de la carga. Los filtros en paralelo comúnmente utilizados están compuestos de etapas individuales sintonizadas para la 5ta, 7ma de esta forma el filtro intentara proporcionar la energía armónica requerida por las cargas no lineales conectadas a lo largo del mismo, fenómeno conocido como importación de armónicos.

Al ser filtros sintonizados, pueden llegar a ser inefectivos si las armónicas varían debido a cambios en la carga, los filtros activos pueden ser la solución para corrientes armónicas variables.

### 1.9.2.2. Filtros activos

El principio de los filtros activos consiste en una fuente controlada de corriente cuyas armónicas tienen la misma magnitud y desfasadas  $180^\circ$  de las armónicas a eliminar. El principio de estos filtros se muestra en la figura 1.15.

GRAFICO No 1.16 FILTRO ACTIVO



FUENTE: POWER QUALITY, C. SANKARAN  
 ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Los filtros activos, a veces llamados Acondicionadores Activos de Líneas de Potencia (sus siglas en inglés APLC's), diferentes de los filtros pasivos debido a que acondicionan las corrientes armónicas en lugar de bloquearlas o drenarlas.

Los filtros armónicos activos utilizan medios electrónicos (invertidores de puente y rectificadores) para monitorear y censar las corrientes armónicas y crear corrientes armónicas de compensación.

### ***1.9.2.3 Filtros híbridos (filtros pasivos y activos)***

Los filtros híbridos son combinaciones de filtros activos con filtros pasivos, para aumentar la potencia a manejar o disminuir los armónicos a tratar por el filtro activo.

La combinación de filtros activos y pasivos permite reducir el tamaño, y por lo tanto el coste de los filtros activos manteniendo las ventajas que presentan estos filtros activos frente a los filtros pasivos

## CAPÍTULO II

### 2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 2.1 Aspectos Generales de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

##### 2.1.1. *Antecedentes*

El dos de julio del año 1959, se conforma Empresa Eléctrica Ambato, como empresa privada con finalidad social o pública, luego de que se suscribiera la escritura de constitución el veintinueve de abril del mismo año, brinda el servicio de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica, actualmente el área de concesión comprende las Provincias de: Tungurahua, Pastaza, Morona Santiago, Napo y Bolívar.

En el año 2010 se obtuvo la certificación internacional bajo el estándar ISO 9001:2008 del **Sistema de Gestión de la Calidad**, logro que ha permitido simplificar los procesos, lograr eficiencia y eficacia, mejorar el servicio y satisfacer las expectativas del cliente.

##### 2.1.2 *Filosofía Institucional*

Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., EEASA, es una institución que con más de medio siglo de existencia y con una eficiente trayectoria de servicio a la sociedad, ha mantenido sus altos estándares técnicos,

laborales y de servicio al cliente en su área de concesión, gracias a la efectiva gestión de sus trabajadores, directivos y autoridades. El trabajo mancomunado ha dado lugar a que EEASA sea catalogada como Distribuidora Clase "A", es decir, una organización que sabe a dónde va y conoce exactamente lo que tiene que hacer. Por su eficiencia en la prestación de servicios, obtuvo la certificación ISO 9001:2008 en gestión de calidad, lo que sin duda constituye un honor pero al mismo tiempo, compromete a una constante mejora.

En estos primeros cincuenta y cuatro años de vida, la sociedad nos encuentra con el área de cobertura más grande del País, que incluye las Provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Morona Santiago.

Desde hace un año, administramos la Provincia de Bolívar, gracias a la confianza conferida por el organismo rector del sector eléctrico, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER. Con esta nueva responsabilidad, la Empresa cuenta con aproximadamente 300.000 clientes.

### ***2.1.3 Misión***

"Suministrar Energía Eléctrica, con las mejores condiciones de calidad y continuidad, para satisfacer las necesidades de los clientes en su área de concesión, a precios razonables y contribuir al desarrollo económico y social".

### ***2.1.4 Visión***

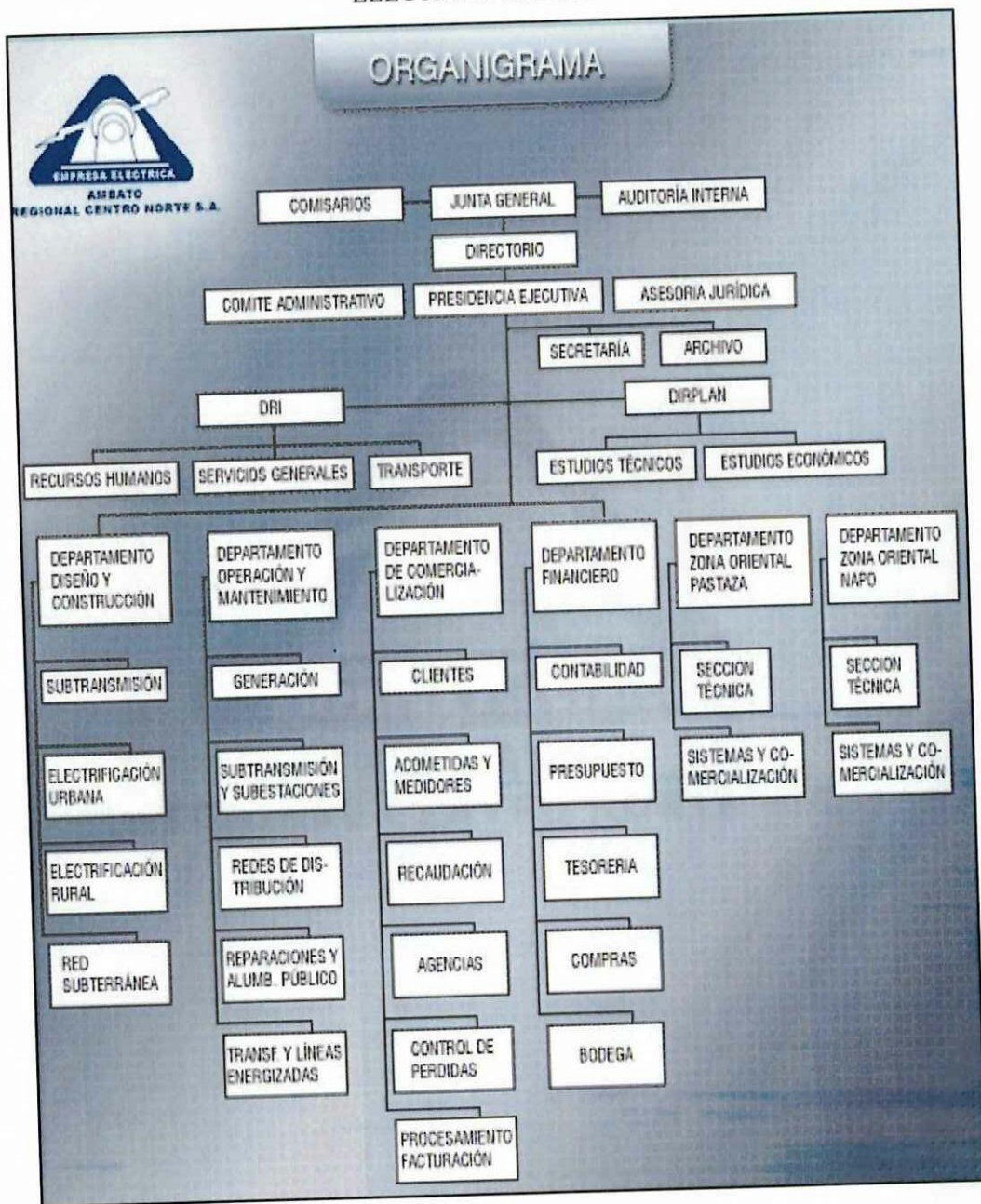
"Constituirse en empresa líder en el suministro de energía eléctrica en el país".

### ***2.1.5 Principio Fundamental***

- Disponer de Recursos Humanos capacitados, motivados y comprometidos con los objetivos institucionales.
- Practicar una gestión gerencial moderna, dinámica, práctica, competitiva, comprometida en el mejoramiento continuo.

- Disponer de un sistema eléctrico confiable, utilizando tecnología adecuada.
- Tener procesos automatizados e integrados.

**GRAFICO No 2.1 SISTEMA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A**



FUENTE: DEPARTAMENTO DE RELACIONES HUMANAS  
ELABORADO POR: EEASA

## ***2.2 Diseño metodológico***

### ***2.2.1 Método de investigación.***

Es el procedimiento riguroso, formulado de una manera lógica, que el investigador debe seguir en la adquisición del conocimiento. Para este trabajo se utilizaran los siguientes métodos.

#### ***2.2.1.1 Método inductivo.***

**Bernal Torres, Cesar Augusto** (2006) dice que: “Con este método se utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones, cuya aplicación sea de carácter general”. Pág. 56.

Este método se utilizará para realizar un estudio de la incidencia de contenido armónico y de las posibles estrategias que ayuden al mejoramiento de la calidad de energía, del estado actual de cada residencia de los usuarios existentes.

#### ***2.2.1.2 Método Analítico***

**Bernal Torres, Cesar Augusto** (2006) dice que: “Este método es un proceso cognoscitivo, que consiste en descomponer un objeto de estudio separando cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual.

Se aplicará este método de investigación por que se analizaran individualmente los armónicos que más incidencia tengan en la red de distribución. Además nos sirve para determinar si existe calentamiento en los conductores del alimentador.

### ***2.2.2 Tipos de investigación.***

Para la elaboración del proyecto de investigación se utilizara los siguientes tipos de investigación.

### ***2.2.2.1 De Campo***

**Melvin Campos Ocampo** (2009) dice que: “Exige salir a recabar los datos. Sus fuentes pueden ser la naturaleza o la sociedad pero, en ambos casos, es necesario que el investigador vaya en busca de su objeto para poder obtener la información”. Pág. 17.

Se usara esta investigación porque se pretende ejecutar las mediciones en el lugar donde se genera el problema, que por lo concerniente se encontrara una solución factible con mayor rapidez y de calidad.

### ***2.2.2.2 Observación***

**Carlos Villalba Avilés** (2006) dice que: “Es la técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho caso o actividad, tomar información y registrarla para su posterior análisis”. Pág. 112.

Este tipo de investigación nos permite observar de manera directa el lugar mismo donde se desarrolla la investigación mediante la utilización de instrumentos de registro, ya que es necesario conocer de manera real y precisa el estado de las perturbaciones existentes en el alimentador.

## ***2.3 Calculo de población y muestra.***

### ***2.3.1 Población***

Según los datos del alimentador Ficoa, de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte SA. El número de transformadores trifásicos y monofásicos son de 204, los cuales se encuentran conectados en el alimentador, por lo que se determinó algunas zonas del sector en el cual se realizó el estudio como plan piloto debido al número reducido de equipos analizadores existentes.

### 2.3.2 Muestra

Por lo tanto, el tamaño muestral para estimar el parámetro en el muestreo aleatorio simple, fijado el error de muestre se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N z^2 p q}{e^2 N + z^2 p q} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

**Donde:**

- n.- es el tamaño de la muestra;
- z.- es el nivel de confianza;
- p.- probabilidad a favor;
- q.-  $q=1-p$
- N.- es el tamaño de la población;
- e.- es la precisión o el error.

Recalcando, que el error muestral es inversamente proporcional al tamaño de la muestra, es decir, que a un tamaño muestral mayor, el error muestral será menor y que si se realizara un estudio involucrando a todo el universo, entonces el error muestral sería del cero por ciento, nos encontramos con el hecho de que no siempre es posible realizar la recolección de datos atendiendo a la totalidad de las unidades de análisis, ya sea por lo numeroso del universo o la falta de equipos destinados a la investigación como es nuestro caso.

De acuerdo a los datos obtenidos en una población de  $N=204$  transformadores residenciales y comerciales, un nivel de confianza del 95% ( $z=1.96$ ),  $p=q=0.5$  y un error de  $e=20\%$ , el tamaño de la muestra sería de:

$$\begin{aligned} n &= \frac{204 * (1.969)^2 * 0.5}{(0.2)^2 * 204 + (1.969)^2 * 0.5} \\ n &= \frac{391,843}{15,6737} \\ n &= 25,001 \end{aligned}$$

Este resultado de la muestra es de 25 que es más de cinco por ciento de la muestra total, tanto usuarios residenciales y comerciales especificados según la resolución del CONELEC- 004/01, de CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION, se obtuvo los resultados citados en la siguiente tabla.

### 2.3.2.1 Transformadores de la zona comercial

Los usuarios de bajo voltaje seleccionados según la muestra de la población y que fueron utilizados para el registro de mediciones que se encuentra dentro de la zona comercial del alimentador FICOA cuentan con codificación interna de la empresa y son las siguientes:

**TABLA No 2.1 ZONA TIPO COMERCIAL PUNTOS DE MEDICIÓN**

Trafo	Dirección	Código	KVA	TIPO	No Usuarios
1	Las cerezas y Avda. Los Guaytambos	2111	112.5	trifásico	51
2	Avda. Los Guaytambos y Las Manzanas	6629	112.5	trifásico	59
3	Avda. Los Guaytambos y Albaricoques	2056	112.5	trifásico	53
4	Avda. Los Guaytambos	2060	45	trifásico	45
5	Las Frambuesas y Avda. Los Guaytambos	2116	15	banco	21
6	Los Higos y Pasaje S/N	1120	112.5	trifásico	58
7	Los Taxos y Nueces	2127	75	trifásico	33
8	Avda. Rodrigo Pachano y Aceitunas	1344	50	trifásico	53
9	Avda. Rodrigo Pachano y Juan Montalvo	897	30	trifásico	17
10	Los Girasoles y Avda. Los Guaytambos	4361	15	banco	30

FUENTE: USUARIOS COMERCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 2.3.2.2 Transformadores de la zona residencial

Los usuarios de bajo voltaje seleccionados según la muestra de la población y que fueron utilizados para el registro de mediciones que se encuentra dentro de la zona residencial del alimentador FICOA cuentan con codificación interna de la empresa y son las siguientes:

**TABLA No 2.2 ZONA TIPO RESIDENCIAL PUNTOS DE MEDICIÓN**

Trafo	Dirección	Código	KVA	TIPO	No Usuarios
1	Los Babacos y Las Limas	1524	50	trifásico	32
2	Los Membrillos y Tunas	2077	45	trifásico	53
3	Las Limas y Albaricoques	3505	50	trifásico	40
4	Las Avellanas y Las Limas	2907	75	monofásico	30
5	Las Bananas y Las Limas	5577	50	monofásico	22
6	Los Higos y Los Chamburo	6699	15	monofásico	20
7	Las Aceitunas y Zarzamoras	2072	37.5	monofásico	10
8	Cdla. El Maestro	2073	75	trifásico	40
9	Condominio Los Nogales	8676	50	monofásico	30
10	Las Magnolias	9117	50	trifásico	30
11	Las Moras y Pasaje S/N	1247	25	monofásico	25
12	Los Mirabeles y Avda. Los Guaytambos	6455	15	monofásico	20
13	Los Mirabeles y Guayabas	1341	50	monofásico	14
14	Las Calabazas e Higos	6749	15	monofásico	24
15	Las Magnolias y Mísperos	620	37.5	monofásico	30

FUENTE: USUARIOS RESIDENCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## 2.4 Operacionalización de las variables

### 2.4.1 Contenido Armónico

TABLA No 2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Cualquier señal periódica por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental	Colocación de analizadores en los nodos del alimentador Ficoa.	THD Flickers No de armónicos	Analizador de carga
	Realizar pruebas de rutina a varios transformadores residenciales y comerciales del alimentador.	Calentamiento Perdidas	

ELABORADOR POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 2.4.2 Calidad de Energía

TABLA No 2.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Conceptualización	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Establece pautas para los parámetros eléctricos, para poder entregar energía de buena calidad.	Distorsión Armónica	Perturbaciones Sobrevoltajes	software Cymdist
	Dimensionamiento de filtros	Calculo y Diseño	
	Calculo de armónicos de voltaje y corriente	De acuerdo a Normas y Reglamentos dispuestos por cada país.	

ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## *2.5 Software y equipos utilizados*

### *2.5.1 Equipo de medición*

La recopilación de los datos necesario para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, fue necesario la utilización de un equipo, el cual es el analizador de calidad de energía trifásica, que permite obtener datos de mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, este equipo fue instalado en cada una de las salidas del transformador.

### *2.5.2 Analizador de calidad de energía trifásico*

El equipo utilizado para el análisis de la incidencia de armónicos ha sido seleccionado de acuerdo a los estándares de CONELEC; para obtener los datos referente a las perturbaciones, fue necesario la instalación de registradores en cada una de las salidas de la red de bajo voltaje a la salida del transformador, ya que este equipo entrega datos por fase, a continuación se detalla algunas características del registrador PowerPad® Modelo 3945-B.

- Mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas de RMS verdaderas a 256 muestras/ciclo, mas CC.
- Formas de ondas a color en tiempo real.
- Configuración de pantalla.
- Escala y reconocimiento automático de sondas amperimétricas.
- Medición de corriente y voltaje RMS verdadera.
- Mide voltios, amperios y potencia CC.
- Visualiza y captura armónicos de voltaje, corriente y potencia hasta el 50o orden, incluida la dirección, en tiempo real.
- Captura transitorios hasta 1/256 o de un ciclo.
- Almacena una completa base de datos registrados.
- Visualización de diagrama fasorial.
- VA, VAR y W por fase y trifásico.

- Cálculo y visualización de Corrientes del neutro par a las tres fases.
- Visualización del factor K del transformador.
- Visualización del factor de potencia.
- Captura hasta 50 transitorios.
- Visualización del flicker de corto plazo.
- Desequilibrio de fases (corriente y voltaje).
- Alarmas, sobrevoltajes y subvoltajes.
- Función de impresión de pantalla: captura formas de ondas u otros datos de la pantalla.

**GRAFICO No 2.2 ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA TRIFÁSICO  
POWERPAD® MODELO 3945-B**



FUENTE: LABORATORIO DE TRANSFORMADORES DE LA EEASA  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## ***2.6 Adquisición de datos***

El procedimiento para obtener los registros, consiste en filtrar los datos que son de utilidad para el análisis, ya que, el instrumento de medición arroja mediciones en forma global de todos los parámetros recolectados.

### ***2.6.1 Creación de la base de datos***

El software del equipo de medición PowerPad® Modelo 3945-B tiene la opción de exportar los datos de las mediciones a Excel, se ha escogido este último como

la plataforma en la cual se realizara la programación necesaria para filtrar los datos y generar los informes.

Excel es el software escogido, también por las facilidades que estén presenta para realizar cálculos y generar gráficos estadísticos, además por su uso es común en la mayoría de usuarios.

El procedimiento para crear la base de datos implica en primera instancia organizar los datos exportados del equipo de medición en la hoja de cálculo, como se aprecia en la figura, los datos que se tiene en esta etapa comprenden la totalidad de los registro de voltaje, corriente, potencias, flickers, THD en voltaje y corriente, etc. Se incluye también la fecha y la hora de toma de cada registro.

**GRAFICO No 2.3** BASE DE DATOS, EXTRACTO DE LA HOJA DE CÁLCULO DE MEDICIONES REALIZADAS

4	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
5	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
6	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
7	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
8	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
9	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
10	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
11	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
12	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
13	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
14	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
15	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
16	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
17	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
18	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
19	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
20	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
21	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
22	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
23	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
24	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
25	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
26	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
27	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
28	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
29	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
30	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
31	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
32	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
33	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
34	A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
9	27/11/2013	12:50:00	60	212.2	213	213.6	0.3	0.2	0.4	1.41	1.42	1.41	123	122.5	123.2	0.1	0.2	0.1	
10	27/11/2013	13:00:00	59.99	211.5	212.5	213.1	0.3	0.3	0.5	1.41	1.42	1.41	122.7	122.2	123	0.3	0.2	0.2	
11	27/11/2013	13:10:00	59.99	211.5	212.6	213.3	0.4	0.3	0.5	1.41	1.42	1.41	122.7	122.1	123.1	0.4	0.3	0.3	
12	27/11/2013	13:20:00	59.99	211.3	212.4	213.1	0.4	0.3	0.5	1.41	1.42	1.41	122.6	122	122.9	0.4	0.3	0.3	
13	27/11/2013	13:30:00	59.99	211.6	212.5	213.3	0.4	0.4	0.5	1.41	1.42	1.41	122.7	122.2	123	0.4	0.3	0.2	
14	27/11/2013	13:40:00	59.99	210.6	211.8	212.5	0.5	0.4	0.5	1.41	1.42	1.41	122.2	121.7	122.6	0.4	0.4	0.3	
15	27/11/2013	13:50:00	59.99	211.3	212.3	213	0.4	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.2	121.5	122.5	0.2	0.1	0.1	
16	27/11/2013	14:00:00	59.99	210.9	211.9	212.3	0.3	0.2	0.4	1.41	1.41	1.41	122.6	122	122.6	0.3	0.1	0.3	
17	27/11/2013	14:10:00	59.98	210.8	211.9	212.3	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	121.9	121.4	122.1	0.3	0.2	0.3	
18	27/11/2013	14:20:00	59.99	210.2	211	211.7	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.4	121.7	121.3	122	0.3	0.2	0.3	
19	27/11/2013	14:30:00	59.99	210	210.9	211.4	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.4	121.8	121.4	122.2	0.3	0.2	0.3	
20	27/11/2013	14:40:00	59.99	210.2	211.1	211.7	0.3	0.3	0.5	1.41	1.41	1.41	121.8	121.4	122	0.3	0.2	0.4	
21	27/11/2013	14:50:00	60.01	210.2	210.9	211.5	0.3	0.3	0.5	1.41	1.41	1.41	121.7	121.2	121.9	0.3	0.2	0.4	
22	27/11/2013	15:00:00	59.99	210	210.7	211.4	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	121.7	121.2	121.8	0.3	0.1	0.3	
23	27/11/2013	15:10:00	59.99	209.9	210.6	211.2	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	121.7	121.2	121.8	0.3	0.2	0.4	
24	27/11/2013	15:20:00	59.99	210.2	210.9	211.6	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	121.9	121.4	122	0.3	0.2	0.4	
25	27/11/2013	15:30:00	59.99	210.2	210.9	211.7	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	121.9	121.3	122.2	0.3	0.2	0.4	
26	27/11/2013	15:40:00	59.99	210.8	211.5	212.3	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.2	121.7	122.4	0.3	0.1	0.3	
27	27/11/2013	15:50:00	59.99	210.8	211.5	212.3	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.1	121.6	122.3	0.2	0.1	0.3	
28	27/11/2013	16:00:00	59.99	210.6	211.3	212	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.2	121.8	122.5	0.2	0.2	0.3	
29	27/11/2013	16:10:00	59.99	210.9	211.6	212.3	0.3	0.3	0.3	1.41	1.41	1.41	122.2	121.7	122.4	0.2	0.2	0.3	
30	27/11/2013	16:20:00	60	210.7	211.5	212.2	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.2	121.7	122.3	0.2	0.2	0.3	
31	27/11/2013	16:30:00	60	210.9	211.6	212.3	0.3	0.3	0.4	1.41	1.41	1.41	122.2	121.7	122.3	0.2	0.2	0.3	
32	27/11/2013	16:40:00	59.99	211.4	211.8	212.4	0.3	0.2	0.4	1.41	1.41	1.41	122.4	122	122.5	0.2	0	0.1	
33	27/11/2013	16:50:00	59.99	211.6	212.1	212.7	0.3	0.2	0.4	1.41	1.41	1.41	122.6	122.1	122.7	0.2	0	0.1	

FUENTE: BASE DE DATOS  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## 2.7 Descripción del software CYMDIS

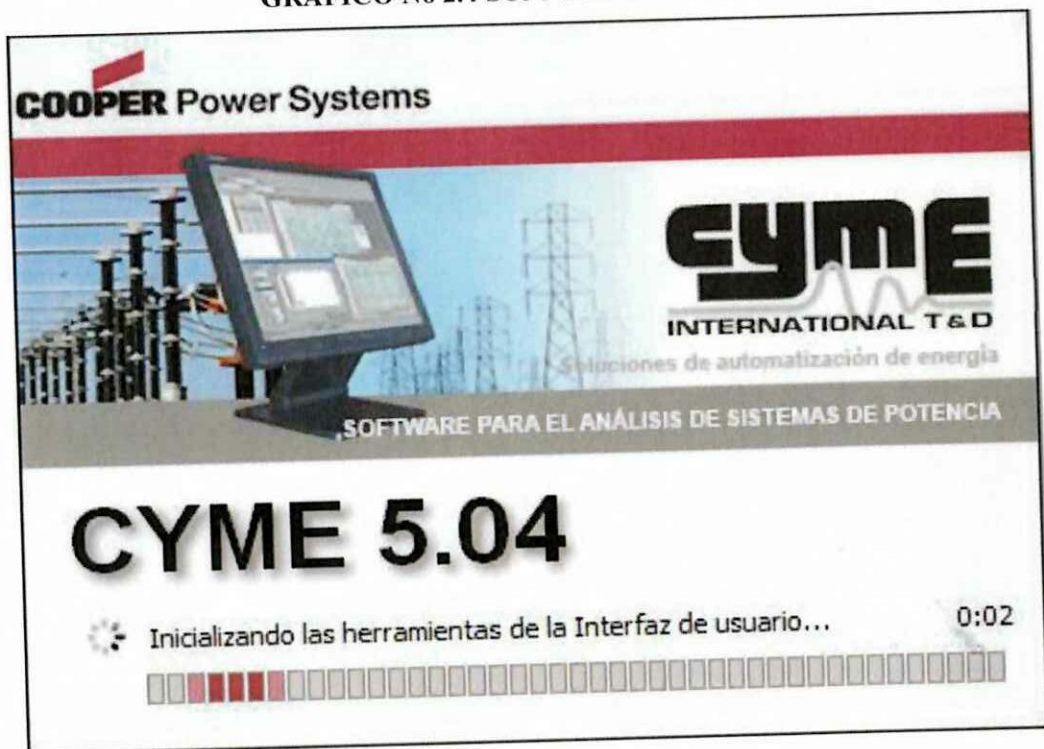
El programa CYME para el análisis de redes eléctricas es una herramienta avanzada de simulación que ayudan a los ingenieros en redes eléctricas de transporte, distribución e industriales. CYME fue diseñado para ayudarles a afrontar los retos complejos y emergentes de la planificación y explotación de

redes eléctricas. La elaboración de escenarios de planificación y de estudios de casos permite evaluar de forma precisa y verificar el impacto de cambios o reconfiguraciones hechos a la red en su estado actual o futuro.

La interfaz unificada y clara del programa CYME vuelve muy sencillas las complejas funciones de los cálculos ingenieriles en el cuadro de cualquier proyecto. También cubre un amplio espectro de análisis que permiten realizar simulaciones en cualquier configuración de red. Por ejemplo: flujo de potencia, cortocircuito, estabilidad transitoria, armónicos, análisis de contingencias, análisis de riesgos por relámpago de arco, arranque de motor, coordinación de los dispositivos de protección, etc.

En el Grafico 2.4 se observa la portada de inicio del software Cymdist versión 5.04 para la simulación del alimentador Ficoa.

GRAFICO No 2.4 SOFTWARE CYMDIST



FUENTE: <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>.  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA



### 2.7.1 Descripción del módulo CYMHARMO

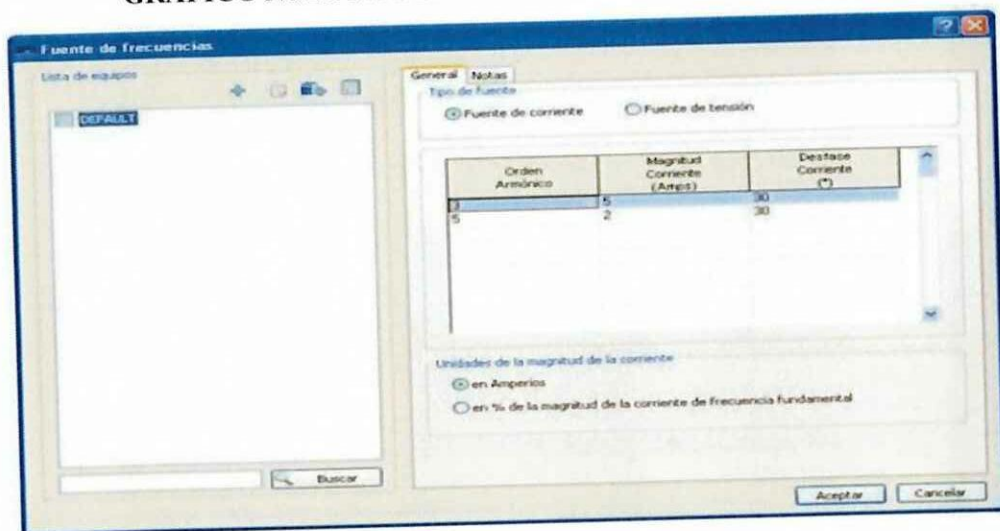
CYMHARMO es el módulo del programa CYME diseñado para efectuar análisis de armónicos en redes de energía eléctrica.

CYMHARMO ofrece las siguientes opciones de análisis:

- Impedancia Thevenin como función de la frecuencia en una barra o nudo de la red.
- Tensiones armónicas en barras, corrientes de línea y flujos de potencia en líneas.
- Distorsión armónica (factor de distorsión armónica HDF o distorsión armónica total THD) y factores de interferencia telefónica (TIF).
- Cálculos de la tensión y de la intensidad en condensadores para fines de capacidad del condensador.
- Modelación trifásica completa (por omisión) o modelación monofásica.

Este modelo es el método general para modelar cualquier dispositivo generador de armónicos. Requiere magnitudes de corriente/tensión en Amperios/kV o en % de la magnitud de corriente/tensión a la frecuencia fundamental. Se puede ingresar corrientes que contengan hasta 100 frecuencias.

**GRAFICO No 2.5** MODELO GENERADOR DE ARMÓNICOS



FUENTE: <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>.  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## 2.8 Análisis de Armónicos

Mediante la adquisición de datos obtenidos de parámetros eléctricos de la red de distribución del alimentador FICOA y con la ayuda del analizador de red se procedió a realizar el análisis respectivo de los índices armónicos en los transformadores que se muestran en la tabla No. 2.1 y 2.2.

### 2.8.1 Armónicos de voltaje del transformador No 2111

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2111 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.5.

En la tabla No 2.5 muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.5 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR NO 2111.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.128	0.071	0.314	1.5
5	0.942	0.871	0.828	2
7	0.1	0.142	0.171	2
9	0	0	0	1

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.5, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

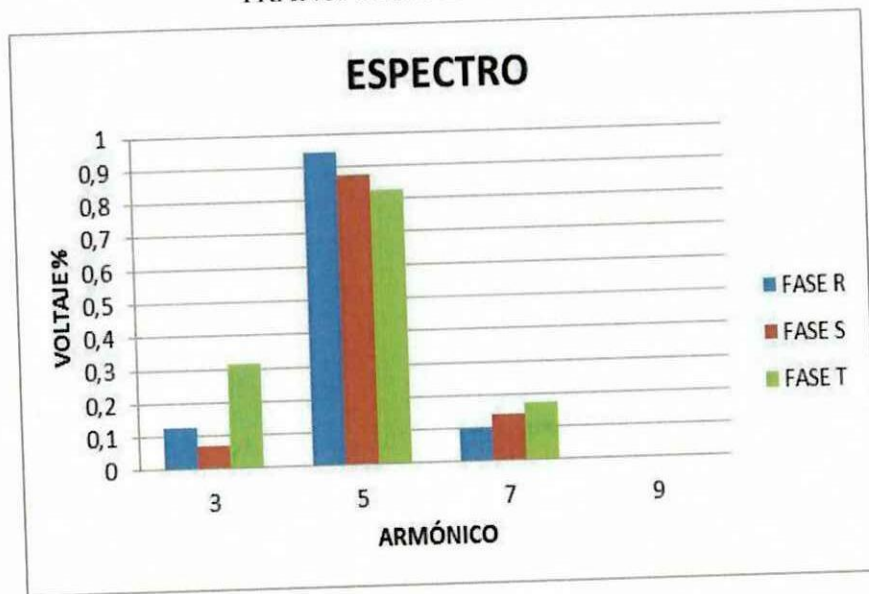
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojo los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.883

Fase S: 0.785

Fase T: 0.928

**GRAFICO No 2.6** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No. 2111



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.6 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2111 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todas las armónicas en las tres fases.

### 2.8.2 Armónicos de corriente del transformador No 2111

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2111 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 1.4

**TABLA No 2.6 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADO No. 2111**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	9.34	23.46	13.7	7.0
5	34.6	45.68	33.76	7.0
7	23.38	4.99	33.05	7.0
9	3.68	1.97	3.38	7.0
11	0.05	1.62	0.72	3.5
13	1.257	2.3	0.957	3.5
15	2.41	4.23	1.54	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.6 la tercera y la quinta armónica presentan rangos de valores superiores establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado. De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben

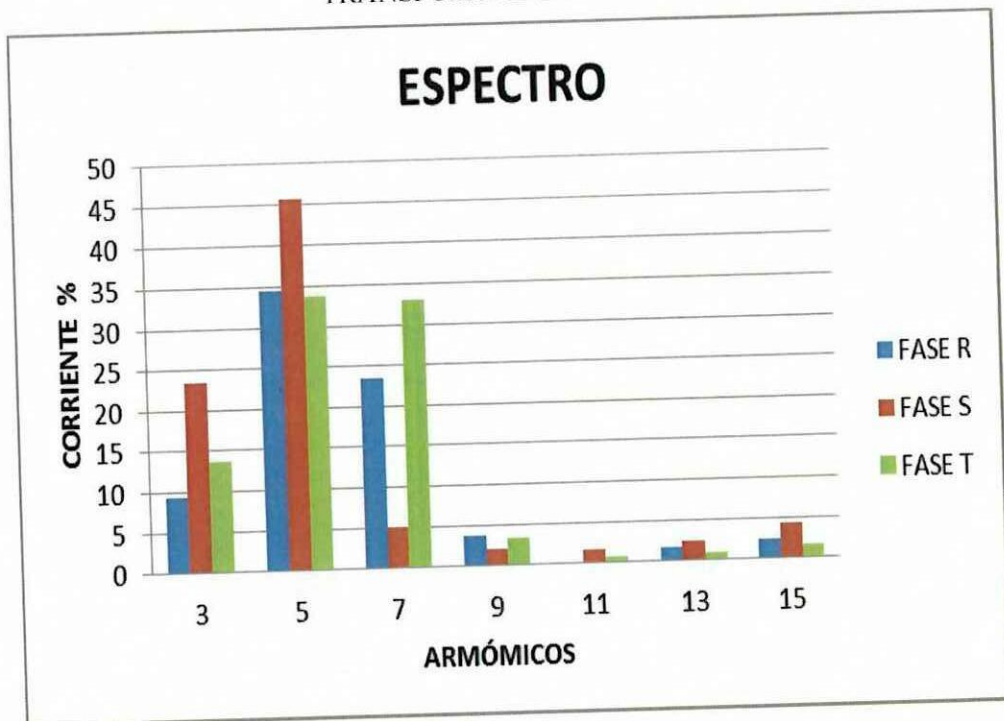
cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 43.04

Fase S: 51.88

Fase T: 49.34

**GRAFICO No 2.7 MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 2111**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.7 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2111 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la regulación del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y la quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las tres fases y no cumplen con la normativa.

### 2.8.3 Armónicos de voltaje del transformador No 1524

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1524 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.7.

En la tabla No 2.7 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.7. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR NO 1524.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.3	0.542	0.671	1.5
5	1.028	1	1.057	2.0
7	0.528	0.542	0.314	2.0
9	0.242	0.257	0.128	1
11	0.385	0.6	0.485	1.5
13	0.142	0.242	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.7. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

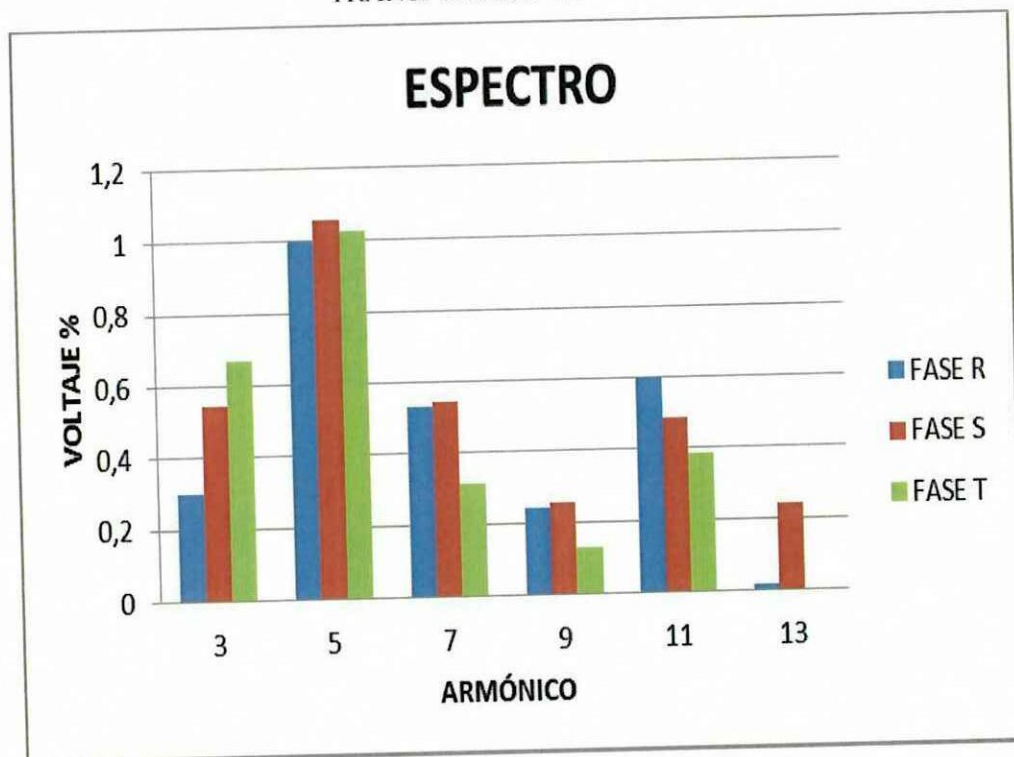
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojo los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.157

Fase S: 1.400

Fase T: 1.185

**GRAFICO No 2.8 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 1524**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En la grafico No 2.8 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 1524 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumplen todas las armónicas en las tres fases.

#### 2.8.4 Armónicos de corriente del transformador No 1524

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1524 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.8.

**TABLA No 2.8. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1524**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	7.02	4.08	7.72	7.0
5	6.45	6.85	6.77	7.0
7	6.37	8.4	4.98	7.0
9	7.00	6.27	4.31	7.0
11	3.84	5.97	4.45	3.5
13	3.68	4.5	1.44	3.5
15	2.52	1.95	1.6	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.8, los valores de los armónicos de corriente se encuentran en los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben

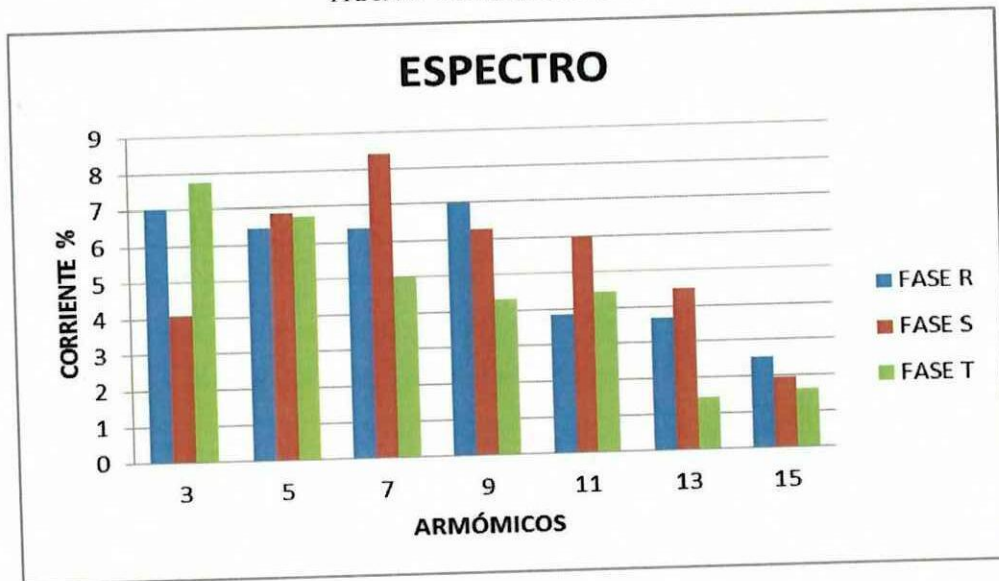
cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 14.66

Fase S: 15.26

Fase T: 13.16

**GRAFICO No 2.9** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1524



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.9 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1524 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que todas las armónicos cumplen con las normativa IEEE 519-1992

### 2.8.5 Armónicos de voltaje del transformador No 2077

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2077 de potencia 45 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC

004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No. 2.9.

En la tabla No 2.9 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.9. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 2077**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.41	0.32	0.02	1.5
5	0.9	1.01	0.75	2.0
7	0.47	0.61	0.25	2.0
9	0	0	0	1
11	0.34	0.32	0.48	1.5
13	0.14	0.24	0.25	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla 2.9, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

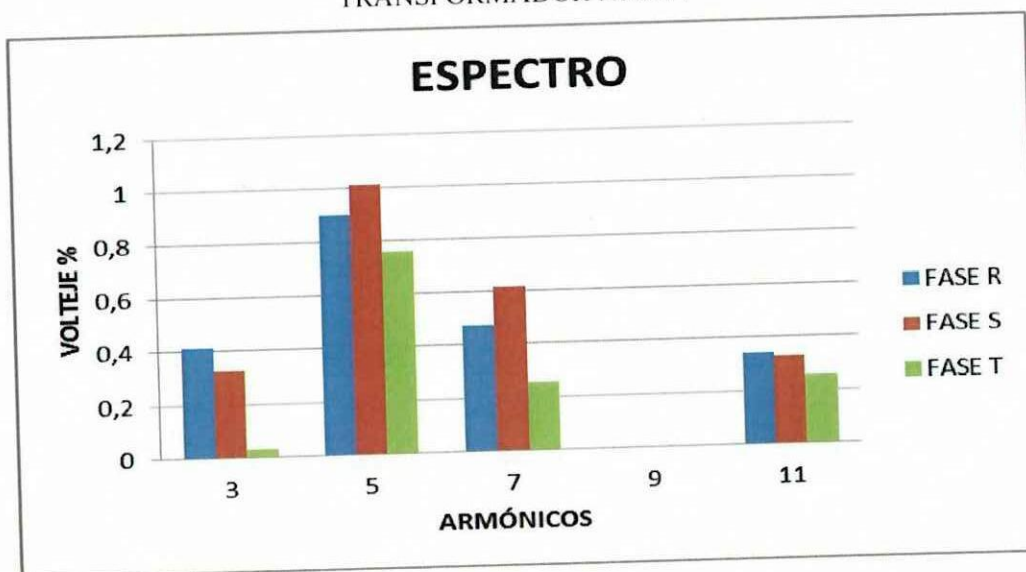
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1

Fase S: 1.17

Fase T: 0.81

**GRAFICO No 2.10** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2077



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.10 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2077 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.6 Armónicos de corriente del transformador No 2077**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2077 de potencia 45 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa



que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.10.

**TABLA No 2.10. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR DEL TRANSFORMADOR No. 2077**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	3.27	8.25	7.2	7.0
5	3.11	3.87	5.07	7.0
7	4.72	6.67	7.77	7.0
9	1.78	5.05	6.65	7.0
11	3.62	0.32	0.25	3.5
13	1.45	4.05	2.28	3.5
15	3.24	1.31	1.62	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.10, los valores de los armónicos parciales se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

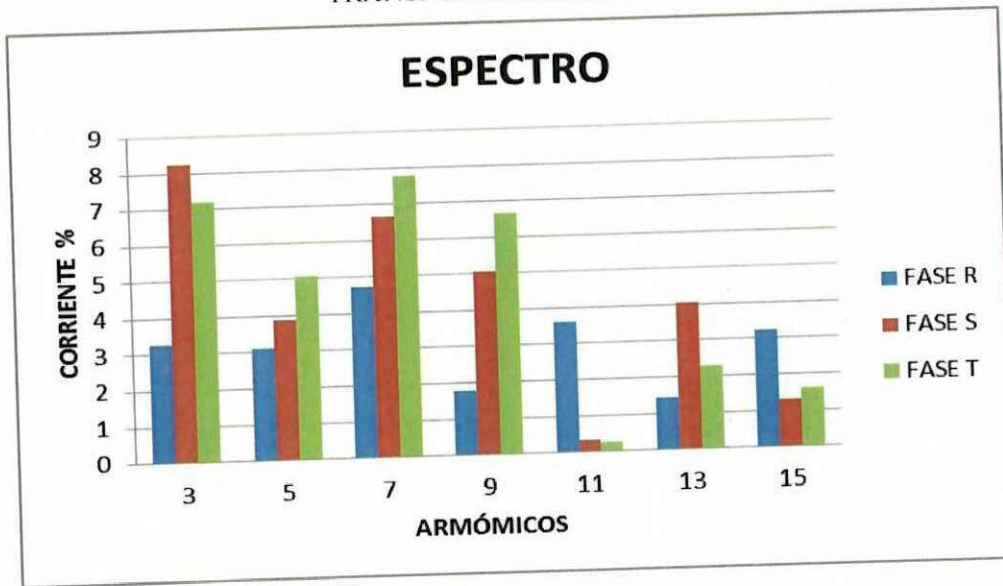
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 8.45

Fase S: 13.08

Fase T: 13.78

**GRAFICO No 2.11** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2077



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.11, se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2077 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que todos los armónicos cumplen con la normativa IEEE 519-1992.

### **2.8.7 Armónicos de voltaje del transformador No 2116**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2116 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.11.

En la tabla No 2.11 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.11. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2116.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	2.02	1.95	1.9	1.5
5	0.91	0.71	0.74	2.0
7	0.12	0.05	0.08	2.0
9	0.65	0.05	0.08	1
11	0	0	0	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.11. El nivel de armonicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

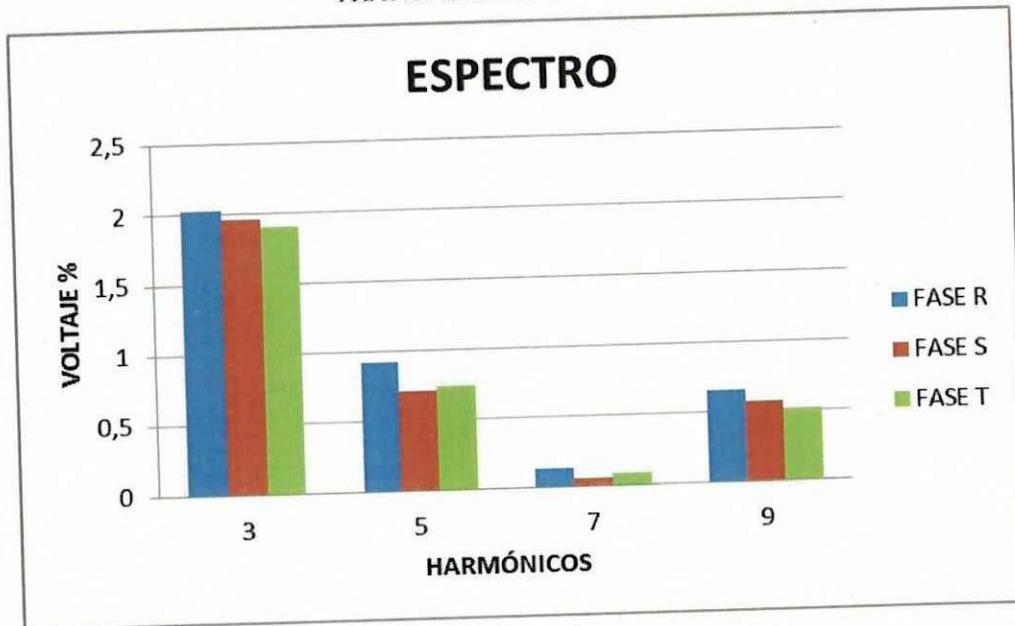
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 2.12

Fase S: 1.94

Fase T: 1.9

**GRAFICO No 2.12 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2116**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.12 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2116 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.8 Armónicos de corriente del transformador No 2116**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2116 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.12.

**TABLA No 2.12. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2116.**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	5.34	6.21	3.52	7.0
5	6.44	5.11	7.67	7.0
7	6.47	6.44	2.85	7.0
9	6.35	4.88	1.42	7.0
11	3.11	3.22	2.38	3.5
13	2.18	2.4	2.64	3.5
15	1.31	1.21	2.1	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.12, los valores de los armónicos parciales se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

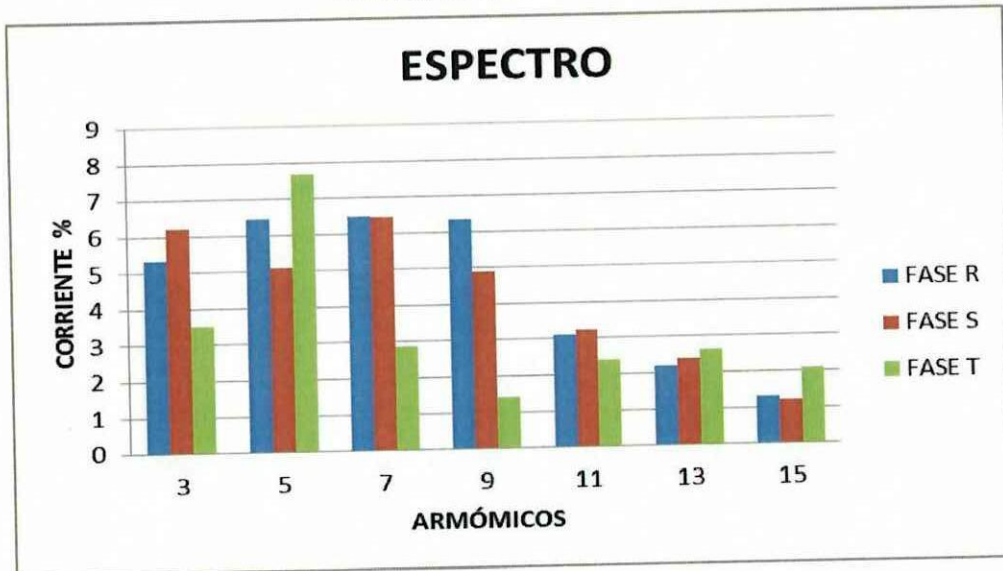
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.97

Fase S: 12.14

Fase T: 9.91

**GRAFICO No 2.13** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2116



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.13 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2116 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que todos los armónicos cumplen con la normativa IEEE 519-1992.

### **2.8.9 Armónicos de voltaje del transformador No 3505**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 3505 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla 2.13.

En la tabla No 2.13 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.13. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 3505.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.98	1.5	1.22	1.5
5	1.25	1.67	1.3	2.0
7	1.04	0.94	0.67	2.0
9	0.68	0.44	0.58	1
11	0.54	0.51	0.54	1.5
13	0.24	0.34	0.37	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.13, nivel de armonicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

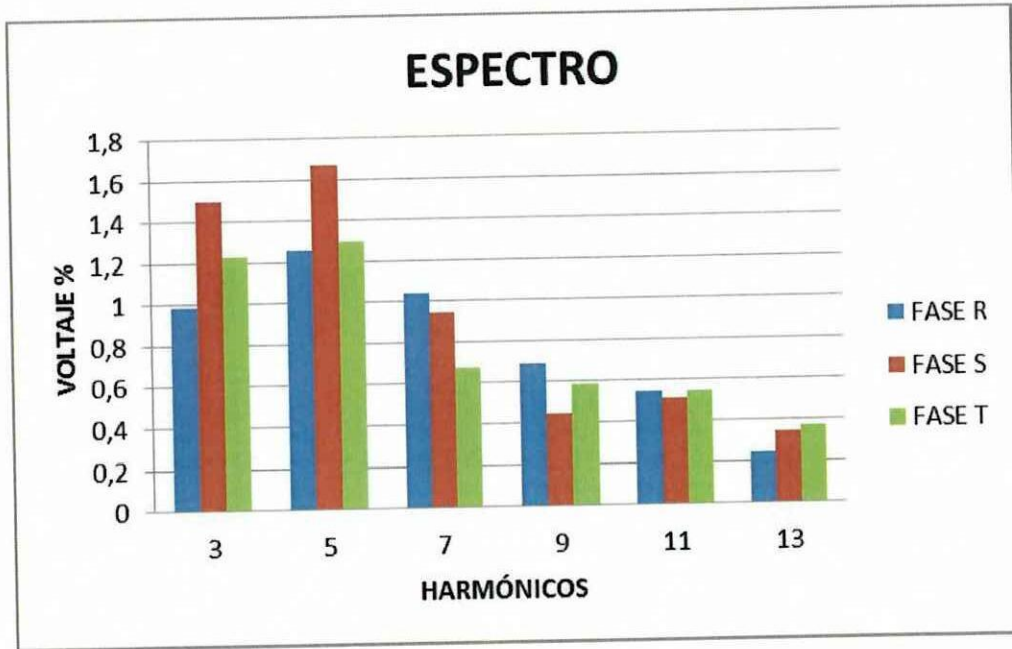
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.88

Fase S: 2.25

Fase T: 1.98

**GRAFICO No 2.14** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 3505



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.14 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 3505 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumplen con los límites de distorsión en las tres fases.

#### **2.8.10. Armónicos de corriente del transformador No 3505**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 3505 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.14.

**TABLA No 2.14. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 3505**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	6.34	7.72	6.77	7.0
5	6.71	4.25	2.52	7.0
7	6.97	5.64	5.31	7.0
9	5.81	2.87	4.14	7.0
11	2.4	3.07	1.94	3.5
13	1.75	1.5	1.98	3.5
15	1.5	0.64	0.8	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.14, los armónicos parciales se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

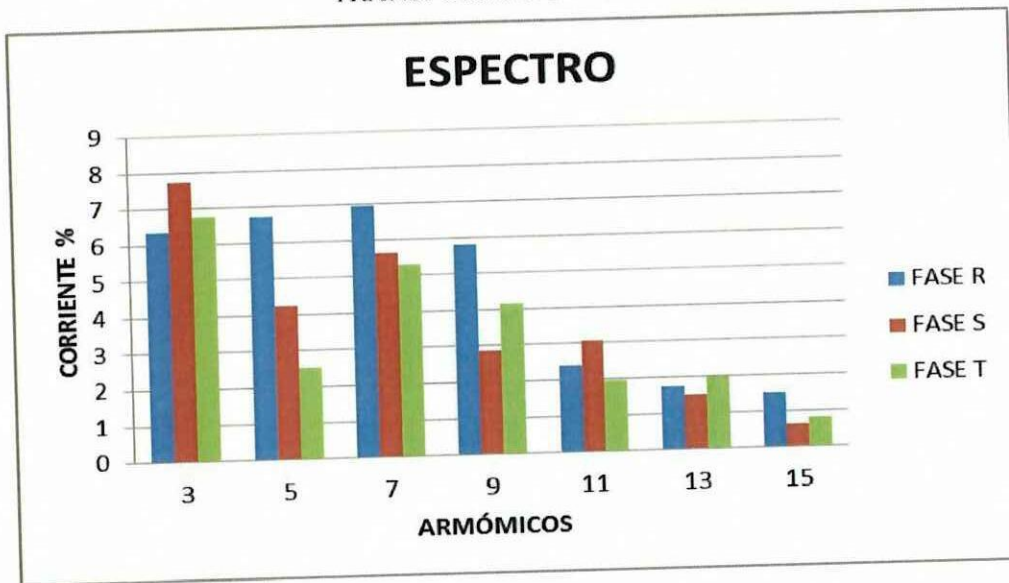
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 13.36

Fase S: 11.39

Fase T: 10.28

**GRAFICO No 2.15** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 3505



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.15 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 3505 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todos los armónicos establecidos por la normativa IEEE 519-1992

### *2.8.11 Armónicos de voltaje del transformador No 2907*

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2907 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.15.

En la tabla No 2.15 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.15. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 2907**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.02	1.01	1.5
5	0.55	0.54	2.0
7	0.02	0.03	2.0
9	0.38	0.35	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

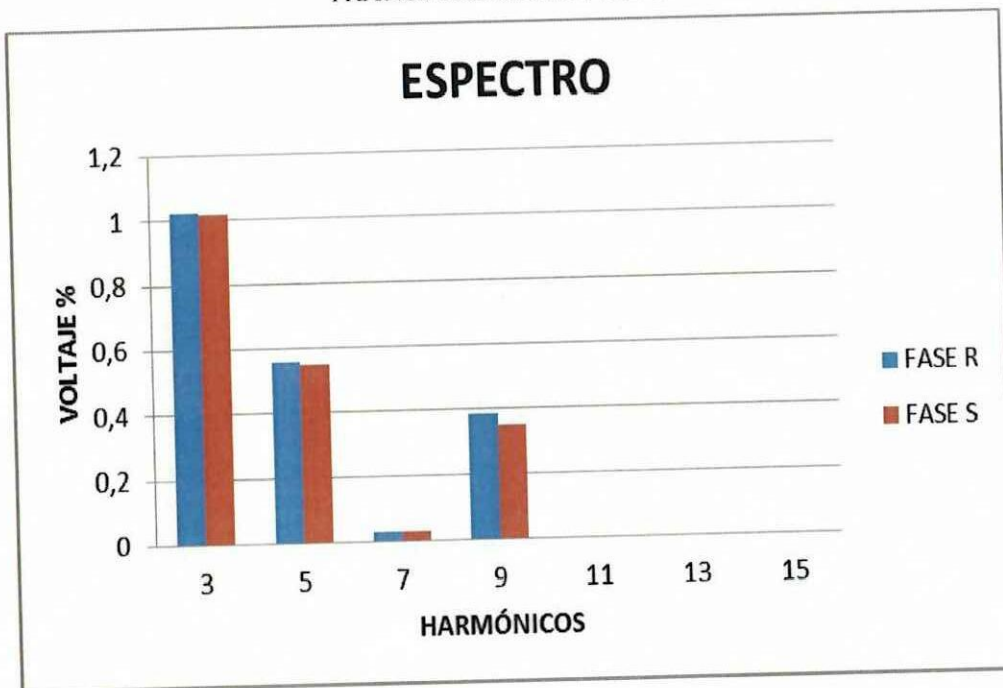
Como se puede apreciar en la tabla No 2.15. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumple en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.26

Fase S: 1.24

**GRAFICO No 2.16 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2907**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.16 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2907 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumple con las armónicas parciales en las tres fases

### **2.8.12 Armónicos de corriente del transformador No 2907**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2907 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.16.

**TABLA No 2.16 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2907**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	4,57	5,32	7.0
5	7,39	5,28	7.0
7	6,31	6,34	7.0
9	4,29	4,76	7.0
11	2,07	2,34	3.5
13	1,02	1,23	3.5
15	0,72	0,88	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

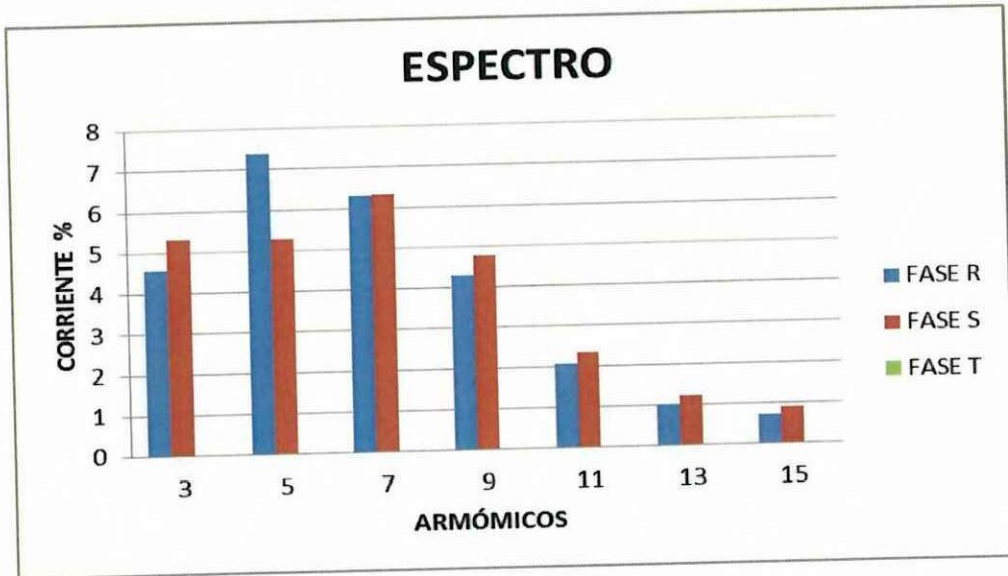
Como se puede apreciar en la tabla No 2.16 los armónicos de corriente están dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 11.81

Fase S: 11.26

**GRAFICO No 2.17** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2907



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.17 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2907 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumplen con todos los armónicos parciales establecidos en la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.13 Armónicos de voltaje del transformador No 5577**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 5577 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.17.

En la tabla No 2.17 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.17. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 5577**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.01	0.99	1.5
5	0.48	0.47	2.0
7	0.03	0.03	2.0
9	0.31	0.28	1
11	0.01	0.01	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

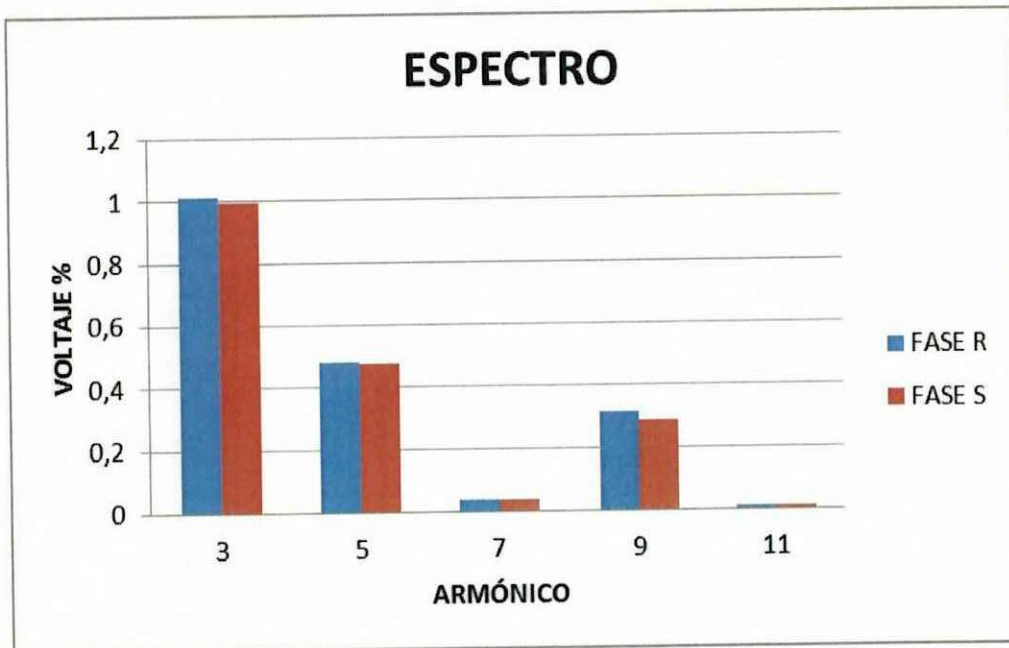
Como se puede apreciar en la tabla No 2.17, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.21

Fase S: 1.19

**GRAFICO No 2.18 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 5577**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.18 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 5577 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todas las armónicas parciales en sus tres fases.

#### **2.8.14 Armónicos de corriente del transformador No 5577**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 5577 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.18.

**TABLA No 2.18. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 5577**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	6.85	6.38	7.0
5	6.21	6.39	7.0
7	5.24	3.95	7.0
9	4.13	3.02	7.0
11	2.20	1.77	3.5
13	1.49	1.24	3.5
15	0.85	0.46	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

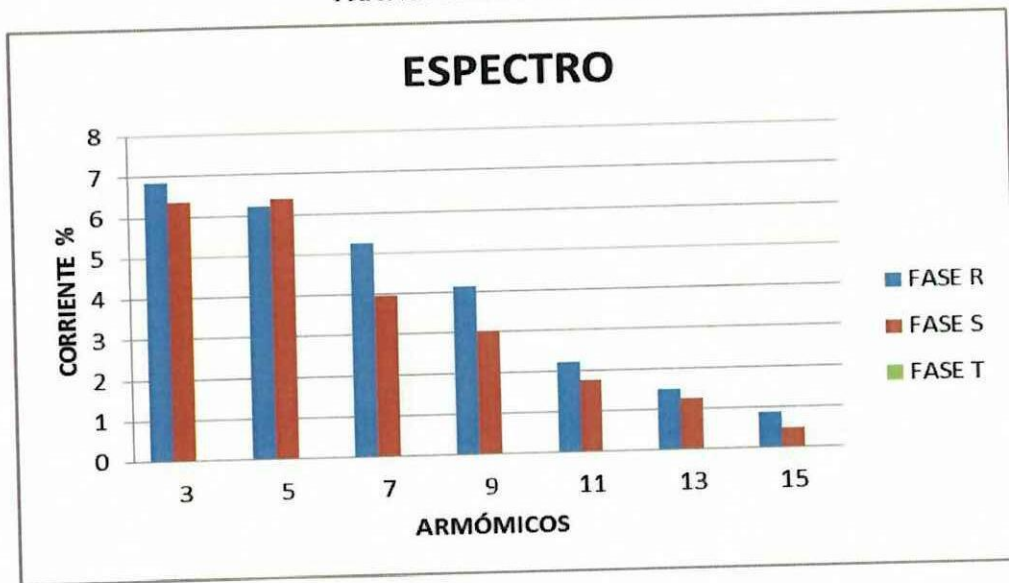
Como se puede apreciar en la tabla No 2.18. los armónicos parciales de corriente se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 11.73

Fase S: 10.54

**GRAFICO No 2.19** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 5577



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.19 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 5577 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con los armónicos parciales establecidos en la normativa IEEE 519-1992

#### **2.8.15 Armónicos de voltaje del transformador No 6699**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 6699 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.19.

En la tabla No 2.19 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.19. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6699.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.35	1.42	1.5
5	0.47	0.48	2.0
7	0.03	0.18	2.0
9	0.51	0.55	1
11	0.005	0.01	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

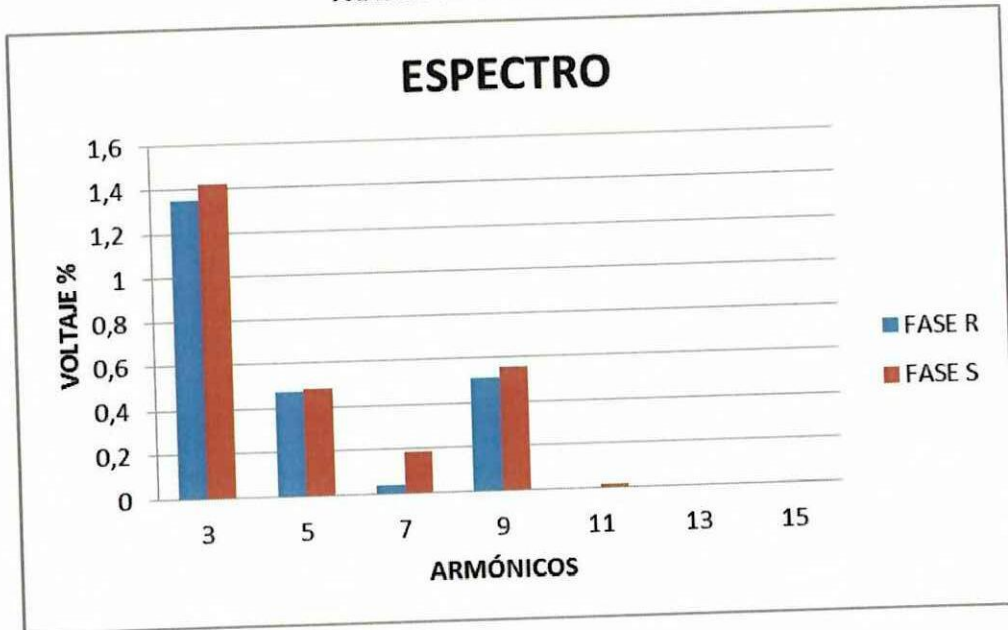
Como se puede apreciar en la tabla No 2.19, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.57

Fase S: 1.68

**GRAFICO No 2.20** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6699



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.20 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de corriente correspondiente al transformador No. 6699 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### 2.8.16 Armónicos de corriente del transformador No 6699

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 6699 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.20.

**TABLA No 2.20 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6699.**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	7.42	5.80	7.0
5	6.48	6.85	7.0
7	5.73	5.75	7.0
9	5.73	5.21	7.0
11	1.61	1.73	3.5
13	0.73	1.16	3.5
15	1.61	1.73	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.20, los armónicos parciales de corriente se encuentra dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, , la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.97

Fase S: 12.16

En la tabla No 2.21 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA NO 2.21. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR NO 2072**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.04	1.05	1.5
5	0.35	0.35	2.0
7	0.008	0.009	2.0
9	0.32	0.28	1
11	0.0005	0.001	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

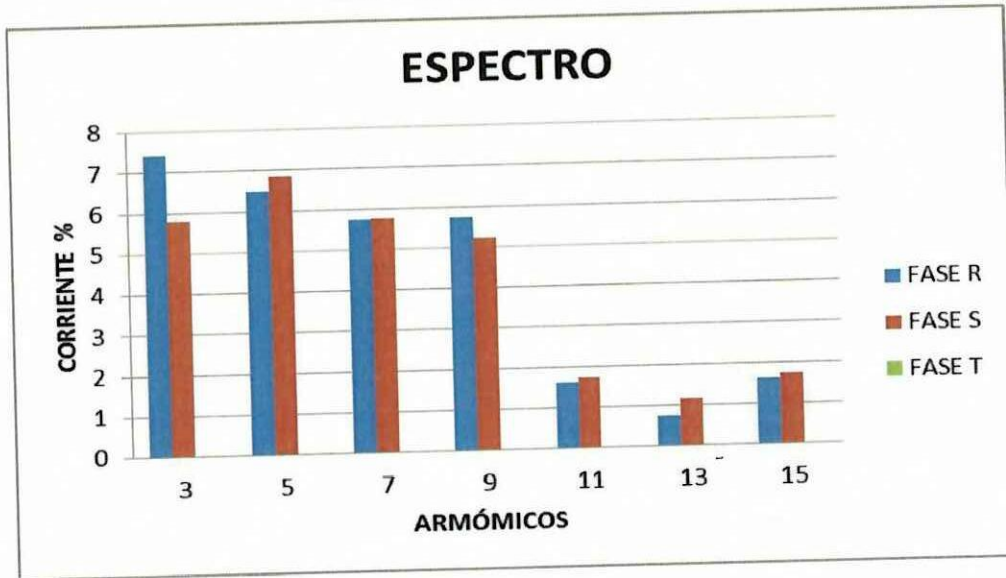
Como se puede apreciar en la tabla No 2.21. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.18

Fase S: 1.18

**GRAFICO NO 2.21 MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 6699**



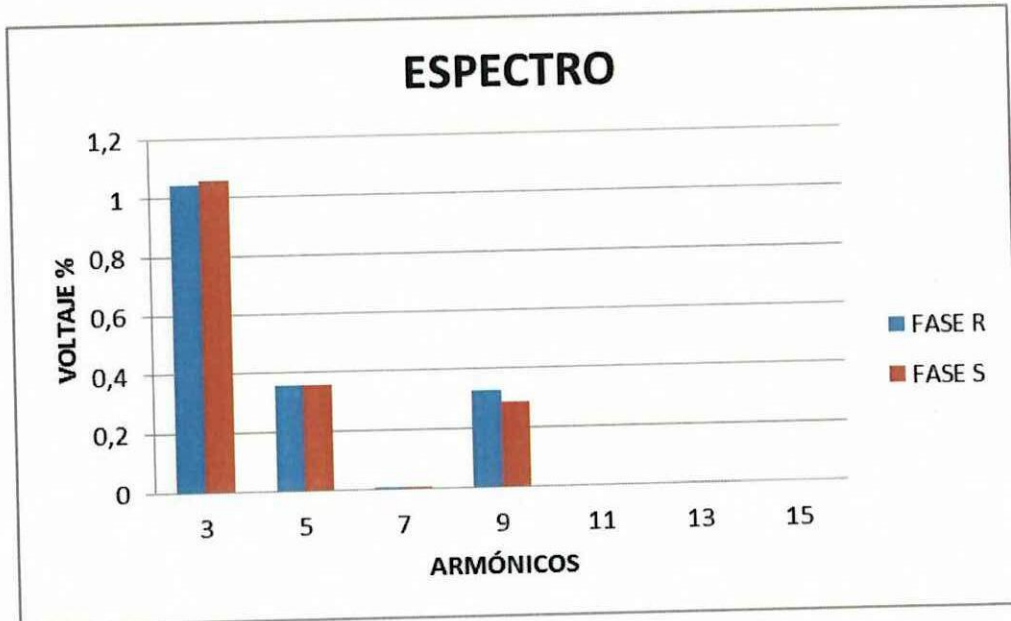
FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.21 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 6699 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todos los armónicos parciales establecido en la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.17 Armónicos de voltaje del transformador No 2072**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 2072 de potencia 37.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.21.

**GRAFICO No 2.22** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 2072



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.22 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2072 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las dos fases.

#### **2.8.18 Armónicos de corriente del transformador No 2072**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 2072 de potencia 37.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.22.

**TABLA No 2.22. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE CORRIENTE.**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	5.01	7.42	7.0
5	8.53	5.38	7.0
7	5.89	6.96	7.0
9	4.50	5.30	7.0
11	2.62	3.04	3.5
13	1.45	1.41	3.5
15	0.77	1.12	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

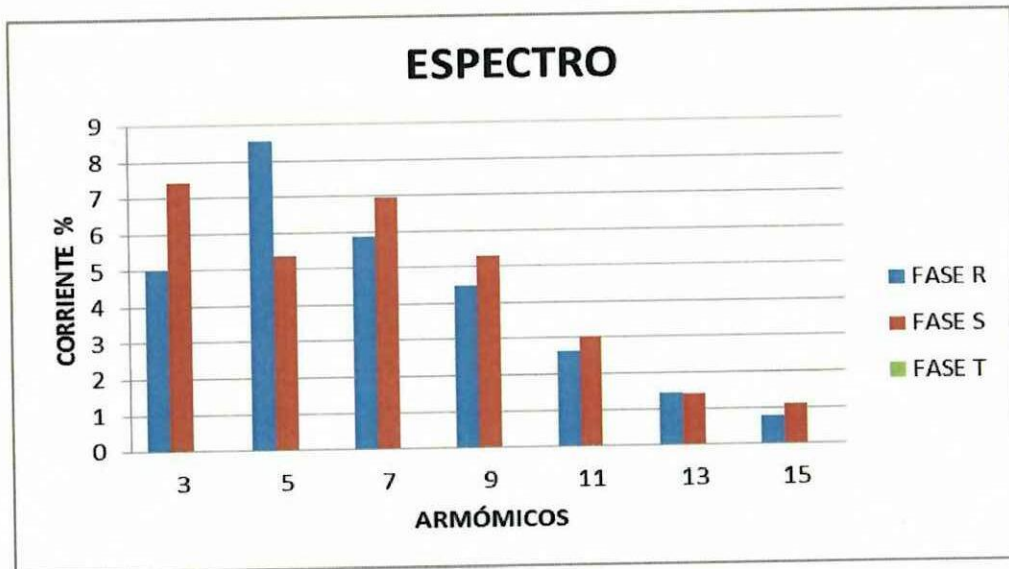
Como se puede apreciar en la tabla No 2.22, los armónicos parciales de corriente se encuentra dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.76

Fase S: 13.15

**GRAFICO No 2.23** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2072



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.23 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2072 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todos los armónicos parciales establecidos en la normativa IEEE 519-1992.

### **2.8.19 Armónicos de voltaje del transformador No 2073**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2073 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.23.

En la tabla No 2.23 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.23. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR NO 2073**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.7	0.6	0.6	1.5
5	1.2	1.1	1.1	2.0
7	0.8	0.5	0.4	2.0
9	0.4	0	0.4	1
11	0	0	0	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.23. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

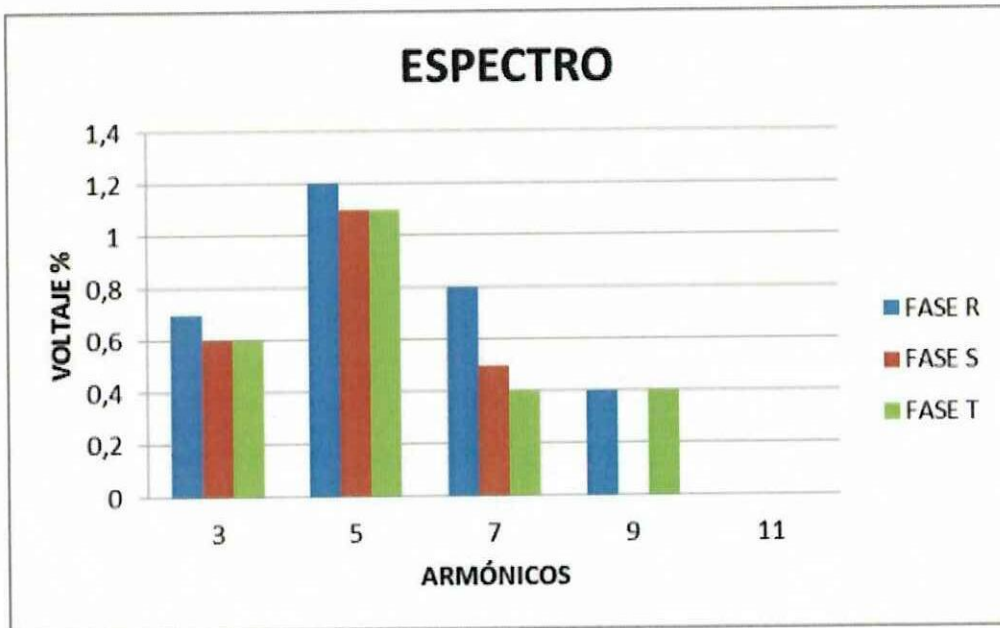
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojo los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.5

Fase S: 1.3

Fase T: 1.1

**GRAFICO No 2.24** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2073



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.24 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2073 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.20 Armónicos de corriente del transformador No 2073**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2073 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.24.

**TABLA No 2.24 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2073**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	11.36	11.46	18.06	7.0
5	19.09	31.34	21.06	7.0
7	4.76	5.99	7.12	7.0
9	3.07	3.27	5.11	7.0
11	0.03	0.06	0.05	3.5
13	0.33	0.25	0.86	3.5
15	1.34	0.45	0.79	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.24 la tercera, quinta y séptima armónica presentan rangos de valores superiores establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

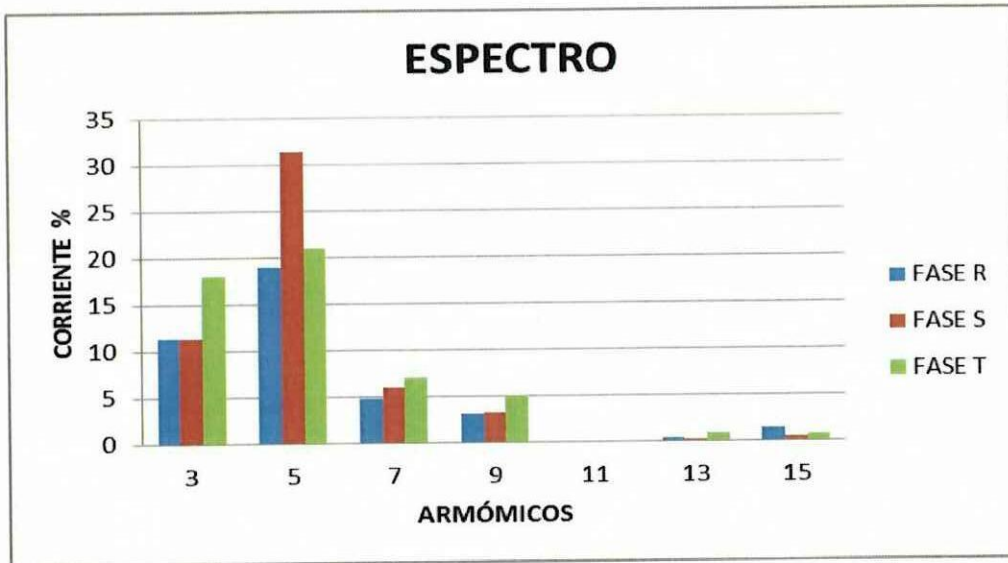
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 22.96

Fase S: 34.06

Fase T: 29.11

**GRAFICO No 2.25 MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2073**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.25 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2073 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y la quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las tres fases y no cumplen con la normativa.

#### **2.8.21 Armónicos de voltaje del transformador No 2127**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2127 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.25.

En la tabla No 2.25 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.25. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2127.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.02	0.0006	0	1.5
5	0.79	0.72	0.63	2.0
7	0.07	0.14	0.06	2.0
9	0.026	0	0.4	1
11	0.02	0.01	0.02	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.25, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

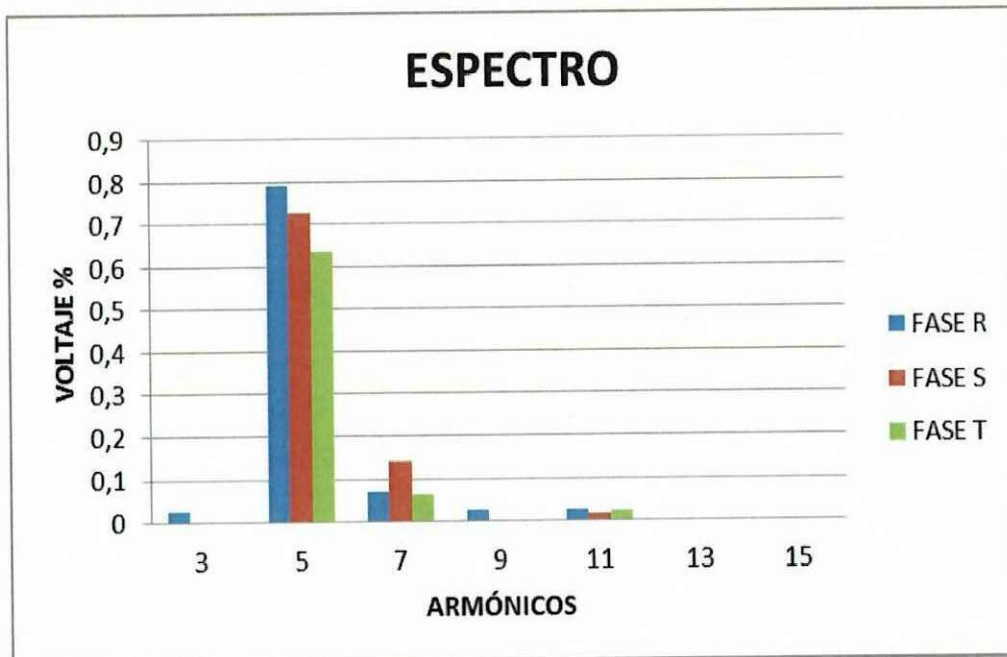
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.77

Fase S: 0.70

Fase T: 0.59

**GRAFICO No 2.26 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2127**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.26 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2127 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.22 Armónicos de corriente del transformador No 2127**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2127 de potencia 75 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.26.

**TABLA No 2.26. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR NO 2127**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	5,43	6,46	5,30	7.0
5	6,97	4,04	5,69	7.0
7	4,14	6,33	4,12	7.0
9	3,25	4,95	2,65	7.0
11	1,78	2,81	1,57	3.5
13	0,63	1,22	0,57	3.5
15	0,60	0,82	0,73	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.26, los armónicos parciales de corriente se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

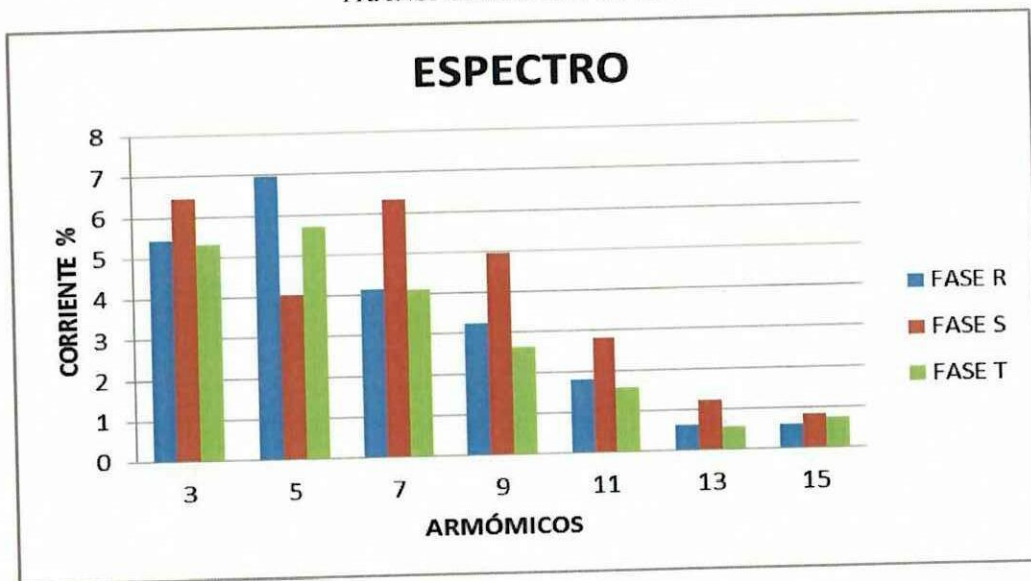
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 10.47

Fase S: 11.51

Fase T: 9.36

**GRAFICO No 2.27 MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2127**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.27 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2127 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumplen con todos los armónicos establecidos en la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.23 Armónicos de voltaje del transformador No 4361**

La medición de campo realizada en el banco transformadores No 4361 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.27

En la tabla No 2.27 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.27. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJES DEL TRANSFORMADOR No 4361.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.22	2.20	0.93	1.5
5	0.54	0.63	0.47	2.0
7	0.20	0.30	0.18	2.0
9	0.50	0.89	0.34	1
11	0.07	0.17	0.14	1.5
13	0	0.057	0.060	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.27. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

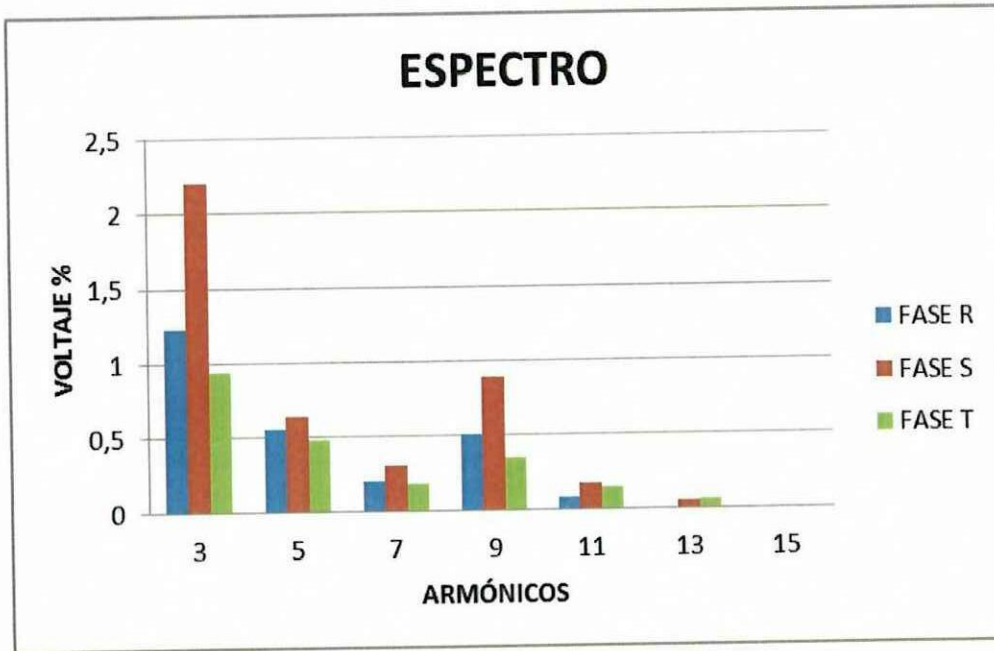
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.43

Fase S: 1.44

Fase T: 2.06

**GRAFICO No 2.28** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 4361



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.28 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 4361 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.24 Armónicos de corriente del transformador No 4361**

La medición de campo realizada en el banco de transformadores No 4361 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.28

**TABLA No 2.28. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 4361**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	5.09	6.07	6.53	7.0
5	6.30	5.17	3.66	7.0
7	5.65	5.75	1.68	7.0
9	3.93	4.96	3.91	7.0
11	1.78	3.00	2.17	3.5
13	0.91	1.91	1.13	3.5
15	0.92	1.30	0.81	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.28. los armónicos parciales de corriente se encuentra dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

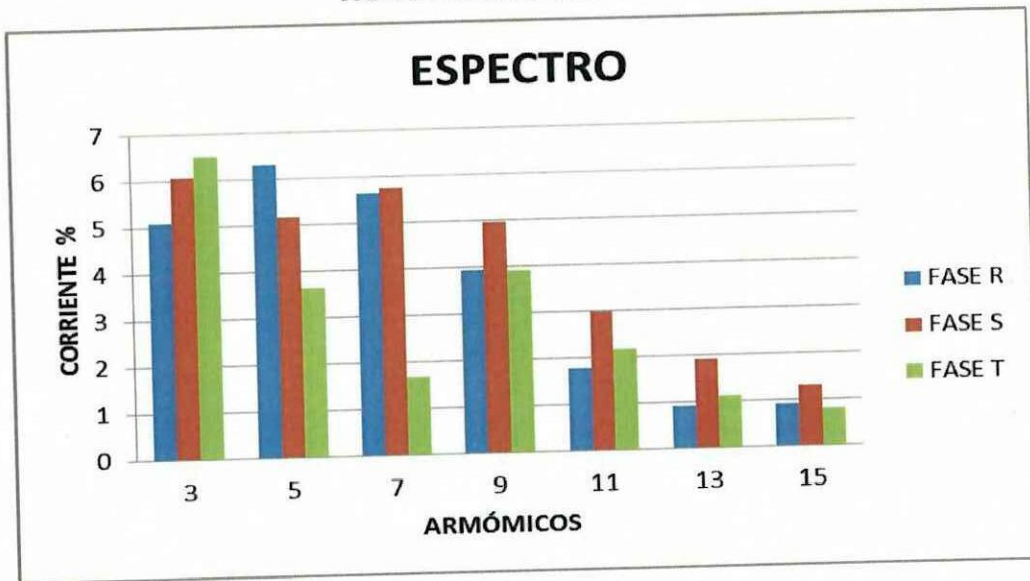
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 10.85

Fase S: 11.64

Fase T: 8.988

**GRAFICO No 2.29** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 4361



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.29 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 4361 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple todos los armónicos establecidos en la normativa IEEE 519-1992.

#### **2.8.25 Armónicos de voltaje del transformado No 2056**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2056 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.29

En la tabla No 2.29 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.29. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2056**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.04	0.01	0	1.5
5	0.92	0.98	0.90	2.0
7	0.05	0.03	0.06	2.0
9	0	0	0	1
11	0.07	0.0004	0.0021	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.29. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

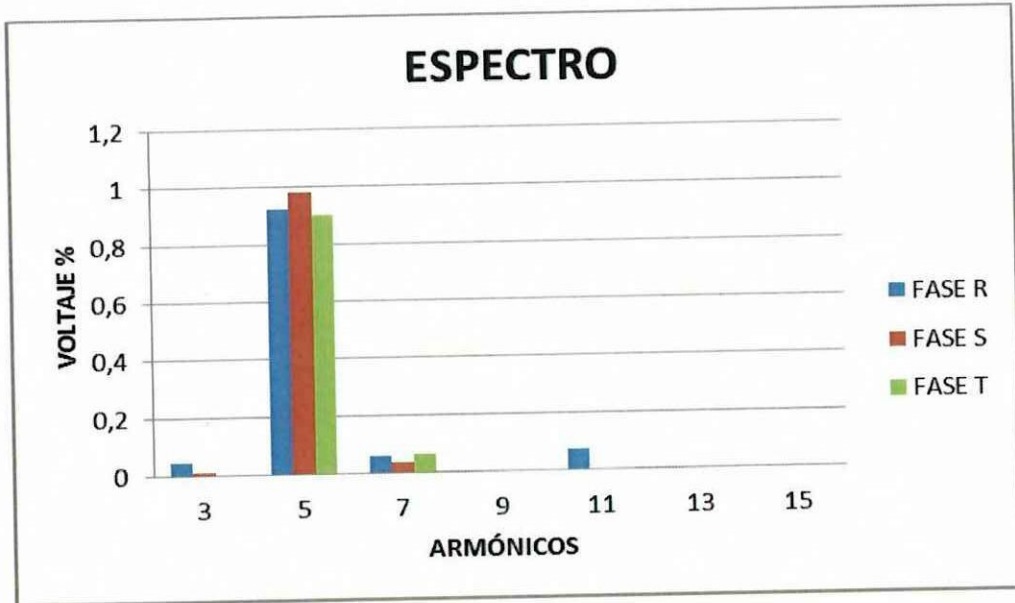
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.92

Fase S: 0.92

Fase T: 0.85

**GRAFICO No 2.30** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2056



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: INVESTIGADOR

En el grafico No 2.30 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2056 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.26 Armónicos de corriente del transformador No 2056**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2056 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.30.

**TABLA No 2.30. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 2056**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	10.6	11.54	13.7	7.0
5	12.35	14.64	17.67	7.0
7	1.385	2.45	1.05	7.0
9	0.685	1.971	1.385	7.0
11	0.02	0.06	0.07	3.5
13	1.257	1.3	0.957	3.5
15	1.414	0.557	0.542	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.30, la tercera y la quinta armónica parcial de corriente tienen valores superiores establecidos en la norma Internacional IEEE 519. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

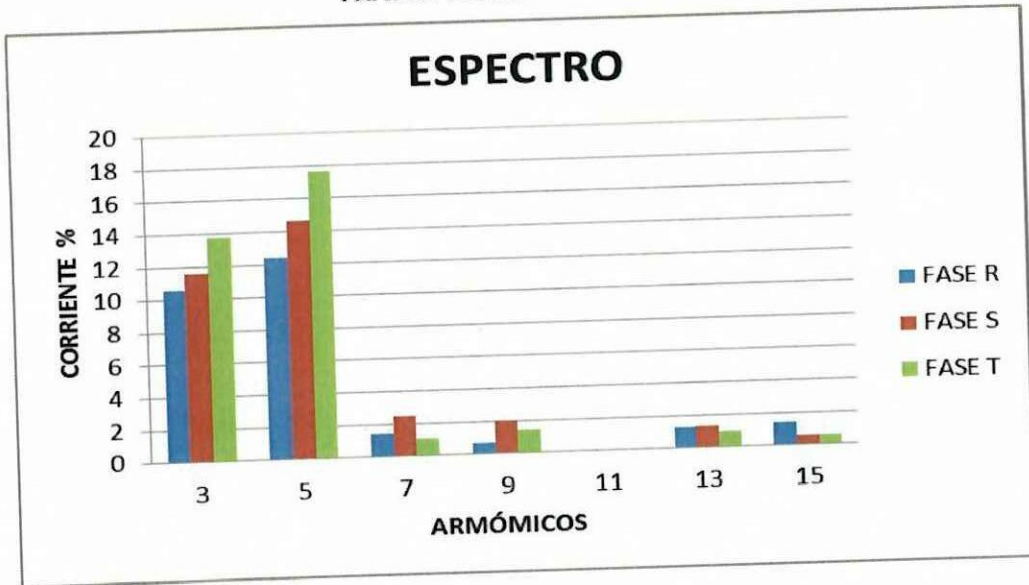
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 16.45

Fase S: 18.95

Fase T: 22.45

**GRAFICO No 2.31** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2056



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico 2.31 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 2056 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia la tercera y la quinta armónica son las que tiene porcentaje de distorsión alto en las tres fases y no cumplen con la normativa.

### **2.8.27 Armónicos de voltaje del transformador No 6629**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 6629 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.31.

En la tabla No 2.31 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.31. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6629**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.14	0.05	0.0008	1.5
5	0.75	0.71	0.50	2.0
7	0.22	0.33	0.05	2.0
9	0	0	0	1
11	0.048	0.09	0.01	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.31. El nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

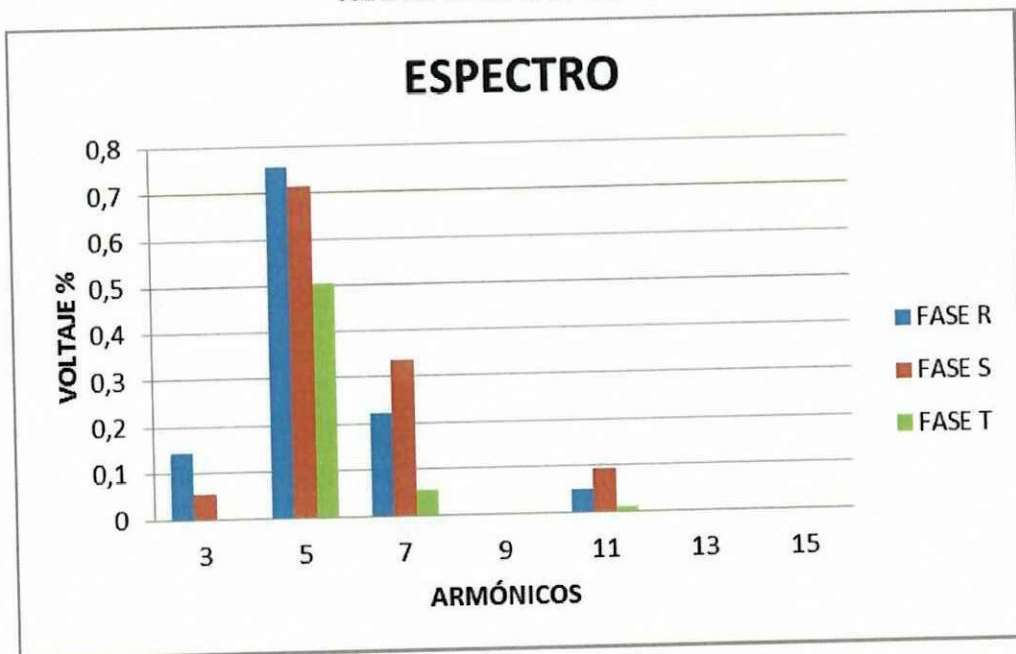
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.98

Fase S: 1.07

Fase T: 0.81

**GRAFICO No 2.32** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6629



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.32 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No 6629 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.28 Armónicos de corriente del transformador No 6629**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 6629 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.32.

**TABLA No 2.32 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6629**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	5,86	4,43	3,96	7.0
5	4,76	4,92	5,64	7.0
7	4,77	3,44	3,63	7.0
9	7,20	4,96	3,91	7.0
11	3,26	2,02	2,47	3.5
13	2,10	1,06	1,06	3.5
15	1,56	0,86	0,77	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.32, los armónicos parciales de corriente se encuentran dentro los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

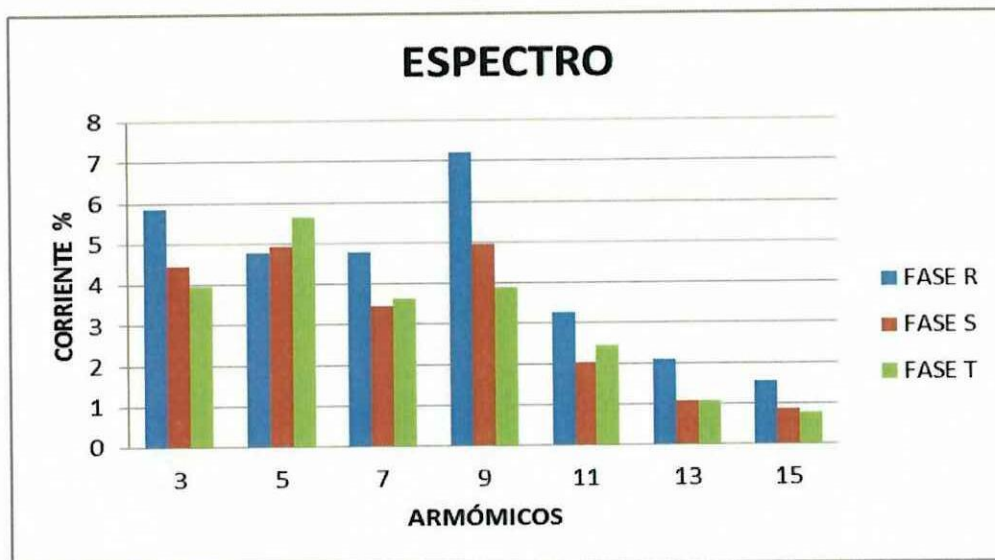
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.20

Fase S: 9.28

Fase T: 9.15

**GRAFICO No 2.33** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR NO 6629



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.33 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 6629 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumplen con todos los armónicos establecidos con la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.29 Armónicos de voltaje del transformador No 620**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 620 de potencia 37.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.33.

En la tabla No 2.33 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.33. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 620**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.25	1.24	1.5
5	0.39	0.395	2.0
7	0.073	0.038	2.0
9	0	0.0005	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

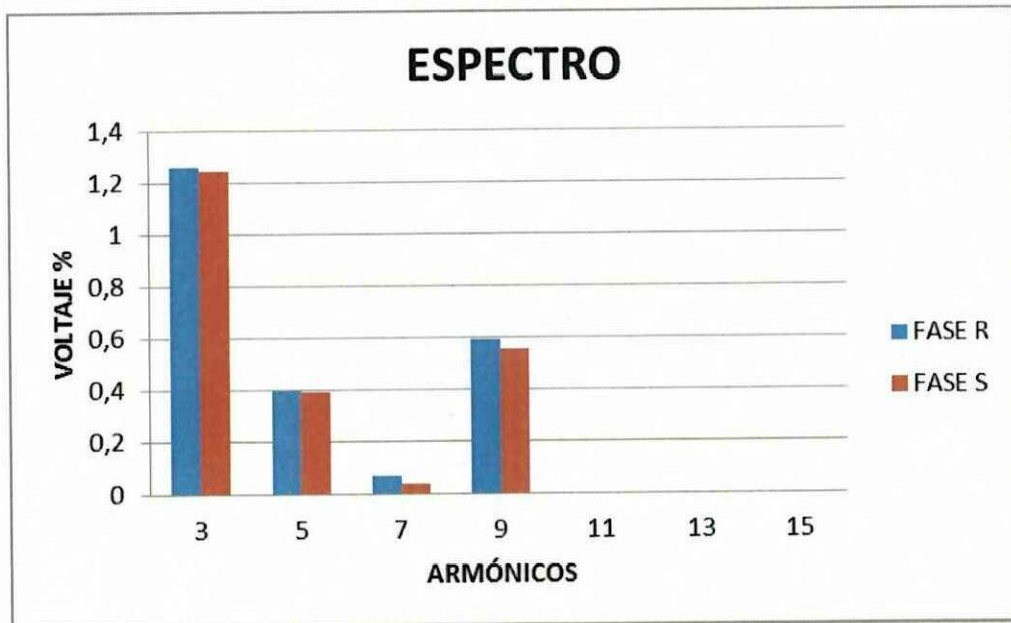
Como se puede apreciar en la tabla No 2.33, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumple en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.49

Fase S: 1.45

**GRAFICO No 2.34** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 620



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.34 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 620 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.30 Armónicos de corriente del transformador No 620**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 620 de potencia 37.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.34.

**TABLA No 2.34. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 620**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	6,44	5,12	7.0
5	4,32	6,00	7.0
7	8,33	6,74	7.0
9	5,15	4,38	7.0
11	1,57	1,43	3.5
13	0,98	0,77	3.5
15	1,27	0,84	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

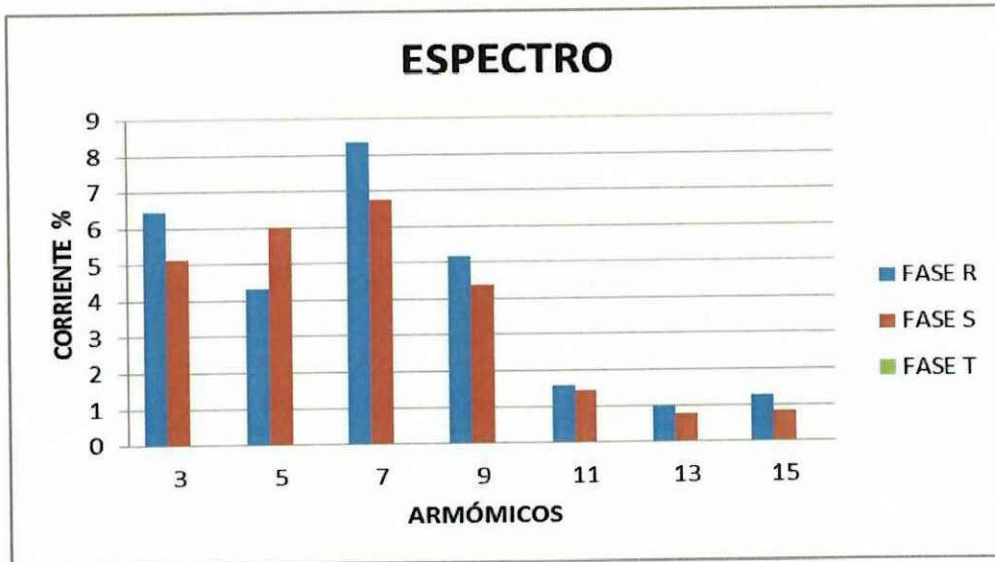
Como se puede apreciar en la tabla No 2.34, los armónicos parciales de corriente se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.69

Fase S: 11.40

**GRAFICO No 2.35** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 620



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.35 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 620 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todos los armónicos establecidos por la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.31 Armónicos de voltaje del transformador No 897**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 897 de potencia 30 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.35

En la tabla No 2.35 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.35. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 897**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.64	2.28	2.53	1.5
5	0.87	1.54	1.39	2.0
7	0.88	0.60	0.63	2.0
9	0.72	0.62	0.61	1
11	0.27	0.74	0.47	1.5
13	0.01	0.16	0.56	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.35, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojo los siguientes valores para cada fase:

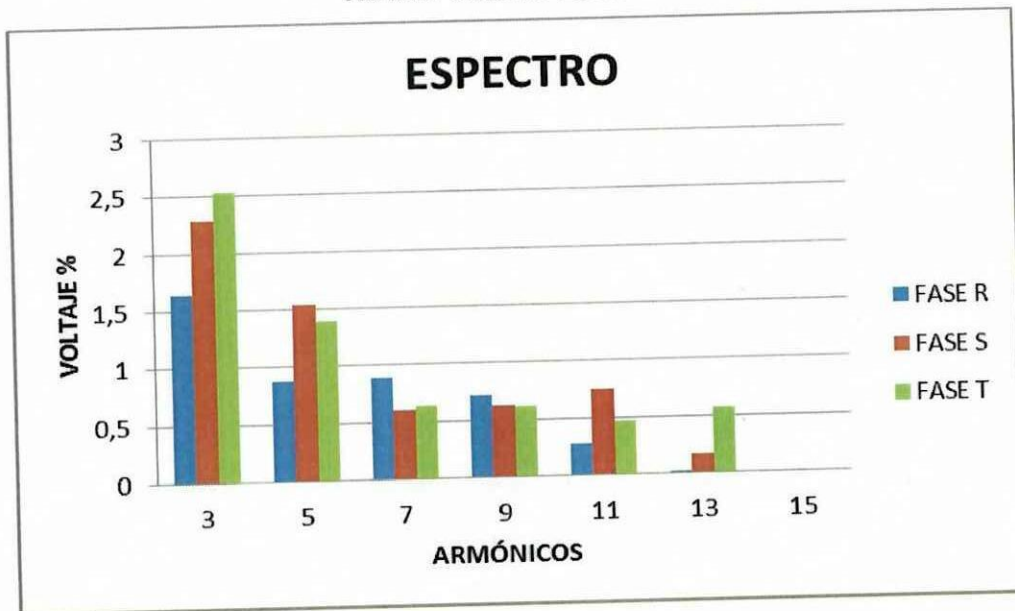
Fase R: 2.32

Fase S: 3.14

Fase T: 3.26



**GRAFICO No 2.36** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 897



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.36 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 897 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.32 Armónicas de corriente del transformador No 897**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 897 de potencia 30 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.36.

**TABLA No 2.36. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES DE  
CORRIENTE No 897**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.37	1.89	4.61	7.0
5	0.73	0.94	2.86	7.0
7	0.59	0.33	2.024	7.0
9	0.45	0.25	1.34	7.0
11	0.30	0.14	0.68	3.5
13	0.09	0.08	0.22	3.5
15	0.06	0.04	0.100	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.36, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

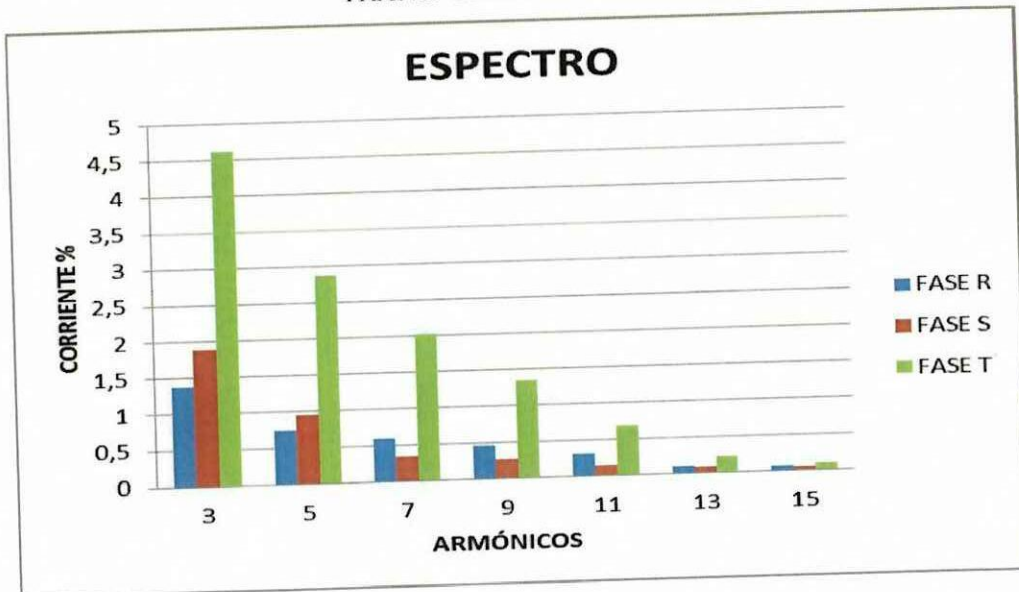
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 1.85

Fase S: 2.24

Fase T: 6.07

**GRAFICO No 2.37** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 897



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.37 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 897 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y la quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las tres fases y no cumplen con la normativa.

### **2.8.33 Armónicos de voltaje del transformador No 9117**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 9117 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.37.

En la tabla No 2.37 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.37. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 9117**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.08	0.25	0.22	1.5
5	0.83	0.85	0.88	2.0
7	0.30	0.36	0.10	2.0
9	0.03	0.07	0.03	1
11	0.09	0.36	0.22	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.37, el nivel de armonicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

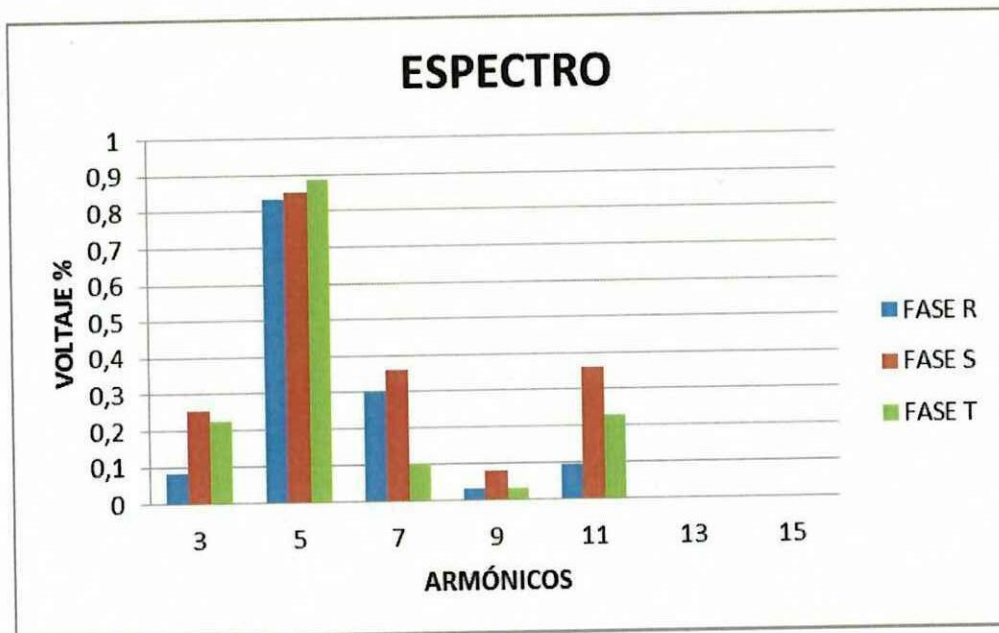
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.93

Fase S: 1.11

Fase T: 1.01

**GRAFICO No 2.38** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 9117



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.38 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 9117 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.34 Armónicos de corriente del transformador No 9117**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 9117 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.38.

**TABLA No 2.38. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 9117**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.37	1.89	4.61	7.0
5	0.73	0.94	2.86	7.0
7	0.59	0.33	2.02	7.0
9	0.45	0.25	1.34	7.0
11	0.30	0.14	0.68	3.5
13	0.094	0.08	0.22	3.5
15	0.061	0.048	0.10	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.38, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

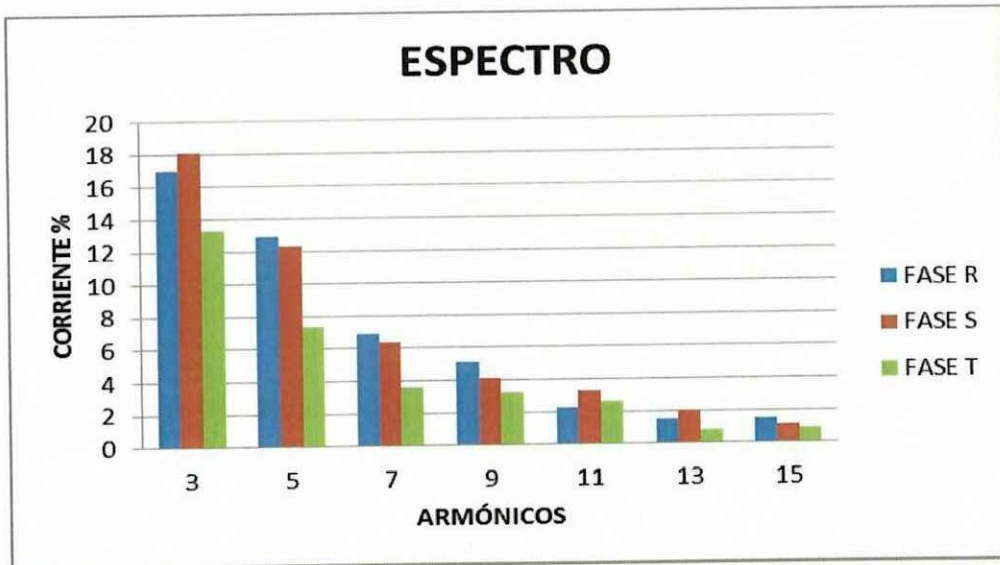
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 1.85

Fase S: 2.24

Fase T: 6.07

**GRAFICO No 2.39** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 9117



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.39 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 9117 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y la quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las tres fases y no cumplen con la normativa.

### **2.8.35 Armónicos de voltaje del transformador No 6749**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 6749 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.39.

En la tabla No 2.39 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.39. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 6749.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.32	1.39	1.5
5	0.29	0.34	2.0
7	0.057	0.11	2.0
9	0.59	0.58	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

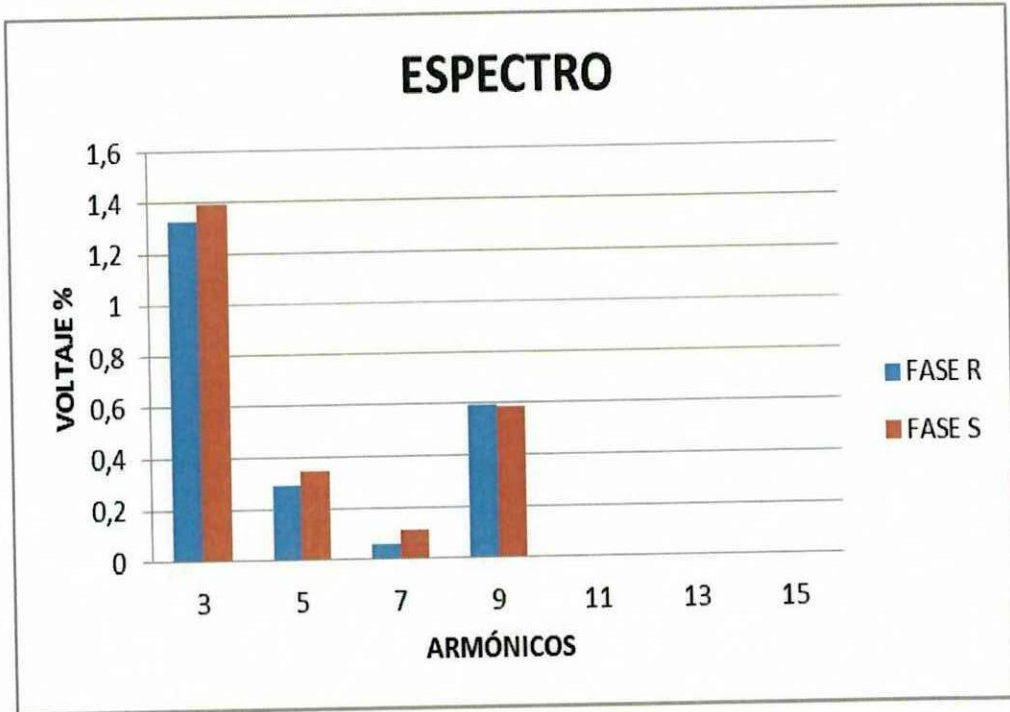
Como se puede apreciar en la tabla No 2.39, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.50

Fase S: 1.58

**GRAFICO No 2.40** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6749



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.40 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 6749 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.36 Armónicos de corriente en el transformador No 6749**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 6749 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa

que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.40.

**TABLA No 2.40 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6749**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	6.29	6.61	7.0
5	6.66	5.96	7.0
7	4.58	5.39	7.0
9	3.21	3.93	7.0
11	1.21	1.02	3.5
13	1.23	1.20	3.5
15	0.56	0.68	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

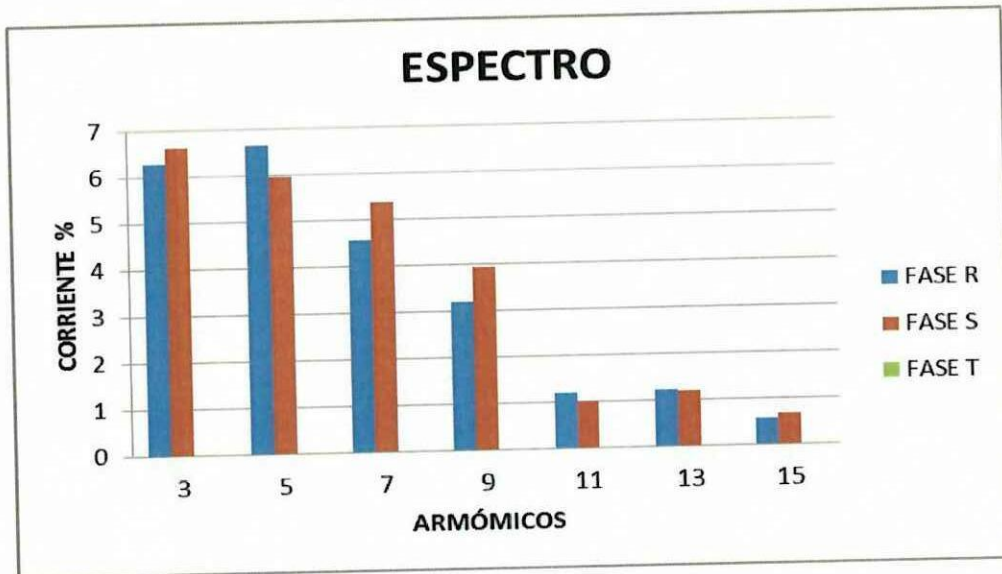
Como se puede apreciar en la tabla No 2.40, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 10.88

Fase S: 11.25

**GRAFICO No 2.41** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6749



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.41 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 6749 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todos los armónicos establecidos por la normativa 519-1992

### **2.8.37 Armónicos de voltaje del transformador No 1344**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1344 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.41.

En la tabla No 2.41 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.41. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1344.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.37	0.85	0.05	1.5
5	0.768	1.02	0.63	2.0
7	0.43	0.53	0.20	2.0
9	0.20	0.40	0	1
11	0	0	0	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.41, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

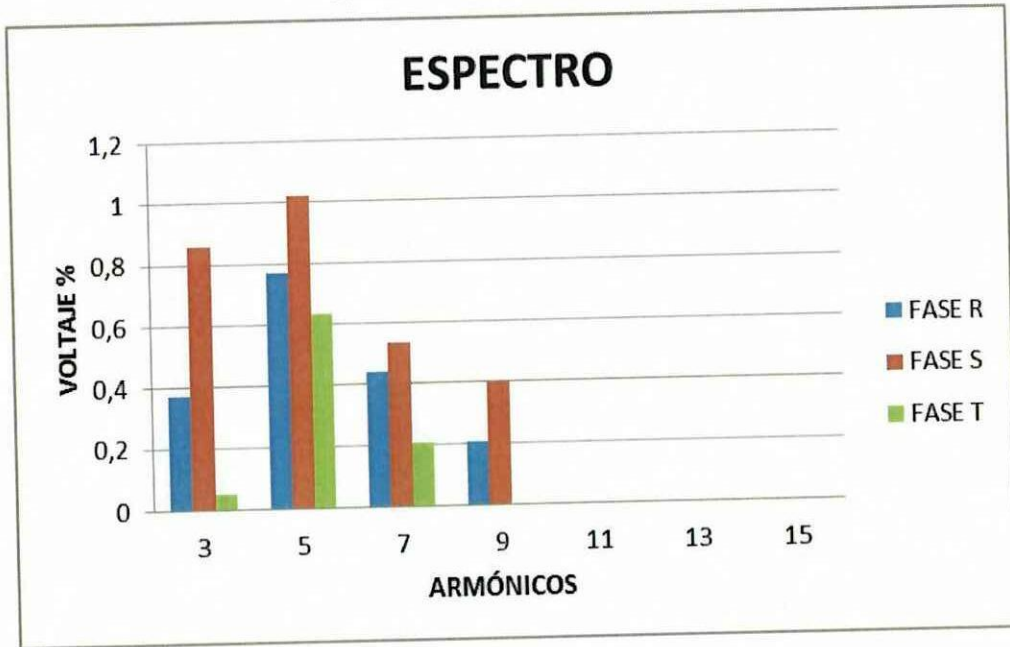
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.11

Fase S: 1.62

Fase T: 0.66

**GRAFICO No 2.42** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1344



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.42 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 1344 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

### **2.8.38 Armónicas de corriente en el transformador No 1344**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1344 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.42.

**TABLA No 2.42. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1344**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	5,42	6,87	4,24	7.0
5	5,34	4,99	5,32	7.0
7	6,75	5,15	5,16	7.0
9	4,74	3,58	3,30	7.0
11	1,64	2,45	1,67	3.5
13	2,48	1,67	0,50	3.5
15	1,10	0,79	0,48	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.42, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519,. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

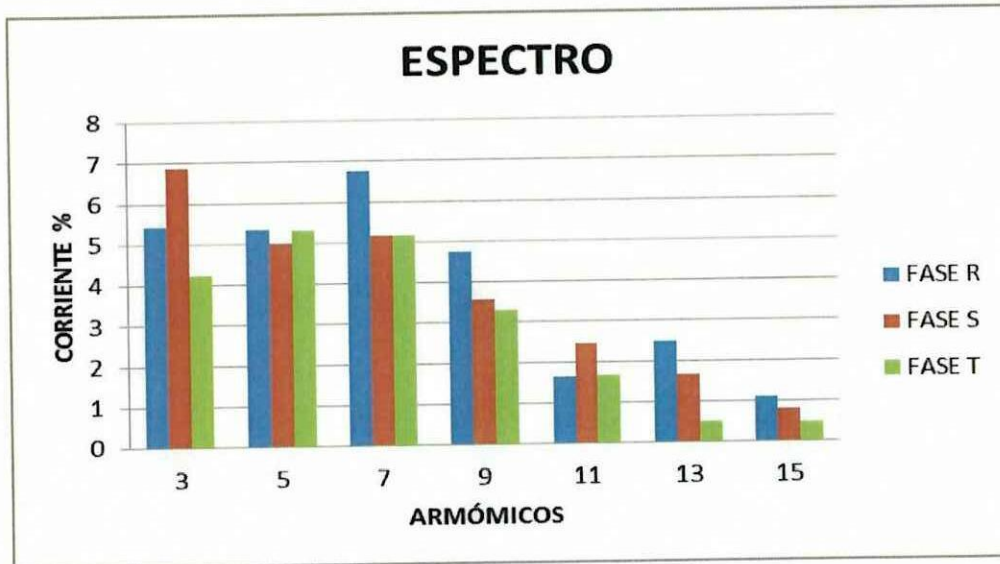
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 11,66

Fase S: 10,99

Fase T: 9,33

**GRAFICO No 2.43** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1344



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.43 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 1344 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todos los armónicos establecidos por la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.39 Armónicos de voltaje del transformador No 2060**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2060 de potencia 45 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.43.

En la tabla No 2.43 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.43. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 2060.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.12	0	0.0001	1.5
5	0.11	0.13	0.11	2.0
7	0.43	0.53	0.20	2.0
9	0	0	0	1
11	0.22	0.07	0.002	1.5
13	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.43, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

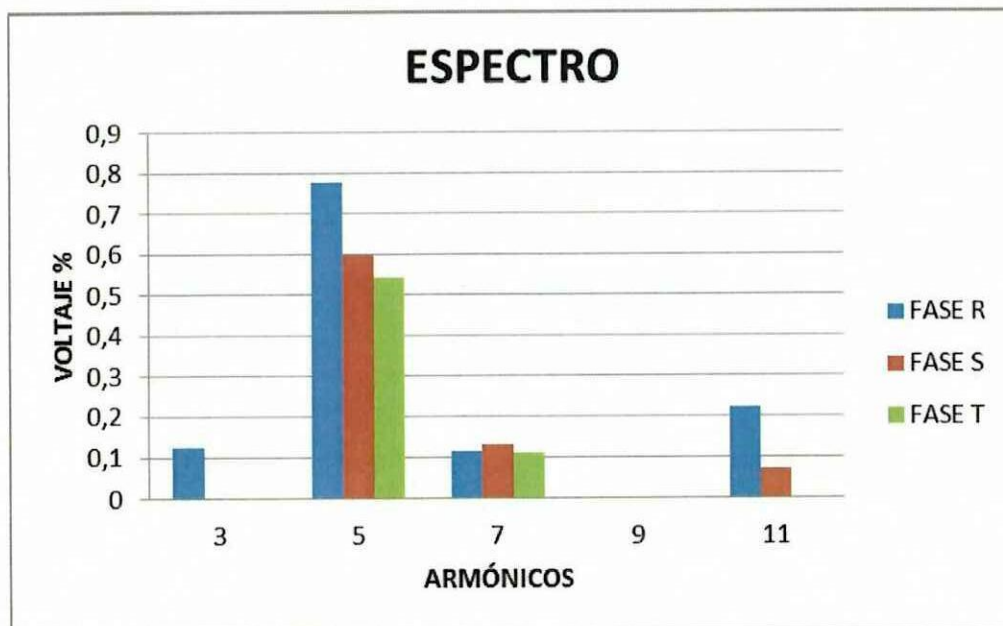
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.54

Fase S: 1.90

Fase T: 1.70

**GRAFICO No 2.44** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2060



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.44 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2060 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.40 Armónicos de corriente del transformador No 2060**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 2060 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.44.

**TABLA No 2.44 MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR NO 2060**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	4.22	6.99	5.67	7.0
5	4.99	4.99	7.72	7.0
7	6.75	5.34	2.11	7.0
9	4.74	3.11	2.32	7.0
11	1.78	2.67	0.77	3.5
13	2.35	1.15	0.25	3.5
15	1.1	0.45	0.48	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.44, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519,. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases(R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

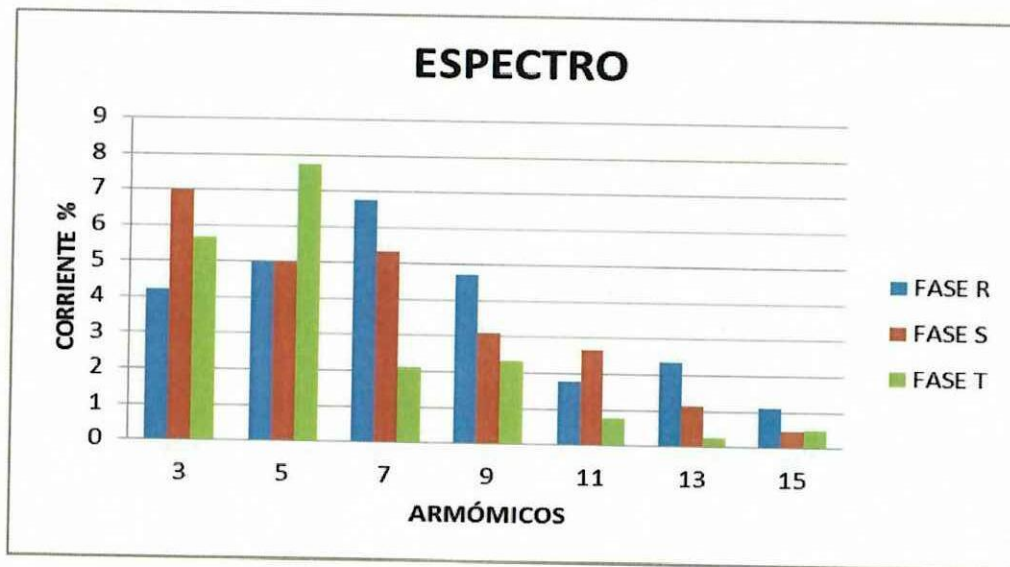
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 10.98

Fase S: 10.98

Fase T: 10.12

**GRAFICO No 2.45** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 2060



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.45 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 2060 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia cumple con todas las armónicas establecidos por la normativa IEEE 519-1992

#### ***2.8.41 Armónicos de voltaje del transformador No 8676***

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 8676 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.45.

En la tabla No 2.45 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.45. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 8676**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.23	1.21	1.5
5	0.33	0.34	2.0
7	0.018	0.006	2.0
9	0.457	0.420	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

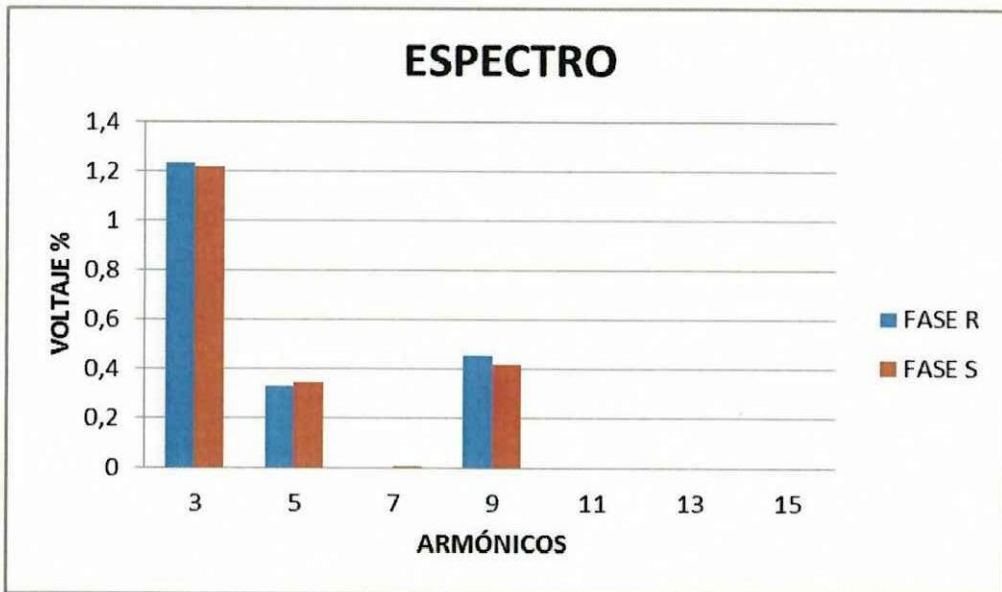
Como se puede apreciar en la tabla No 2.45, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojo los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.37

Fase S: 1.34

**GRAFICO No 2.46** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 8676



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.46 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 8676 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las dos fases.

#### **2.8.42 Armónicos de corriente del transformador No 8676**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 8676 de potencia 50KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.46.

**TABLA No 2.46. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 8676.**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	5.15	3.54	7.0
5	6.45	8.32	7.0
7	6.90	4.78	7.0
9	4.59	2.56	7.0
11	3.21	1.89	3.5
13	1.57	0.63	3.5
15	0.82	0.33	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

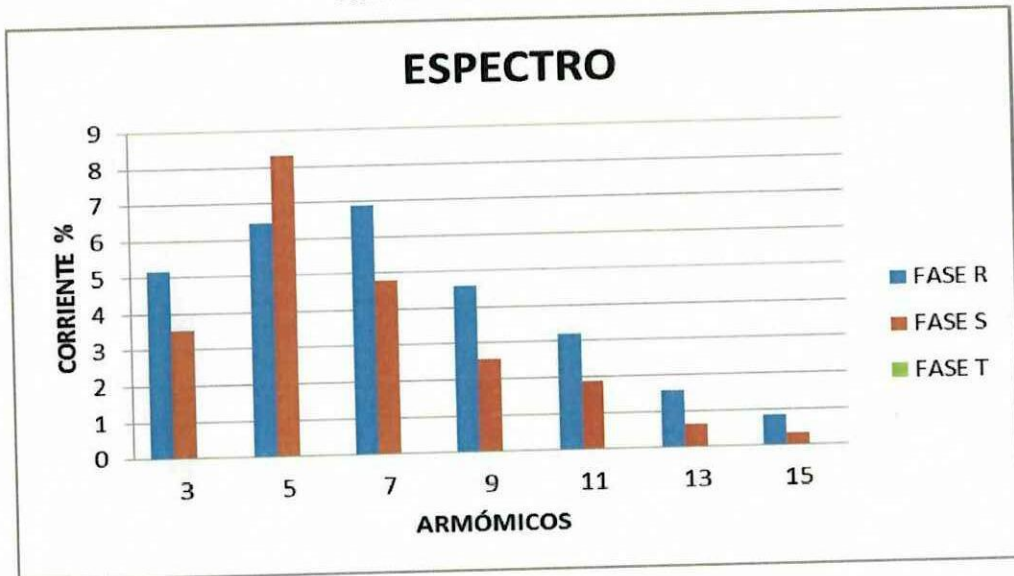
Como se puede apreciar en la tabla No 2.46, cumplen con todas las armónica parciales y presentan rangos de valores inferiores a lo establecido en la norma Internacional IEEE 519. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.25

Fase S: 10.73

**GRAFICO No 2.47** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 8676



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.47 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de voltaje correspondiente al transformador No. 8676 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas los armónicos establecido con la normativa IEEE 519-1992

### **2.8.43 Armónicos de voltaje del transformador No 1120**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1120 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.47.

En la tabla No 2.47 se muestra la comparación de las tres fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.47. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1120.**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	V Fase T	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.2	0	0	1.5
5	0.8	0.8	0.7	2.0
7	0.2	0	0.2	2.0
9	0	0	0	1
11	0	0	0	1.5
13	0	0	0	1.5
15	0	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.47, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

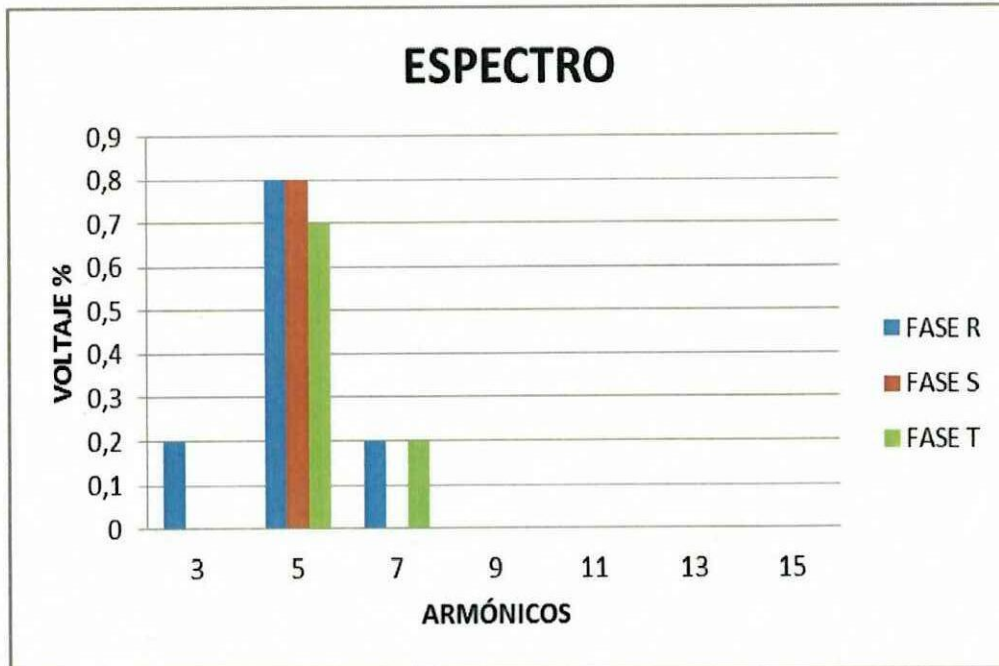
La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.8

Fase S: 0.7

Fase T: 0.7

**GRAFICO No 2.48** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1120



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.48 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1120 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las tres fases.

#### **2.8.44 Armónicos de corriente del transformador No 1120**

La medición de campo realizada en el transformador trifásico No 1120 de potencia 112.5 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.48.

**TABLA No 2.48. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1120**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	Medición (%)	
3	15.34	10.64	23.07	7,0
5	20.11	31.67	23.27	7,0
7	7.08	7.09	9.01	7,0
9	3.66	4.45	6.76	7,0
11	0.09	0.03	0.01	3,5
13	0.33	0.77	0.89	3,5
15	1.44	0.77	0.69	3,5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Como se puede apreciar en la tabla No 2.48. La tercera y quinta armónica presentan rangos de valores superiores establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por tres fases (R S T), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

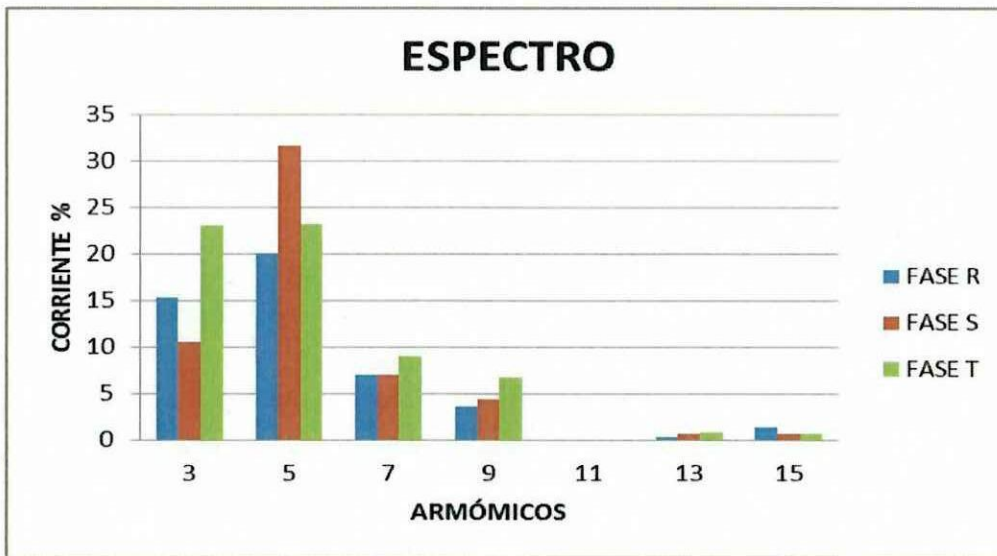
De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 26.55

Fase S: 34.45

Fase T: 34.66

**GRAFICO No 2.49** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1120



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.49 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1120 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y la quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las tres fases y no cumplen con la normativa.

#### **2.8.45 Armónicos de voltaje del transformador No 1247**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 1247 de potencia 25 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.49.

En la tabla No 2.49 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.49. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1247**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.32	1.36	1.5
5	0.305	0.36	2.0
7	0.100	0.15	2.0
9	0.56	0.60	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5
15	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

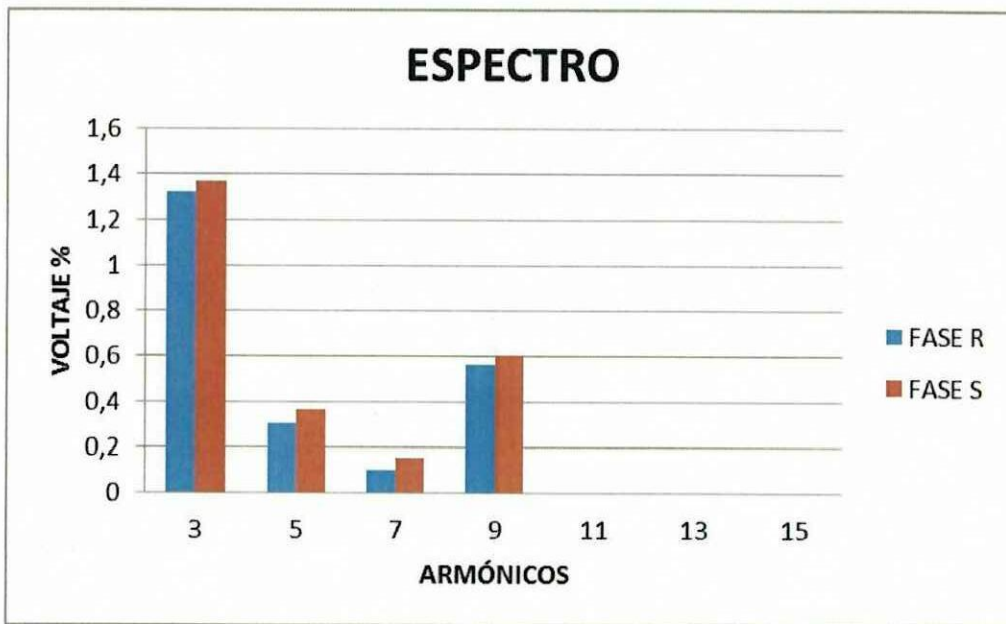
Como se puede apreciar en la tabla No 2.49, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.49

Fase S: 1.57

**GRAFICO No 2.50** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1247



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.50 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1247 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las dos fases.

#### **2.5.46 Armónicos de corriente del transformador No 1247**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 1247 de potencia 25 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.50.

**TABLA No 2.50. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1247.**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
<b>3</b>	6.36	6.73	7.0
<b>5</b>	5.00	5.84	7.0
<b>7</b>	5.48	4.02	7.0
<b>9</b>	4.63	4.39	7.0
<b>11</b>	1.492	1.52	3.5
<b>13</b>	0.85	0.65	3.5
<b>15</b>	0.86	0.66	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

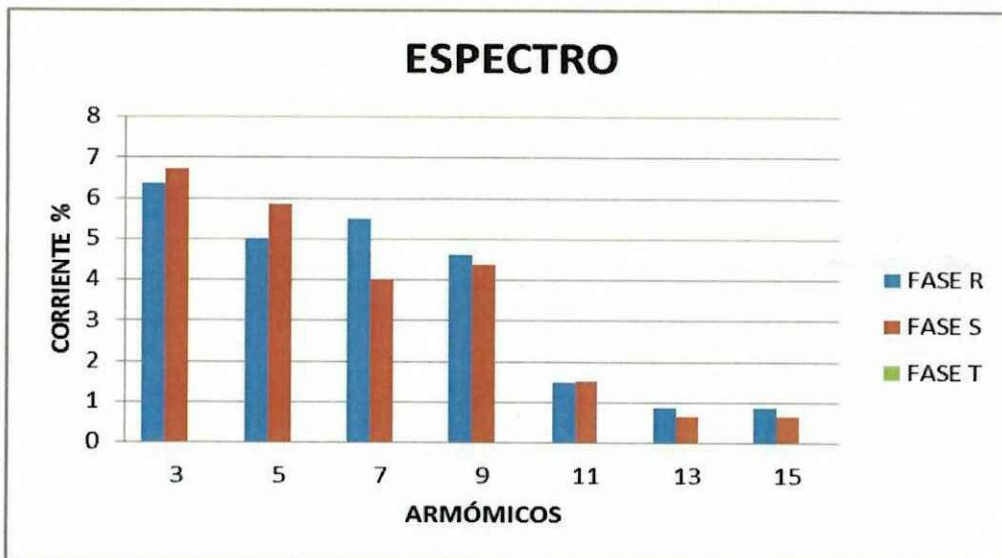
Como se puede apreciar en la tabla No 2.50. los armónicos parciales de corriente están dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 10.98

Fase S: 10.86

**GRAFICO No 2.51** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1247



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 2.51 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1247 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas establecidos por la normativa IEEE 519-1992

#### **2.8.47 Armónicos de voltaje del transformador No 6455**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 6455 de potencia 15 KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.51.



En la tabla No 2.51 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.51. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR N0 6455**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	0.67	0.69	1.5
5	0.23	0.21	2.0
7	0.003	0.005	2.0
9	0	0	1
11	0	0	1.5
13	0	0	1.5
15	0	0	1.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

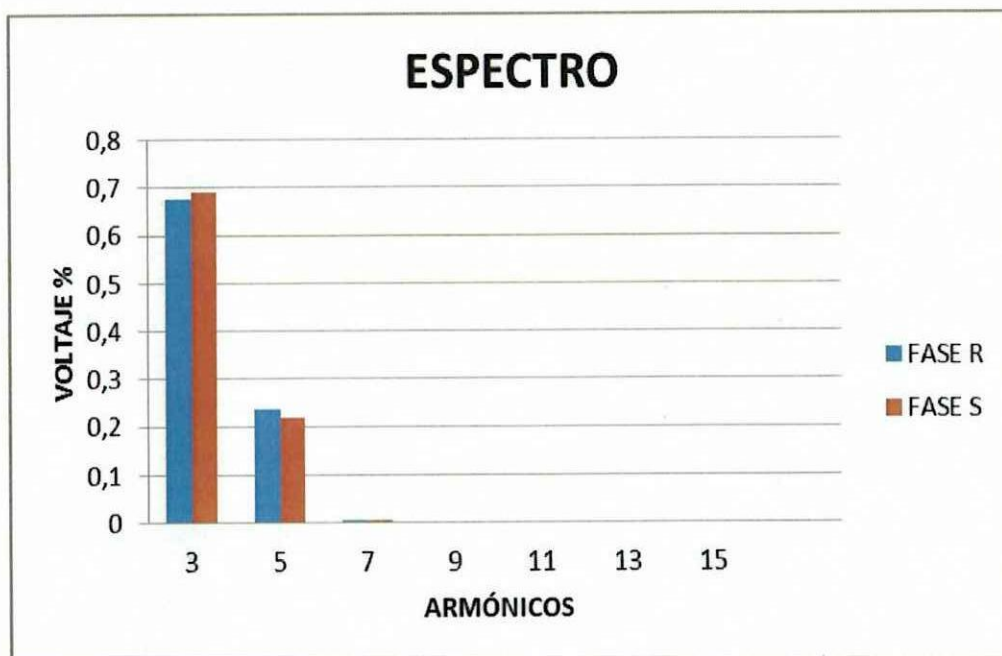
Como se puede apreciar en la tabla No 2.51, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases(R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 0.71

Fase S: 0.72

**GRAFICO No 2.52 MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6455**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.52 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de corriente correspondiente al transformador No. 6455 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las dos fases.

#### **2.8.48 Armónicos de corriente del transformador No 6455**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 6455 de potencia 15KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.52.

**TABLA No 2.52. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 6455**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	6.20	4.22	7.0
5	6.20	6.29	7.0
7	4.22	5.31	7.0
9	4.20	3.63	7.0
11	3.91	3.38	3.5
13	2.80	2.06	3.5
15	2.49	1.93	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

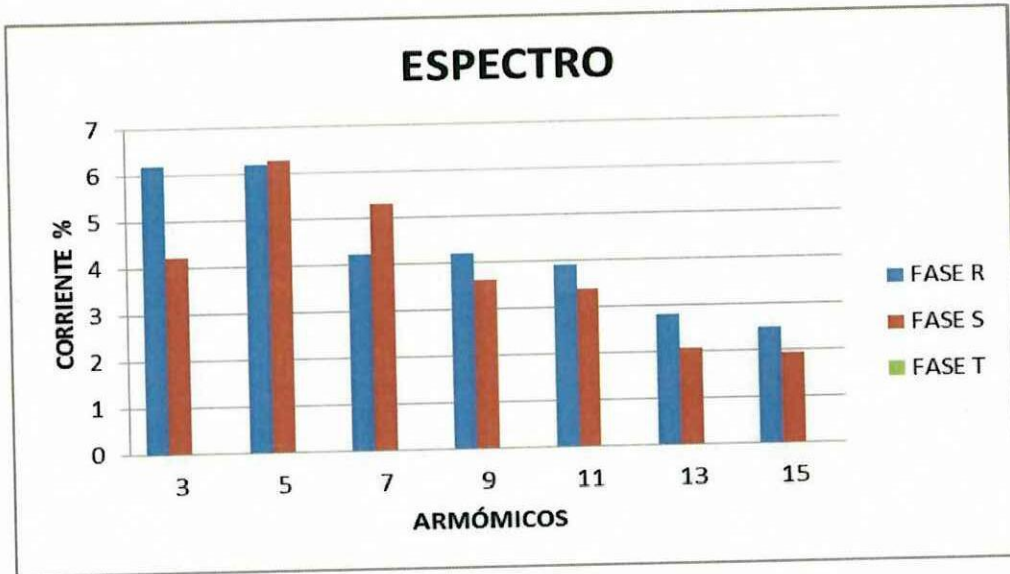
Como se puede apreciar en la tabla No 2.52. los armónicos parciales de corriente se encuentran dentro de los límites establecido en la norma Internacional IEEE 519, la aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 11.90

Fase S: 10.86

**GRAFICO No 2.53 MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 6455**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.53 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 6455 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumple con todas los armónicos establecidos por la normativa IEEE 519-1992

#### **2.8.49 Armónicos de voltaje del transformador No 1341**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 1341 de potencia 50KVA del alimentador FICOA se evaluó con la regulación CONELEC 004/01 emitida por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.53

En la tabla No 2.53 se muestra la comparación de las dos fases medidas con respecto a los límites de distorsión armónica de voltaje de acuerdo a la regulación del CONELEC.

**TABLA No 2.53. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE VOLTAJE DEL TRANSFORMADOR No 1341**

No. Armónicas	V Fase R	V Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
3	1.24	1.16	1.5
5	0.42	0.37	2.0
7	0.05	0.09	2.0
9	0.56	0.57	1
11	0.11	0.15	1.5
13	0	0	1.5
15	0	0	0.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

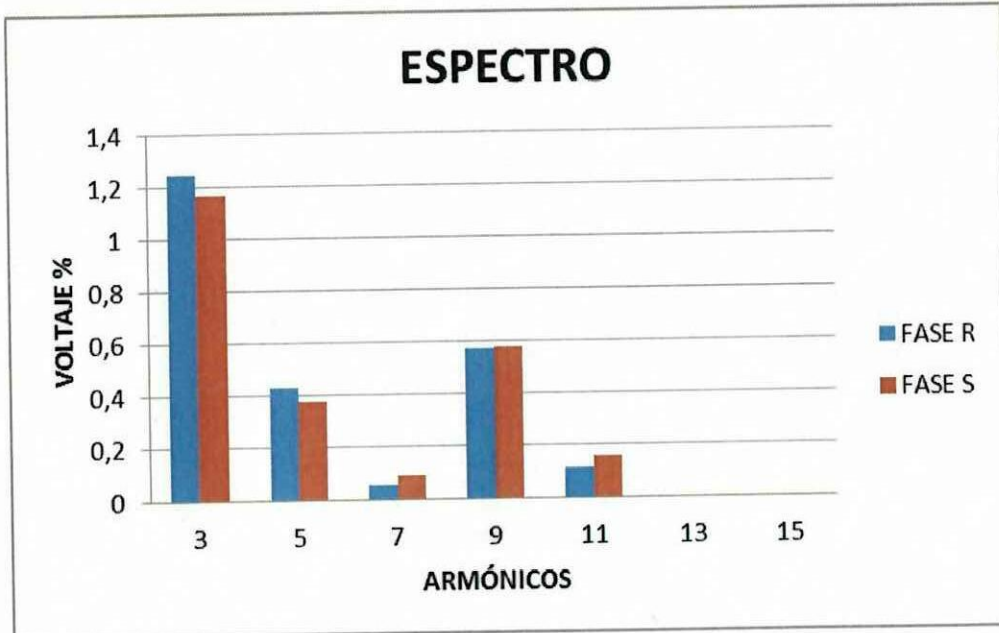
Como se puede apreciar en la tabla No 2.53, el nivel de armónicos individuales de voltaje cumplen en su totalidad con la regulación del CONELEC, con respecto a los valores obtenidos en la medición. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica se hizo por dos fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

La distorsión armónica total de voltaje (THD-V) arrojó los siguientes valores para cada fase:

Fase R: 1.52

Fase S: 1.45

**GRAFICO No 2.54** MAGNITUD ARMÓNICA DE VOLTAJE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1341



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.54 se puede observar el nivel de armónicos THDV parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1341 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del CONELEC y las normativas internacionales de mediciones de armónicos en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que cumplen con todas las armónicas en las dos fases.

#### **2.8.50 Armónicas de corriente del transformador No 1341**

La medición de campo realizada en el transformador monofásico No 1341 de potencia 50 KVA del alimentador FICOA, al no existir ningún límite en la Regulación No. CONELEC – 004/01, se evaluó con la normativa internacional IEEE 519 en la que se indica los índices de calidad de energía que deben ser cumplidos por las empresas de distribución de energía eléctrica, la cual expresa que: en condiciones normales de operación, deberá cumplir los valores de los voltajes de armónicos individuales o parciales que indican en la tabla No 2.54.

**TABLA No 2.54. MÁXIMA DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No 1341**

No. Armónicas	I Fase R	I Fase S	NORMATIVA (%)
	Medición (%)	Medición (%)	
<b>3</b>	10.94	12.77	7.0
<b>5</b>	5.92	11.73	7.0
<b>7</b>	1.18	1.42	7.0
<b>9</b>	0.96	1.40	7.0
<b>11</b>	0.00	0.00	3.5
<b>13</b>	0.05	0.05	3.5
<b>15</b>	0.07	0.13	3.5

FUENTE: DISTORSIÓN DE ARMÓNICOS PARCIALES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

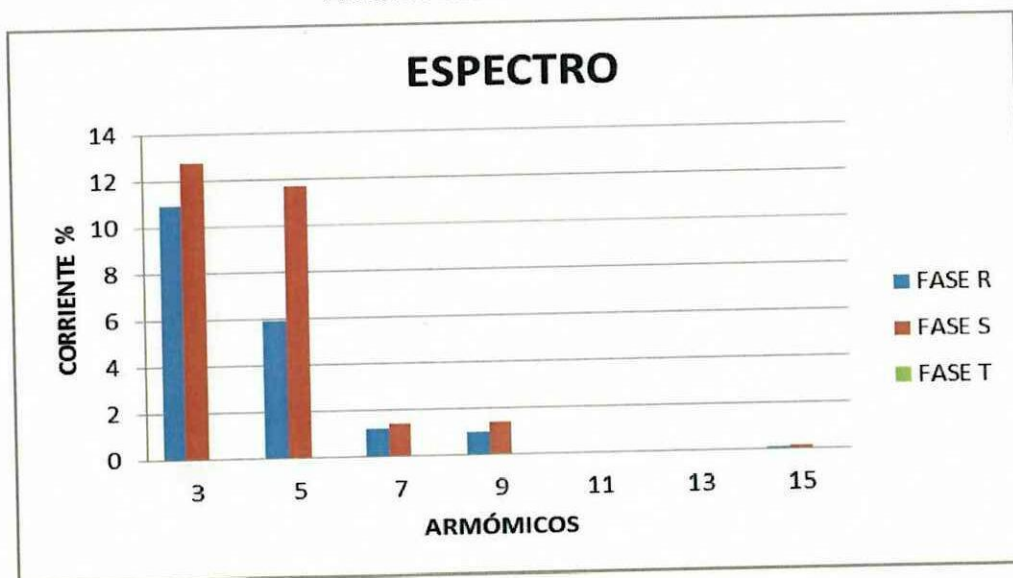
Como se puede apreciar en la tabla No 2.54. La tercera y quinta armónica presentan rangos de valores superiores establecido en la norma Internacional IEEE 519, además se puede visualizar que las demás armónicas se encuentran en los límites establecidos por las normas. La aplicación de la regulación de la distorsión armónica de corriente se hizo por dos fases (R S), esto se realizó por lo que nuestro sistema eléctrico de distribución son radiales y no es balanceado.

De acuerdo con la norma IEEE 519-1992 el límite de distorsión en corriente (THDI) no debe ser superior al 20%, y las mediciones de los valores deben cumplirse en el 95% de las mediciones tomadas por el analizador de redes arrojando los siguientes valores de cada fase:

Fase R: 12.53

Fase S: 17.46

**GRAFICO No 2.55** MAGNITUD ARMÓNICA DE CORRIENTE EN % DEL TRANSFORMADOR No 1341

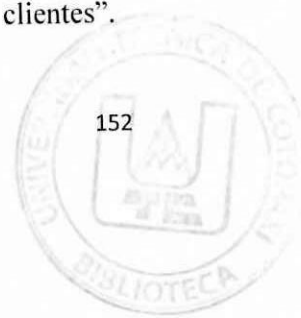


FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO DE CORRIENTE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No 2.55 se puede observar el nivel de armónicos THDI parcial de corriente correspondiente al transformador No. 1341 medidos con el analizador de carga durante un periodo de 7 días a intervalos de 10 minutos cumpliendo así la resolución del de las normativas internacionales de mediciones de armónicos de corriente en las redes de energía eléctrica, donde se aprecia que la tercera y quinta armónica es la que tiene mayor porcentaje de distorsión en las dos fases y no cumplen con la normativa.

### ***2.9 Verificación de la hipótesis***

La presente investigación se realizó en base a la siguiente hipótesis “El análisis para el control de la incidencia de contaminación armónica en las redes de distribución del alimentador Ficoa de la EEASA, permitirá diagnosticar el índice de armónicos representativos en los transformadores del alimentador en estudio, de tal manera que podamos identificar los armónicos más incidentes y realizar la propuesta para mitigar el contenido armónico, para que la institución brinde un servicio de energía eléctrica con mayor calidad y confiabilidad para sus clientes”.



A continuación se realiza la argumentación para demostrar que es factible controlar la incidencia de contenido armónico. Al realizar el análisis de los transformadores de distribución del alimentador Ficoa; que se describen en este capítulo y que se resume en el anexo No.7, se verifica que es de vital importancia determinar un método que permita mitigar la incidencia de contenido armónico en la red de distribución de la EEASA, de esta forma podemos reducir la aportación de corrientes armónicas provenientes de las fuentes que la generan. El encontrar caminos efectivos para mitigar las armónicas en los transformadores del sector, y proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el sistema de las distribuidoras eléctricas. Estas acciones nos ayudara a garantizar que los sistemas de distribución en bajo voltaje no den ningún tipo de problema a los clientes residenciales y comerciales del alimentador Ficoa de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, mejorando de esta manera la confiabilidad del mismo y del sistema de distribución en general, pues esto evitara las desconexiones por la incidencia de contenido armónicos que suelen presentarse de manera inesperada y que resultan ser molestosas. Pues el compromiso que tiene la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. con sus clientes, es la de brindar un servicio eléctrico continuo y cumpliendo los índices de calidad.

## CAPITULO III

### 3. PROPUESTA

#### *3.1 Desarrollo de la propuesta*

**“Propuesta para el control de la incidencia de contenido armónico en la calidad de servicio de energía eléctrica en redes distribución en la zona residencial y comercial del alimentador Ficoa, de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A”.**

#### *3.2 Presentación.*

Desde algunas décadas se ha dado un uso más eficiente de la energía eléctrica y se han logrado aumentos considerables en la productividad de los procesos industriales, gracias al incremento de la tecnología y el uso de cargas no lineales en los sistemas eléctricos.

El problema no sólo afectara al cliente, sino que a través de las líneas de distribución y de transmisión pueden propagarse a otros usuarios de la red de distribución.

En este capítulo se presenta el análisis de cada una de las alternativas de mitigación de armónicos descritas en el Capítulo I, con el propósito de plantear la mejora alternativa de solución para mitigar la incidencia del contenido armónico

en la redes de distribución de la Empresa Eléctrica Ambato S.A., en base a las mediciones y simulaciones realizadas en los transformadores seleccionados del alimentador Ficoa de la subestación Atocha, la cual se caracteriza por tener clientes residenciales y comerciales de la Empresa Eléctrica Ambato S.A., se analizará los armónicos más relevantes utilizando equipos de medición armónica y programas de simulación permitiendo llegar a soluciones a problemas existentes de una forma analítica.

La finalidad de este estudio es determinar el contenido armónico que contienen la red de distribución del alimentador FICOA de la Empresa Eléctrica Ambato S.A y dar propuesta de soluciones ante la presencia de armónicos.

### ***3.3 Justificación de la Propuesta***

Es prioridad de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. brindar el mejor servicio en la entrega de energía eléctrica hacia los clientes, pero uno de los problemas que existen en la distribución de energía son los efectos nocivos de los armónicos presentes en los transformadores de distribución y redes de bajo voltaje de la zona residencial y comercial, esto incide directamente en el calentamiento de los transformadores y conductores produciéndose pérdidas técnicas ya que deberán soportar mayores corrientes, presencia de voltaje en el neutro etc.

Mediante el estudio acerca de los armónicos se plantea propuestas para prevenir en el futuro que las redes de bajo voltaje de la empresa eléctrica colapsen, esto debido al crecimiento de la demanda en la zona comercial y residencial del sector de Ficoa, de esta forma estamos proyectando un servicio eléctrico de mejor calidad para los clientes y cuidando el buen funcionamiento del alimentador para las futuras generaciones.

En la actualidad los reglamentos han variado notablemente a favor del usuario, por lo que se realiza un estudio detallado en lo que corresponde a las perturbaciones en las redes de distribución, en razón de que es necesario atender

todas las exigencias del usuario y tener un servicio con mayor duración y confiabilidad.

Teniendo latente estos problemas y para brindar la mejor alternativa técnica económica a largo plazo a los transformadores del sector residencial y comercial que se sirven del alimentador Ficoa, se aspira determinar mediante mediciones con Analizadores de Red los efectos de los armónicos en los transformadores, los cuales son generados por cada uno de los equipos y electrodomésticos comúnmente presentes en los clientes de este sector.

### **3.4. Objetivos**

#### **3.4.1 General**

- Elaborar una propuesta para el control de la incidencia de contenido armónico en la Calidad de Servicio de energía eléctrica en redes de distribución en la zona residencial y comercial del alimentador Ficoa, de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte SA.

#### **3.4.2. Específicos**

- Recopilar información de los transformadores pertenecientes al alimentador Ficoa, a través de mediciones con analizadores en las redes de distribución.
- Analizar la información de las mediciones según normas y regulaciones vigentes en el sector eléctrico ecuatoriano.
- Verificar las alternativas de solución para disminuir el contenido de armónicos en las redes de distribución de baja voltaje mediante simulación del sistema.

### **3.5. Descripción del Alimentador Ficoa que brinda servicio al sector noroeste de la ciudad de Ambato**

Para la descripción del alimentador Ficoa que sirve al sector noroeste de Ambato, se toma como referencia el “Plano del Alimentador Ficoa 2014”, existente en el departamento de Planificación de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. y que se encuentra en el ANEXO 1, en el cual se muestra información puntual de conductores instalados, niveles de voltaje y los centros de transformación instalados en el alimentador.

#### **3.5.1 Subestación Atocha**

La Subestación Atocha esta interconectado al sistema de subtransmisión de la Empresa Eléctrica Ambato S.A a un nivel de 69 kV, esta subestación cuenta con dos transformadores de potencia, resultado con una potencia instalada de 20 MVA, en el ANEXO No.3 se presenta su respectiva configuración.

Los transformadores de la subestación Atocha tiene una conexión triángulo – estrella ( $\Delta$ -Y), esta subestación cuenta con 6 alimentadores que operan con un nivel de voltaje de 13,8 kV las cuales se detallan en la siguiente tabla:

**TABLA No. 3.1 ALIMENTADORES DE LAS SUBESTACIÓN ATOCHA**

No.	Alimentador	Demanda (kVA)
1	Ficoa	3126
2	Salida 2	3758
3	Martínez	2986
4	Av. Las Américas	4173
5	Quisapincha	2598
6	Pilishurco	3569

FUENTE: SUBESTACIÓN ATOCHA  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Para la investigación describiremos el alimentador Ficoa que suministra energía a la parte noroeste de la ciudad de Ambato.

### ***3.5.1.1 Descripción del alimentador Ficoa***

El alimentador Ficoa se caracteriza por ser de tipo radial opera a un nivel de 13.8 kV y tiene una carga instalada de 8747 kVA, está conformado por cables preensamblado XPLE 3\*1\0+1\0 y XPLE 2\*2+1\0, los circuitos de medio voltaje tienen una longitud de 31.9 Km en medio voltaje y los circuitos de bajo voltaje tienen una longitud de 57.9 Km, a nivel de usuarios tanto comercial y residencial existen 6073 medidores instalados.

### ***3.6. Factibilidad de aplicación de la propuesta***

La presente propuesta reúne todas las condiciones que servirá como punto de partida para determinar las condiciones actuales de armónicas en la red de distribución del alimentador FICOA de la Empresa Eléctrica Ambato S.A. tomando los siguientes aspectos:

#### ***Aspecto Administrativo.***

- La Presidencia Ejecutiva de la Empresa Eléctrica Ambato S.A esta consiente que el servicio de energía eléctrica que brinda a sus clientes es factible mejorar.
- El personal Técnico/Operativo de la Empresa tiene pleno conocimiento de los problemas que tienen las redes de distribución por la afectación de los niveles de armónicas de voltaje y corriente.
- El CONELEC, propone la aplicación en su totalidad de la regulación CONELEC – 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”,

respecto a la calidad de servicio que las distribuidoras deben brindar a sus clientes.

### ***Aspecto Técnico.***

- La propuesta de soluciones técnicas propuestas en este capítulo, una vez implementadas mostraran resultados inmediatos (cambio de conductores, filtros para armónicos)
- La mejor alternativa de mitigación de armónicas en las redes de distribución ayudara al personal técnico planificar el mantenimiento en todo el sistema de distribución.

### ***Fundamentación Legal***

En la actualidad, la materia prima más versátil es, indudablemente, la energía eléctrica, lo que está dado por la facilidad de su uso en cualquier proporción, su accesibilidad y posibilidad de conversión a otros tipos de energía, de manera relativamente sencilla; como cualquier otra materia prima. La calidad de la misma es de suma importancia para el resultado del proceso en que se esté utilizando. A continuación presento los diferentes artículos de la Constitución y las leyes:

Conforme a lo dispuesto en la Constitución Política del Estado, Capítulo Quinto de Sectores Estratégicos, Servicios y Empresa Publicas, artículo 314, “El Estado garantizara que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad”.

La ley Orgánica de defensa del consumidor, Capítulo V, Servicio Públicos Domiciliarios, en el artículo 32 concerniente a Obligaciones, expone.- “Las empresas encargadas de la provisión de servicios públicos domiciliarios, sea directamente o en virtud de contratos de concesión, están obligadas a prestar

servicios eficientes, de calidad, oportunos, continuos, permanentes y a precios justos”.

La Ley de Régimen Eléctrico, Capítulo I, Sección II Obligaciones del distribuidor y del consumidor en su artículo 6, indica las obligaciones de las empresas distribuidoras.- “El distribuidor está obligado a cumplir con las disposiciones que establece la Constitución Política de la República, la Ley Orgánica de Defensa del Consumidor, la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, su Reglamento General, el Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica, este reglamento, las regulaciones dictadas por el CONELEC y las obligaciones establecidas en el contrato de concesión. El distribuidor asume la responsabilidad de prestar el servicio a los consumidores ubicados en su zona de concesión, de acuerdo a estas normas y mantener el suministro de energía y la atención al consumidor, dentro de los límites de calidad previstos en la regulación correspondiente”.

El Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, Capítulo II, Aspectos Técnicos, en su artículo 10, referente a la Calidad del producto, perturbaciones, manifiesta.-“ Las perturbaciones que se controlarán son las oscilaciones rápidas de voltaje (flicker), las distorsiones armónicas y cualquier otro parámetro que la experiencia demuestre que afecta la calidad del servicio. El distribuidor por su propia iniciativa, por reclamo de los consumidores o exigencia del CONELEC, efectuará las mediciones y estudios necesarios para determinar el origen y las magnitudes de las perturbaciones. El distribuidor podrá suspender el servicio a los consumidores cuyas instalaciones produzcan perturbaciones en el sistema de distribución que excedan los límites permitidos, hasta que se eliminen las causas de tales perturbaciones”.

En el Ecuador, la regulación del CONELEC – 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”, normaliza a las empresas distribuidoras de electricidad; las cuales deben cumplir con calidad del producto (nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje), calidad del servicio técnico (frecuencia de

interrupciones, duración de interrupciones), y calidad del servicio comercial (atención de solicitudes, atención de reclamos, errores en medición y facturación).

### ***3.6.1 Justificación de la propuesta para la mitigación de la incidencia de contenido armónico.***

De los métodos para el control de la incidencia de contenido armónico descrito en el capítulo I, se presenta el análisis para seleccionar la mejor opción para este caso de estudio:

#### ***Sobredimensionamiento del Neutro.***

Al sobredimensionar el conductor de neutro, está en capacidad de soportar una mayor corriente, ya que al aumentar la sección del conductor se reduce la resistencia del mismo, y se tiene como aspecto positivo la reducción de pérdidas por calentamiento, para cumplir con este propósito es necesario realizar el cambio de conductor del neutro lo que resulta un costo operativo y un costo por materiales, además para realizar este cambio es necesario proceder con la suspensión de servicio eléctrico del sector, lo que afecta a la continuidad y confiabilidad del servicio eléctrico que brinda la EEASA.

El sobredimensionamiento del neutro no elimina las corrientes armónicas que fluyen en el sistema de distribución de bajo voltaje, sino que es una forma de encubrir las armónicas y evitar sus consecuencias, el resultado es un mayor incremento del costo del sistema de distribución.

#### ***Conexiones especiales para transformadores.***

Las conexiones especiales para los transformadores es una solución que inhibe la propagación de armónicos de corriente de tercer orden y sus múltiplos, cuando las corrientes del neutro de armónicas llegan a un transformador delta-estrella la misma es reflejada dentro del devanado primario en delta donde circula y causa sobrecalentamiento y fallas, además esta no produce efectos sobre armónicos de

otro orden que no sean múltiplos de tres (o de sentido de rotación inversa). Al contrario, esta solución limita la disponibilidad de la fuente e incrementa la impedancia de línea.

### ***Filtros***

Los filtros pasivos, presentan un camino de menor impedancia que la red, para la frecuencia de la armónica que se desea eliminar, además de este modo la corriente armónica se va por el filtro preferentemente y la impedancia total equivalente del sistema, a esa frecuencia determinada, es menor; como la corriente armónica produce una caída de tensión menor en la impedancia de la red, ello significa que la distorsión de tensión disminuye.

De los tres métodos de mitigación de armónicos analizados, se determina que la mejor opción para el control de la incidencia de contenido armónico en el alimentador Ficoa es mediante la utilización de filtros, ya que los otros dos métodos como: sobredimensionamiento del neutro y conexiones especiales en transformadores, las cuales no presentan una buena solución técnica y económica.

### ***3.7 Propuesta de análisis de Armónicos en las redes de distribución del Alimentador Ficoa***

Se presenta los resultados del alimentador FICOA, mediante la simulación en el programa digital CYMDIST – MODULO CYMHARMO que es un módulo del programa CYME diseñado para efectuar análisis de armónicos en redes de energía eléctrica, esto es con el fin de observar la respuesta característica del alimentador, en función de los voltajes y corrientes dependientes de la frecuencia, ante la presencia de armónicos.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizó la base de datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Ambato S.A del Departamento de Planificación, dicha información contempla los datos necesarios de transformadores y líneas de distribución primaria.

La obtención del comportamiento de dicha red, requirió un estudio de flujo de armónico enfocado principalmente en los niveles de voltaje en cada nodo y corriente en los alimentadores a frecuencias mayores de 60 hertz (Hz) en el alimentador FICOA.

**TABLA No 3.2 DATOS DE CARGA**

Numero de transformador	Tipo	Fases	Corriente De fase	Demanda		Potencia nominal (kVA)	Zcc %
				P (kW)	Q (kVAr)		
2111	Trifásico	A	140.142	60.224	30.289	112.5	2.4
		B	177.171				
		C	196.314				
6629	Trifásico	A	170.132	96.021	41.678	112.5	3.8
		B	123.455				
		C	163.456				
2056	Trifásico	A	160.111	98.011	49.456	112.5	2.4
		B	145.033				
		C	187.542				
2060	Trifásico	A	60.600	30.234	10.111	45	2.3
		B	69.400				
		C	30.400				
2116	Trifásico	A	20.157	13.337	4.216	15	2.9
		B	15.965				
		C	15.989				
1120	Trifásico	A	125.423	80.667	30.066	112.5	2.4
		B	118.133				
		C	129.087				
2127	Trifásico	A	61.770	47.653	21.262	75	2
		B	36.123				

		<b>C</b>	52.342				
<b>1344</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	51.002	43.053	19.262	50	3.8
		<b>B</b>	40.677				
		<b>C</b>	39.232				

<b>897</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	33.231	26.786	11.89	30	2.9
		<b>B</b>	25.333				
		<b>C</b>	27.677				
<b>4361</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	21.232	14.423	5.765	15	1.6
		<b>B</b>	16.154				
		<b>C</b>	11.678				
<b>1524</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	23.542	39.656	18.191	50	4
		<b>B</b>	33.331				
		<b>C</b>	31.965				
<b>2077</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	17.741	41.200	19.677	45	2.3
		<b>B</b>	56.177				
		<b>C</b>	16.701				
<b>3505</b>	<b>Trifásico</b>	<b>A</b>	66.158	48.099	22.014	50	3.3
		<b>B</b>	93.332				
		<b>C</b>	71.635				
<b>2907</b>	<b>Monofásico</b>	<b>A</b>	13.215	53.364	24,232	75	1.4
		<b>B</b>	10.356				
<b>5577</b>	<b>Monofásico</b>	<b>A</b>	36.773	26.377	11.610	50	1.2
		<b>B</b>	46.589				
<b>6699</b>	<b>Monofásico</b>	<b>A</b>	36.809	6.41	2.533	15	1.4
		<b>B</b>	31.741				

2072	Monofásico	A	11.102	36.555	25.976	37.5	2.5
		B	10.659				
2073	Trifásico	A	57.211	60.720	28.724	75	4
		B	51.053				
		C	19.819				
8676	Monofásico	A	36.773	30.222	13.100	50	1.8
		C	46.589				
9117	Monofásico	A	19.578	11.67	5.054	15	1.4
		B	22.865				
1247	Monofásico	A	26.777	23.097	10.086	25	1.8
		B	25.890				
6455	Monofásico	A	6.443	14.062	6.083	15	1.3
		B	7.614				
1341	Monofásico	A	40.396	39.870	17.825	50	3.3
		B	41.150				
6749	Monofásico	A	45.0296	9.793	3.710	15	1.4
		B	45.466				
620	Monofásico	A	56.400	28.022	12.888	37.5	2.3
		B	44.200				

FUENTE: DATOS DE CARGA Y POTENCIA ELÉCTRICA  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En la tablas No 3.2 se observa los datos de corriente de carga de cada fase, potencia de los transformadores (kVA), impedancia de cortocircuito en porcentaje ( $Z_{cc} \%$ ), y la demanda de potencia activa (kW) y potencia reactiva (kVAr)

consumida en un periodo de mediciones 7 días cumpliendo la resolución del CONELEC 004/10 de calidad de energía.

### *3.7.1 Consideraciones generales*

- 1.- Se considera a la red un sistema estable que tiene cargas inductivas, capacitivas y resistivas en las barras de bajo voltaje. En este caso las fuentes generadoras de armónicos se caracterizan por los equipos eléctricos y electrónicos que se utilizan en las zonas residenciales y comerciales estas pueden ser tales como (maquinas retóricas, hornos de arco, luz fluorescente, cargadores de batería, fuentes de poder en modos de conmutación, lámparas fluorescentes, computadoras, copadoras, fax, focos ahorradores etc.)
- 2.- Se realiza simulaciones en el alimentador tomando los límites de armónicos dadas por la norma IEEE 519 debido que es la recomendada por el software CYMDIST – MODULO CYMHARMO que es un módulo del programa CYME tomando como valores el THD(%), kV L-N, armónicos parciales (IHD%) y los respectivos espectro armónico.
- 3.- Se realiza una comparación de resultados con los armónicos que no están dentro de la regulación establecidas por CONELEC y la norma internacional IEEE 519-1992 para los transformadores que más incidencia de armónicos tiene en la red de distribución del alimentador FICOA, observando el desempeño del software CYME para un sistema con distorsiones armónicas y su efectividad al proporcionar los resultados.
- 4.- Se realiza un estudio de propuesta de mitigación de armónicos para los transformadores que contiene alto índice de contenido armónico observando los resultados con efectividad.

### ***3.8 Simulación de Transformadores con armónicos de voltaje***

En el ANEXO No 7 muestra los resultados de la simulación del flujo de armónicos del alimentador FICOA para los nodos correspondientes. La distorsión armónica total debe ser menor o igual al 8%; y, se admite cumplimiento si al menos el 95% de las mediciones se encuentran dentro del límite admisible, conforme lo establece la Regulación No. CONELEC 004/01, con esta consideración se observa que cumple el 100 % de todos los registros.

### ***3.9 Análisis de los transformadores con armónicos de corriente***

En el ANEXO No 8 muestra los valores de armónicos simulados en diferentes nodos del alimentador FICOA y al no existir límites a las distorsiones armónicas de corriente en el país, y en virtud de ser necesario que exista una análisis de las THDI, en el presente trabajo se hace uso de la norma IEEE 519-1992, la cual determina que límite de distorsión no debe superar 20%, debiendo cumplirse este límite en el 95 % de las mediciones.

Con la medición de campo y la simulación en software CYMDIST – MODULO CYMHARMO se observa que existen 5 transformadores que sobrepasan el límite de armónico de corriente que se detalla en las siguientes tablas.

**TABLA No. 3.3 TRANSFORMADORES CON ÍNDICES ARMÓNICOS DE CORRIENTE**

<b>No</b>	<b>Transformador</b>	<b>Tipo</b>	
1	2111	Trifásico	Comercial
2	2056	Trifásico	Comercial
3	1120	Trifásico	Comercial
4	2073	Trifásico	Residencial
5	1341	Monofásico	Residencial

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En la tabla No 3.3 se observa los transformadores del alimentador Ficoa, los cuales se encuentran con alto índice de contenido armónico de corriente, de tal manera que serán analizados y simulados buscando la alternativa de mitigación de armónicos

### 3.9.1 Transformador No 2111

**TABLA No. 3.4 DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR NO. 2111**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2111</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Medición de Campo	A	9.34	34.6	23.38	3.68	0.05	1.257	2.41	<b>43.03</b>
	B	23.46	45.68	4.99	1.97	1.62	2.3	4.23	<b>51.88</b>
	C	13.7	33.76	33.05	3.38	0.72	0.957	1.54	<b>49.34</b>
Simulación Cyme	A	8.63	36.91	22.37	1.86	0	1.47	3.01	<b>44.18</b>
	B	27.69	67.27	7.99	2.96	0.57	1.02	5.68	<b>73.48</b>
	C	9.41	39.46	30.61	4.26	0.67	0.50	1.75	<b>51.04</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Se observa que los datos de campo obtenidos con el analizador de red y la simulación realizada, los armónicos de orden 3<sup>ra</sup>, 5<sup>ta</sup> y 7<sup>ma</sup> son las que tienen mayor índice por lo que es necesario realizar los cálculos, para verificar los límites permitidos por la norma IEEE 519.

Mediante la ecuación (3.1) se calcula la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$ . La impedancia del transformador se obtiene de la placa característica del transformador y se muestra en la tabla No. 3.2. Para el transformador trifásico No. 2111 de 112.5 kVA,  $X_{pu}$  se tiene un valor de 2.4% o 0.024 (pu).

$$I_{cc} = \frac{1}{x_{pu}} \quad (EC 3.1)$$

Remplazando los valores se tiene:

$$I_{CC} = \frac{1}{0.024} = 41.666 \text{ p.u}$$

A partir de la ecuación 3.2 se obtiene el valor  $\alpha$ , pero previamente se calcula el valor de la corriente de carga  $I_L$  en amperios, para posterior obtener la corriente en valores por unidad  $I_{Lpu}$

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_{Lpu}} \quad (EC 3.2)$$

La corriente de carga se obtiene empleando la ecuación 3.3

$$S = V \cdot I_L \cdot \sqrt{3} \quad (EC 3.3)$$

La potencia que se considerará es la del transformador N. 2111, es decir, 112.5 KVA, el voltaje correspondiente al secundario del transformador es 208 V y se calcula despejando la corriente  $I_L$  de la ecuación 3.3

$$I_L = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$I_L = \frac{112.5 \text{ kVA}}{208 \cdot \sqrt{3}} = 312.268 \text{ A}$$

Para encontrar los valores en por unidad se aplica la siguiente ecuación 3.6:

$$I_{Lpu} = \frac{I_{fase}}{I_L} \quad (EC 3.6)$$

Por lo tanto para la fase 1. Se tiene como valor máximo obtenido en la tabla 3.2

$$I_{Lpu} = \frac{140.142}{312.268} = 0.448 \text{ p.u}$$

A continuación se obtiene el factor  $\alpha$  dado por la ecuación 3.2

$$\alpha = \frac{41.666 \text{ (p.u)}}{0.448 \text{ (p.u)}} = 93.00$$

**TABLA No. 3.5 DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 2111**

Fases	X <sub>pu</sub>	I <sub>cc</sub> (pu)	I <sub>lpu</sub>	$\alpha$
<b>I1</b>	0.024	41.666	0.448	93.00
<b>I2</b>	0.024	41.666	0.375	111.10
<b>I3</b>	0.024	41.666	0.628	66.347

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Con los datos de la tabla No 3.4 y tabla No. 3.5 se verifica el valor de  $\alpha$  y se comprueba que en el transformador No. 2111 sobrepasan el límite de armónicos individuales de corrientes al del %THDi, recomendados en la norma IEEE-519-1992.

Por lo que es necesario realizar el diseño del filtro en los nodos requeridos para reducir la distorsión armónica de corriente. El diseño se realizará utilizando la metodología siguiente:

### ***3.10 Diseño del filtro pasivo sintonizado serie RLC***

El diseño de este filtro, se lo realiza debido a que con los datos del análisis durante el proceso de estudio, permitirán con el modelo descrito corregir el contenido armónico para este caso.

Valores base del sistema:

$$KVA_{base} = 100$$

$$KV_{base} = 13.8$$

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2 * 1000}{kVA_{base}} = \frac{13.8^2 * 1000}{100} = 1904.4 \Omega$$

Cálculo del filtro para eliminar la quinta armónica (sintonizada a un - 6% de la frecuencia armónica, de acuerdo con la norma IEEE-1531-2003) en el nodo del transformador No. 2111.

Con los datos del sistema que se tienen en el nodo del transformador proporcionado en la tabla No. 3.1 se tiene:

$$P_3 = 0.602 \text{ (p.u)} \quad Q_3 = 0.3028 \text{ (p.u)}$$

Se realiza lo siguiente:

La potencia aparente está dado por:

$$S_3 = \sqrt{Q_3^2 + P_3^2} = \sqrt{0.602^2 + 0.302^2} = 0.673 \text{ (p.u)}$$

$$KVA = KVA_{base} * S_3 = (100 * 10^3) * 0.673 = 67.3 \text{ kVA}$$

El factor de potencia es:

$$fp1 = \frac{P_3 \text{ (PU)}}{S_3 \text{ (PU)}} = \frac{0.602}{0.673} = 0.894$$

Se desea elevar el factor de potencia hasta un valor de 0.95. Por lo tanto la potencia de los capacitores debe ser de:

$$\theta_1 = \cos^{-1} (fp1) = \cos^{-1} (0.894) = 29.577^\circ$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} (fp2) = \cos^{-1} (0.95) = 20.1949^\circ$$

$$Q_{eff} = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = ((kVA)(fp1)) * (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = ((67.3 * 10^3)(0.895)) * (\tan 29.577 - \tan 20.1949) = 10.408 \text{ KVAR}$$

El arreglo del banco de capacitores trifásico instalado en el nodo del transformador No. 2111 se debe seleccionar con respecto a los valores comerciales establecidos en la norma IEEE-18-2002.

$$V_{LL} = kV_{base} * V_{PU} = 13.8 * 0.99 = 13.662 \text{ kV}$$

$$X_{eff} = \frac{V_{LL \text{ sist}}^2}{Q_{eff}(\text{kVAr})} = \frac{(13.8 * 10^3)^2}{10.408 * 10^3} = 18.287 \Omega \text{ por fase}$$

$$X_C = \frac{h^2}{h^2 - 1} * X_{eff} = \frac{36.91^2}{36.91^2 - 1} * 18.287 \Omega = 18.300 \Omega = 0.0016 \text{ p.u}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2 * \pi * 60 \text{ Hz} * 18.300 \Omega} = 0.144 \mu\text{F}$$

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} = \frac{18.300 \Omega}{36.91^2} = 0.0134 \Omega = 0.000007053 \text{ p.u}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{0.0134 \Omega}{2 * \pi * 60 \text{ Hz}} = 0.0355 \text{ mH}$$

Para  $Q_f$  (factor de calidad del filtro) = 20

$$R = \frac{X_L(\text{fres})}{Q_f} = \frac{0.0134 \Omega (36.91)}{20} = 0.024 \Omega = 0.0000129 \text{ p.u}$$

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la siguiente condición:

$$X_C = X_L$$



$$X_C(h = 36.91) = \frac{X_C}{h} = \frac{18.300 \Omega}{36.91} = 0.495 \Omega$$

$$X_L(h = 36.91) = X_L * h = 0.0134 * 36.91 = 0.495 \Omega$$

$$I_{fund(1)} = \frac{kV_{LL}/\sqrt{3}}{(X_C - X_L)} = \frac{13.8/\sqrt{3}}{(18.300 - 0.0134)} = 435.697 \text{ A}$$

*Corrientes armónicas con respecto a la fundamental son:*

$$I_5 = 25\% I_{fund} = 108.924$$

$$I_7 = 15\% I_{fund} = 65.354$$

$$I_{11} = 10\% I_{fund} = 43.569$$

$$I_{13} = 5\% I_{fund} = 21.784$$

$$\begin{aligned} I_{total\ rms} &= \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{23}^2} \\ &= \sqrt{1.433 \text{ A}^2 + 358.25^2 + 214.95^2 + 143.3^2 + 71.65^2} \\ &= 456.44 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\% \text{ maegen de corriente} = \frac{I_{total\ rms}}{I_{fund(1)}} \times 100 = \frac{456.44 \text{ A}}{435.687 \text{ A}} \times 100 = 104.76 \%$$

$$\begin{aligned} I_{total\ rms} &= 104.76\% I_{fund(1)} \\ &\leq 135\% I_{fund(1)} \text{ establecido en la norma IEEE - 18} \\ &\quad - 202 \text{ se encuentra dentro de la norma} \end{aligned}$$

$$V_C(1) = I_f(1) \times X_C = 435.687 \text{ A} \times 18.300 \Omega = 7.973 \text{ kV}$$

$$V_C(h) = \sum_h^n I(h) x \frac{X_C}{h}$$

$$V_C(5) = \left( 108.924 \text{ A} x \frac{18.300 \Omega}{5} \right) = 398.66 \text{ V}$$

$$V_C(7) = \left( 65.354 \text{ A} x \frac{18.300 \Omega}{7} \right) = 170.85 \text{ V}$$

$$V_C(11) = \left( 43.569 \text{ A} x \frac{18.300 \Omega}{11} \right) = 72.48 \text{ V}$$

$$V_C(13) = \left( 21.784 \text{ A} x \frac{18.300 \Omega}{13} \right) = 30.66 \text{ V}$$

$$V_C(h) = 0.672 \text{ kV}$$

$$V_{C L-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} x (V_C(1) + V_C(h)) = \sqrt{2} x (7.973 \text{ kV} + 0.672 \text{ kV}) \\ = 12.221 \text{ kV}$$

$$V_{L-N \text{ sist}} = \frac{V_{LL \text{ sist}}}{\sqrt{3}} = \frac{13.8 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 7.96 \text{ kV}$$

$$V_{L-N \text{ pico del sit}} = \sqrt{2} x V_{L-N \text{ sist}} = 11.257 \text{ kV}$$

$$\% \text{ margen de voltaje} = \frac{V_{C L-N \text{ total pico}}}{V_{L-N \text{ pico del sit}}} = \frac{12.221 \text{ kV}}{11.257 \text{ kV}} x 100 = 108.56 \%$$

$I_{total \text{ rms}} = 108.56 \% V_{L-N}$  en nodo del transformador No. 2111

$\leq 120 \% V_{L-N}$  establecido en la norma IEEE - 18  
- 202 se encuentra dentro de la norma

$$V_{CL-N \text{ total rms}} = \sqrt{V_C(1)^2 + V_C(5)^2 + V_C(7)^2 + V_C(11)^2 + V_C(13)^2} = \\ \sqrt{7.97 \text{ kV}^2 + 0.398 \text{ kV}^2 + 0.170 \text{ kV}^2 + 0.0724 \text{ kV}^2 + 0.0306 \text{ kV}^2} = 7.98 \text{ kV}$$

$$V_{L-N \text{ rms sist}} = \frac{V_{LL \text{ sist}}}{\sqrt{3}} = \frac{13.8 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 7.96 \text{ kV}$$

$$\% \text{ margen de voltaje} = \frac{V_{CL-N \text{ total rms}}}{V_{L-N \text{ rms del sist}}} \times 100 = \frac{7.98 \text{ kV}}{7.96 \text{ kV}} \times 100 = 100.25 \%$$

$I_{\text{total rms}} = 100.25 \% V_{LL}$  en nodo del transformador No. 2111

$\leq 110 \% V_{L-N \text{ rms sist}}$  establecido en la norma IEEE - 18  
- 202 se encuentra dentro de la norma

$$Q_{3\Phi \text{ recalculada}} = \frac{V_{CL-N \text{ rms}}^2}{X_C} \times 3 = \frac{(7.98)^2 \times 1000}{18.300} \times 3 = 10.439 \text{ kVAr}$$

$$\% \text{ margen de VA} = \frac{Q_{3\Phi \text{ recalculada}}}{Q_{3\Phi}} \times 100 = \frac{10.43 \text{ kVAr}}{10.408 \text{ kVAr}} \times 100 = 100.21 \%$$

$I_{\text{total rms}} = 100.21 \% Q_{3\Phi}$  en nodo del transformador No. 2111

$\leq 135 \% Q$  establecido en la norma IEEE - 18  
- 202 se encuentra dentro de la norma

La revisión final del diseño del filtro armónico es ver que el calentamiento del dieléctrico del capacitor del filtro armónico es aceptable con respecto de la norma IEEE-18-2002. El calentamiento del dieléctrico es evaluado por la siguiente desigualdad:

$$\sum_h (V(h)I(h)) \leq 1.35 Q_{3\Phi \text{ recalculada}}$$

$$\begin{aligned}
 &3 \times (7.97 \text{ kV} \times 0.435 \text{ kA}) + (0.398 \text{ kV} \times 0.108 \text{ kA}) \\
 &\quad + (0.170 \text{ kV} \times 0.0653 \text{ kA}) \times (0.072 \text{ kV} \times 0.0435 \text{ kA}) \\
 &\quad + (0.030 \text{ kV} \times 0.0217 \text{ kA}) = 1.35 * 10.439 \text{ kVAr}
 \end{aligned}$$

Comparando la desigualdad se tiene:

$$10.574 \leq 14.092 \text{ kVAr}$$

La desigualdad es satisfecha con margen substancial, por lo tanto el calentamiento dieléctrico del diseño propuesto es satisfactorio en la tabla No. 3.6 muestra los datos del filtro pasivo simple sintonizado y de acuerdo con la norma IEEE-18-2002 se elige el siguiente filtro.

**TABLA No. 3.6. FILTRO PASIVO SINTONIZADO DEL TRANSFORMADOR No.2111**

C (uF)	L (mH)	Reactor ( $\Omega$ )
431	4.08	0.024

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### ***3.11 Calculo de un filtro activo del transformador No. 2111***

El diseño de este filtro, se lo realiza debido a que con los datos del análisis durante el proceso de estudio, permitirán con el modelo descrito corregir el contenido armónico para este caso.

**TABLA No. 3.7 DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 2111**

Voltaje del sistema	208 VAC
Corriente promedio del sistema	171.209
THD en corriente	36.6%
Energía reactiva consumida	30.289 kVAr

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA



Mediante la siguiente formula es posible estimar la corriente rms armónica, es decir la componente efectiva relacionada con las frecuencias no fundamentales.

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_i^2} + 1}}$$

Dónde:

$I_{RMS}$ : Corriente total de carga

$THD_i$ : Tasa de distorsión armónica de corriente

$I_H$ .- corriente efectiva armónica

De esta forma y con los datos obtenidos se estima la corriente armónica total:

$$I_H = \frac{171.209 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.366^2} + 1}} = 58 \text{ A rms}$$

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde:

$I_{FILTRO}$ : Capacidad requerida del filtro activo

$I_H$ : Corriente armónica requerida

$I_R$ : Corriente efectiva requerida

Así, se estima la corriente necesaria para compensar 30.289 kVAr que absorbe la carga, asumiendo un factor de potencia objetivo unitario.

$$I_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{30.289 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V}} = 84.073 \text{ A}$$

Finalmente se calcula la capacidad del filtro requerido:

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{58^2 + 84.073^2} = 102.138 \text{ A}$$

En la tabla 3.8 se eligió un filtro activo de 100 amperios.

**TABLA No 3.8 FILTROS ACTIVOS COMERCIALES**

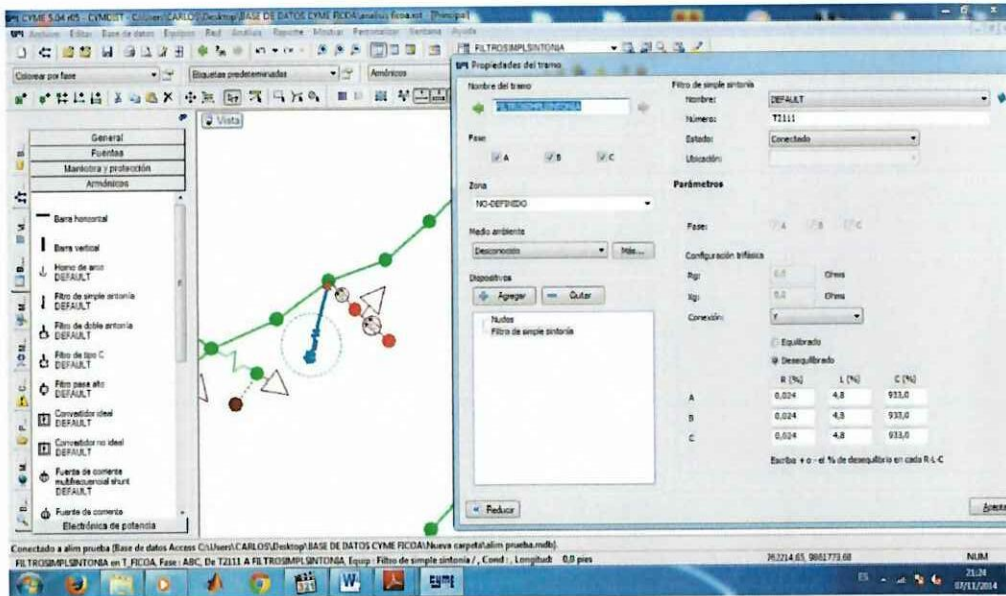
Corriente nominal	Máxima Potencia Reactiva (kVAr)			Referencia	Encerramiento
	208	400	480		Clase
50	18	34.8	41.8	5N1205	NEMA 12 (IP 30)
100	38	88.2	83.1	IP3065	NEMA 12 (IP 30)
150	76	90	102	IP3067	NEMA 12 (IP 30)
300	108	207.8	249.4	N12065	NEMA 12 (IP30)

FUENTE: <http://www.schneider-electric.com/products/co/ls/4300-correccion-de-factor-de-energia-componentes-y-sistemas/4340-filtros-compensadores-activos/2187-accusine/>  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### **3.11.1 Resultado de la simulación del transformador No. 2111**

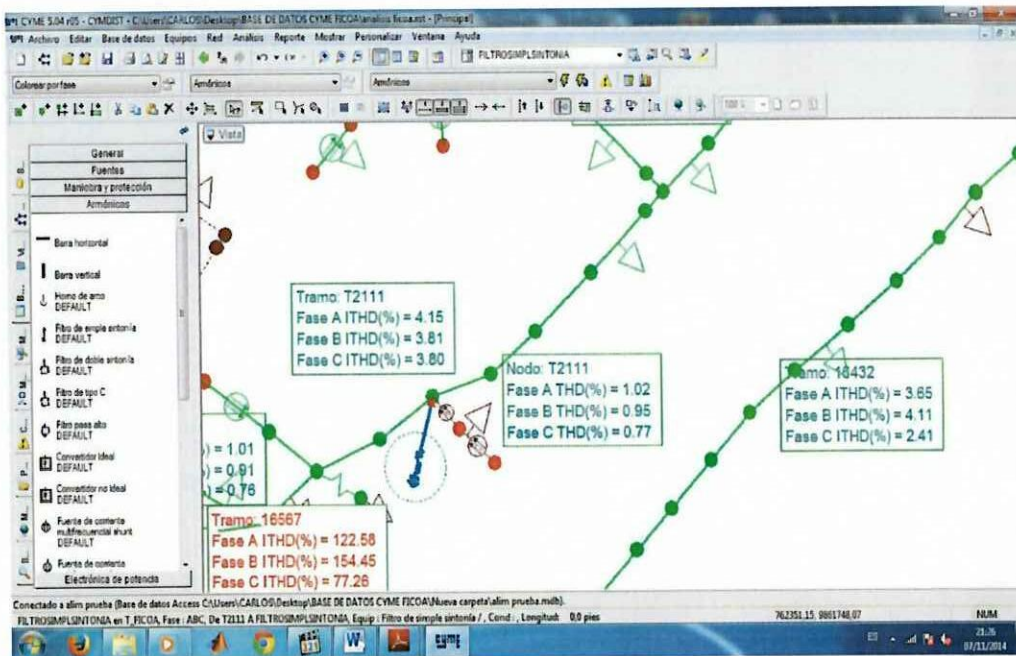
En el siguiente gráfico No. 3.1 y 3.2 se muestra el procedimiento de ingreso de los filtros armónicos pasivo y activo para luego ser simulado en software CYME, en las redes de distribución del alimentador FICOA, se realiza la simulación en los 5 transformadores que contienen alto índice de armónicos parciales de corriente mostrando los resultados en tres escenarios que son: simulación sin filtro, con filtro pasivo sintonizado a la armónica requerida para su reducción del contenido armónico y finalmente con el filtro pasivo.

GRAFICO No. 3.1 INGRESO DE FILTRO ARMONICO



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

GRAFICO No. 3.2 INGRESO DE FILTRO



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

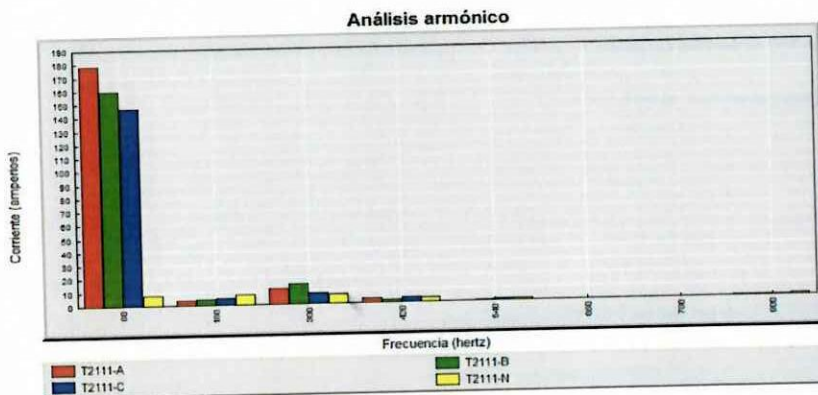
**TABLA No. 3.9 DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR NO. 2111**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2111</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	TDD
Simulación sin filtro	A	8.63	36.91	22.37	1.86	0	1.47	3.01	<b>44.18</b>
	B	27.69	67.27	7.99	2.96	0.57	1.02	5.68	<b>73.48</b>
	C	9.41	39.46	30.61	4.26	0.67	0.50	1.75	<b>51.04</b>
Simulación filtro pasivo	A	4.05	6.07	4.60	1.56	0.00	0.02	0.38	<b>7.78</b>
	B	2.47	6.09	3.08	2.03	0.00	0.12	0.65	<b>7.56</b>
	C	2.98	4.52	2.86	1.81	0.00	0.23	0.72	<b>6.41</b>
Simulación filtro activo	A	0.99	3.34	0.84	0.70	0.00	0.01	0.18	<b>3.65</b>
	B	2.69	2.61	1.38	0.91	0.00	0.06	0.29	<b>4.11</b>
	C	0.30	1.85	1.23	0.82	0.00	0.06	0.33	<b>2.41</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Tal como se puede ver en la tabla No. 3.9 y en las gráficas No. 3.3, 3.4 y 3.5, el contenido armónico de la corriente de línea en el punto de conexión de la carga disminuye prácticamente por completo, cumpliéndose el objetivo del filtro pasivo y activo.

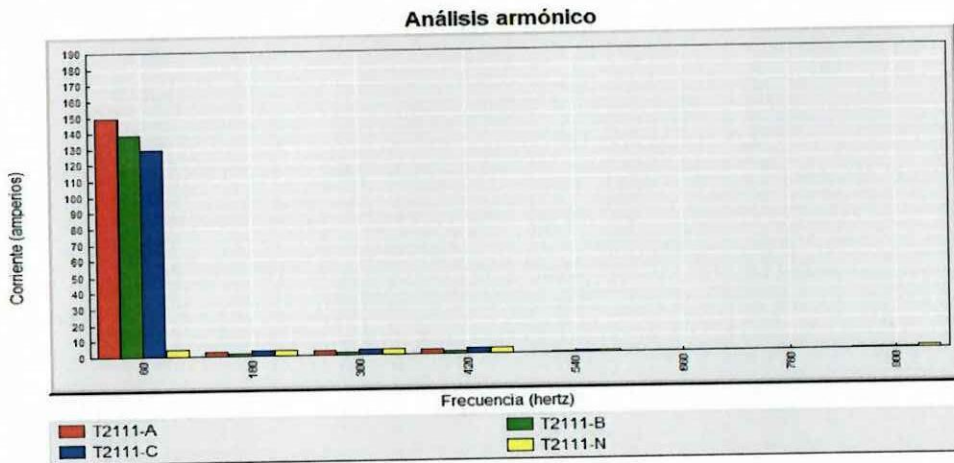
**GRAFICO No. 3.3 ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2111**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICOS INICIAL  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.3 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente sin filtro y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 9.5 A con respecto a la fundamental.

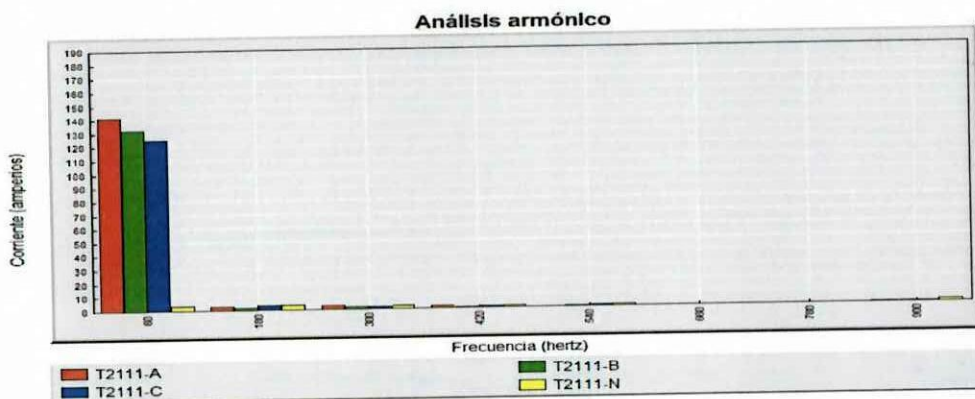
**GRAFICO No. 3.4 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO  
TRANSFORMADOR No. 2111**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO FILTRO PASIVO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.4 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro pasivo sintonizado y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 6.4 A con respecto a la fundamental

**GRAFICO No. 3.5 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO  
TRANSFORMADOR No. 2111**



FUENTE: ESPECTRO ARMÓNICO FILTRO ACTIVO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.5 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 3 A con respecto a la fundamental.

### 3.12 Transformador No 2056

**TABLA No. 3.10 DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 2056**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2056</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Medición de Campo	A	10.6	12.35	1.385	0.685	0.02	1.257	1.414	<b>16.45</b>
	B	11.54	14.64	2.45	1.971	0.06	1.3	0.557	<b>18.95</b>
	C	13.7	17.67	1.05	1.385	0.07	0.957	0.542	<b>12.45</b>
Simulación Cyme	A	11.29	6.11	1.22	0.99	0.00	0.05	0.08	<b>12.94</b>
	B	12.93	11.88	1.43	1.42	0.00	0.05	0.13	<b>17.67</b>
	C	8.78	5.30	1.77	1.67	0.00	0.07	0.10	<b>10.54</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Se observa que los datos de campo obtenidos con el analizador de red y la simulación realizada, los armónicos de orden 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup> son las que tienen mayor índice por lo que es necesario realizar los cálculos, para verificar los límites permitidos por la norma IEEE 519.

En la tabla No.3.2 muestran los datos necesarios para el análisis de los siguientes datos que se detallan a continuación y utilizando la metodología y las ecuaciones realizadas en el transformador No. 2111 se detallan lo siguiente:

**TABLA No.3.11 DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 2056**

Fases	X <sub>pu</sub>	I <sub>cc</sub> (pu)	I <sub>lpu</sub>	$\alpha$
<b>I1</b>	0.024	41.66	0.51	81.26
<b>I2</b>	0.024	41.66	0.46	89.71
<b>I3</b>	0.024	41.66	0.60	69.37

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Con los datos de la tabla 3.10 y tabla No. 3.11 se verifica el valor de  $\alpha$  y se comprueba que en el transformador No. 2056 sobrepasan el límite de armónicos individuales de corrientes al del %THDi, recomendados en la norma IEEE-519-1992.

Por lo que es necesario realizar el diseño del filtro en los nodos requeridos para reducir la distorsión armónica de corriente que genera la 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup>. El diseño se realizará utilizando la metodología y el cálculo del transformador No. 2111.

**TABLA No. 3.12. FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.2056**

C (uF)	L (mH)	Reactor ( $\Omega$ )
310	7.084	0.400

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

**3.12.1 Cálculo de un filtro activo para el transformador No 2056**

**TABLA No.13 DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 2056**

Voltaje del sistema	208 VAC
Corriente promedio del sistema	164.228
THD en corriente	12.93 % la más alta de la tres fases
Energía reactiva consumida	49.456 kVAr

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Mediante la siguiente formula es posible estimar la corriente rms armónica, es decir la componente efectiva relacionada con las frecuencias no fundamentales:

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_i^2} + 1}}$$

Dónde:

IRMS: Corriente total de carga

THDi: Tasa de distorsión armónica de corriente

I<sub>H</sub>.- corriente efectiva armónica

De esta forma y con los datos obtenidos se estima la corriente armónica total:

$$I_H = \frac{164.228 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.1293^2} + 1}} = 21.059 \text{ A rms}$$

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde

I<sub>FILTRO</sub>: Capacidad requerida del filtro activo

I<sub>H</sub>: Corriente armónica requerida

I<sub>R</sub>: Corriente efectiva requerida

Así, se estima la corriente necesaria para compensar 49.456 kVAR que absorbe la carga, asumiendo un factor de potencia objetivo unitario.

$$I_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{49.456 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V}} = 137.276 \text{ A}$$

Finalmente se calcula la capacidad del filtro requerido:

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{21.059^2 + 137.276^2} = 138.88 \text{ A}$$

En la tabla 3.8 se eligió un filtro activo de 150 amperios.

### 3.12.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 2056

Los resultados obtenidos con la simulación de filtro pasivo y filtro activo se observa en la siguiente tabla:

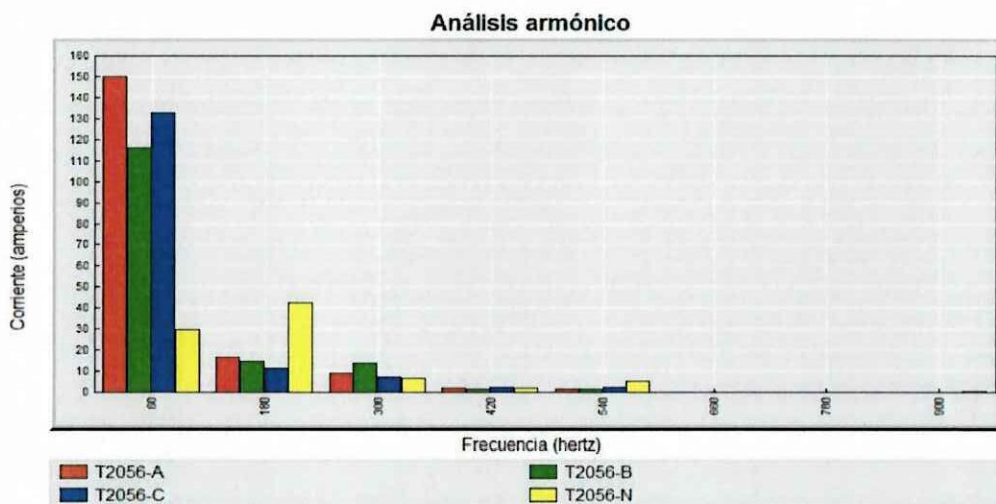
**TABLA No. 3.14 DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO  
DEL TRANSFORMADORE No. 2056**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2056</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Simulación sin filtro	A	11.29	6.11	1.22	0.99	0.00	0.05	0.08	<b>12.94</b>
	B	12.93	11.88	1.43	1.42	0.00	0.05	0.13	<b>17.67</b>
	C	8.78	5.30	1.77	1.67	0.00	0.07	0.10	<b>10.54</b>
Simulación filtro pasivo	A	3.59	2.29	0.24	0.24	0.00	0.03	0.03	<b>4.28</b>
	B	3.84	3.29	0.46	0.46	0.00	0.02	0.01	<b>5.09</b>
	C	3.48	1.58	0.34	0.34	0.00	0.04	0.03	<b>3.87</b>
Simulación filtro activo	A	1.48	1.03	0.09	0.15	0.00	0.02	0.02	<b>1.82</b>
	B	1.60	1.24	0.18	0.17	0.00	0.02	0.01	<b>2.04</b>
	C	1.48	0.81	0.23	0.22	0.00	0.02	0.01	<b>1.72</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Tal como se puede ver en la tabla No. 3.14 y en las gráficas No. 3.6, 3.7 y 3.8, el contenido armónico de la corriente de línea en el punto de conexión de la carga disminuye prácticamente por completo, cumpliéndose el objetivo del filtro.

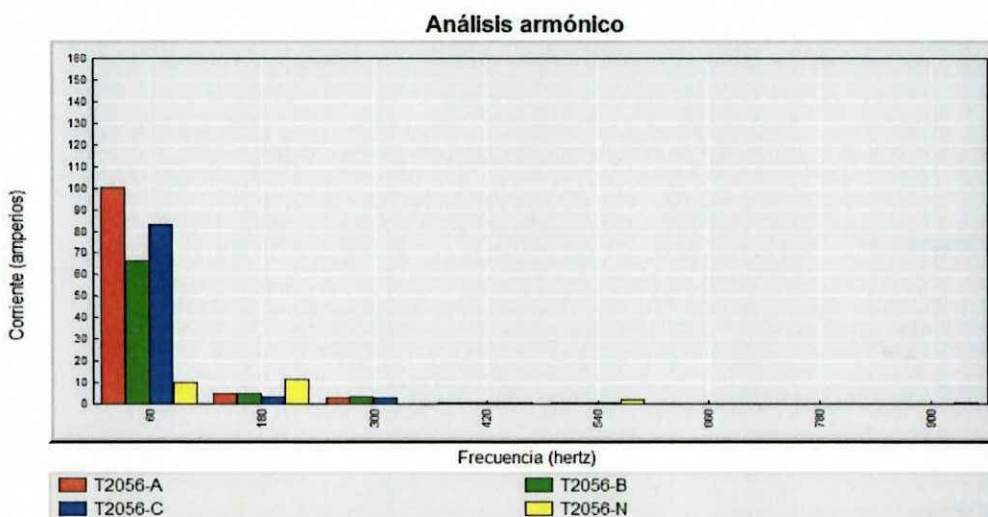
**GRAFICO No. 3.6 ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2056**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.6 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente sin filtro y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 29.56 A con respecto a la fundamental.

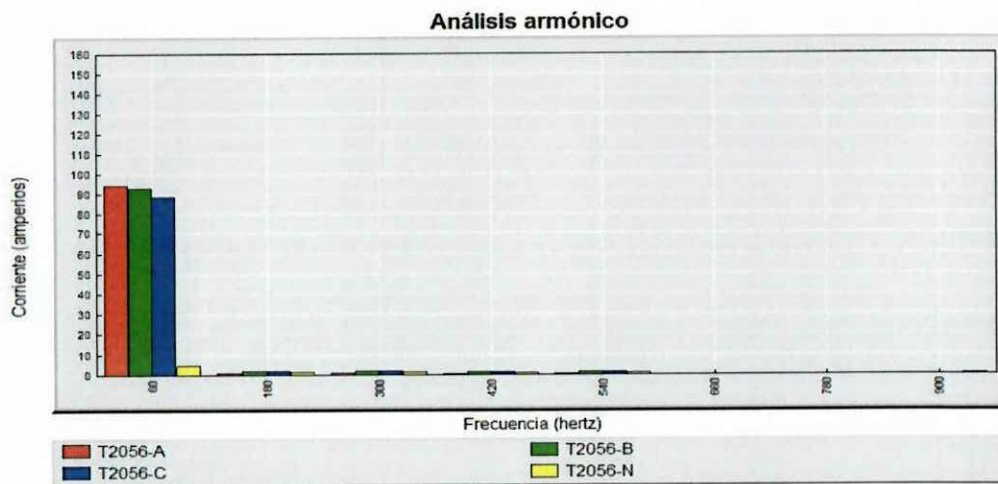
**GRAFICO No. 3.7 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 2056**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.7 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro pasivo sintonizado y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 10 A con respecto a la fundamental.

**GRAFICO No. 3.8 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR No. 2056**



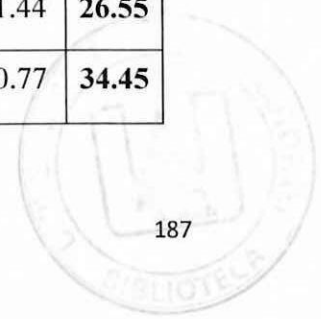
FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.8 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 5.26 A con respecto a la fundamental.

### 3.13 Transformador No 1120

**TABLA No. 3.15 DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1120**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 1120</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Medición de Campo	A	15.34	20.11	7.08	3.66	0.09	0.33	1.44	<b>26.55</b>
	B	10.64	31.67	7.09	4.45	0.03	0.66	0.77	<b>34.45</b>



	C	23.07	23.27	9.01	6.76	0.01	0.89	0.69	<b>34.66</b>
Simulación Cyme	A	17.98	24.34	8.01	3.87	0.00	0.30	0.66	<b>31.55</b>
	B	12.95	39.14	7.71	4.63	0.00	0.21	1.22	<b>42.21</b>
	C	24.02	24.82	8.69	7.64	0.00	0.75	1.12	<b>36.45</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el gráfico No 3.15 se observa que los datos de campo obtenidos con el analizador de red y la simulación realizada, los armónicos de orden 3<sup>ra</sup>, 5<sup>ta</sup> y 7<sup>ma</sup> son las que tienen mayor índice por lo que es necesario realizar los cálculos, para verificar los límites permitidos por la norma IEEE 519.

En la tabla No.3.16 muestran los datos necesarios para el análisis de los siguientes cálculos que se detallan a continuación y utilizando la metodología y las ecuaciones realizadas en el transformador No. 2111 se detallan lo siguiente:

**TABLA No.3.16 DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 1120**

Fases	X <sub>pu</sub>	I <sub>cc(p.u)</sub>	I <sub>lpu</sub>	$\alpha$
<b>I1</b>	0.024	41.66	0.40	103.73
<b>I2</b>	0.024	41.66	0.37	110.14
<b>I3</b>	0.024	41.66	0.41	100.79

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Con los datos de la tabla 3.15 y tabla No. 3.16 se verifica el valor de  $\alpha$  y se comprueba que en el transformador No. 1120 sobrepasan el límite de armónicos individuales de corrientes al del %THDi, recomendados en la norma IEEE-519-1992.

Por lo que es necesario realizar el diseño del filtro en los nodos requeridos para reducir la distorsión armónica de corriente que genera la 3<sup>ra</sup>, 5<sup>ta</sup> y 7<sup>ma</sup>. El diseño se realizará utilizando la metodología y el cálculo del transformador No. 2111.

**TABLA No. 3.17** FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.1120

C (uF)	L (mH)	Reactor ( $\Omega$ )
458.72	2.55	0.49

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 3.13.1 Calculo de un filtro activo del transformador No. 1120

**TABLA No 3.18** DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 1120

Voltaje del sistema	208 VAC
Corriente promedio del sistema	124.214
THD en corriente	39.14 % la más alta de la tres fases
Energía reactiva consumida	30.066 kVAr

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Mediante la siguiente formula es posible estimar la corriente rms armónica, es decir la componente efectiva relacionada con las frecuencias no fundamentales

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_{I^2}} + 1}}$$

Dónde:

IRMS: Corriente total de carga

THDi: Tasa de distorsión armónica de corriente

I<sub>H</sub>.- corriente efectiva armónica

De esta forma y con los datos obtenidos se estima la corriente armónica total:

$$I_H = \frac{124,214 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.3914^2} + 1}} = 34,941 \text{ A rms}$$

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación:

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde

$I_{\text{FILTRO}}$ : Capacidad requerida del filtro activo

$I_H$ : Corriente armónica requerida

$I_R$ : Corriente efectiva requerida

Así, se estima la corriente necesaria para compensar 30.066 kVAR que absorbe la carga, asumiendo un factor de potencia objetivo unitario.

$$I_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{30,066 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V}} = 83,454 \text{ A}$$

Finalmente se calcula la capacidad del filtro requerido:

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{34,941^2 + 83,454^2} = 90,473 \text{ A}$$

En la tabla 3.14 se eligió un filtro activo de 100 amperios.

### 3.13.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 1120

Los resultados obtenidos en la simulación de filtro pasivo y filtro activo se observa en la siguiente tabla

**TABLA No. 3.19 DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No. 1120**

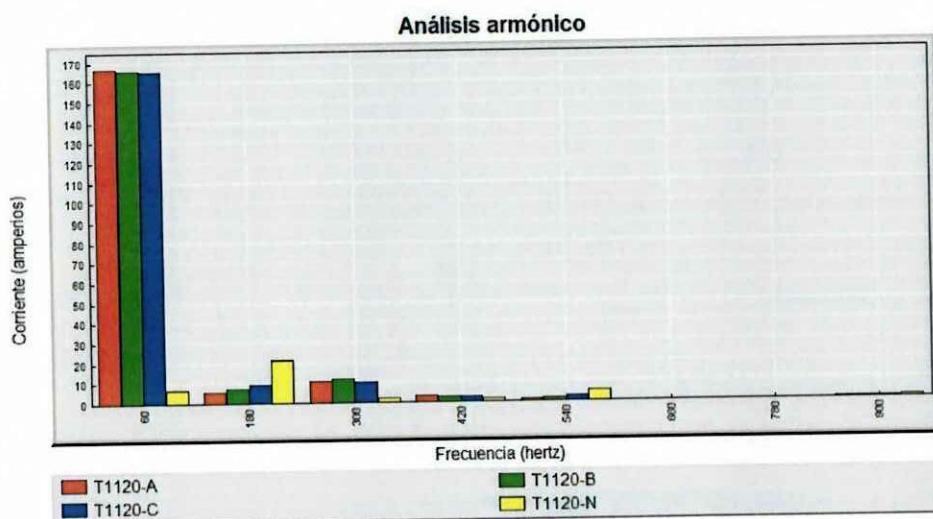
<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 1120</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Simulación	A	17.98	24.34	8.01	3.87	0.00	0.30	0.66	<b>31.55</b>
sin filtro	B	12.95	39.14	7.71	4.63	0.00	0.21	1.22	<b>42.21</b>

	C	24.02	24.82	8.69	7.64	0.00	0.75	1.12	<b>36.45</b>
Simulación filtro pasivo	A	2.13	3.65	0.71	0.43	0.00	0.06	0.09	<b>4.31</b>
	B	2.26	2.66	0.72	0.44	0.00	0.05	0.11	<b>3.59</b>
	C	3.56	3.17	0.92	0.73	0.00	0.08	0.13	<b>4.91</b>
Simulación filtro activo	A	0.99	2.21	0.44	0.29	0.00	0.05	0.06	<b>2.48</b>
	B	1.04	1.76	0.55	0.30	0.00	0.05	0.07	<b>2.14</b>
	C	2.44	1.74	0.50	0.44	0.00	0.06	0.06	<b>3.07</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Tal como se puede ver en la tabla No. 3.19 y en las gráficas No. 3.9, 3.10 y 3.11, el contenido armónico de la corriente de línea en el punto de conexión de la carga disminuyen prácticamente por completo, cumpliéndose el objetivo del filtro.

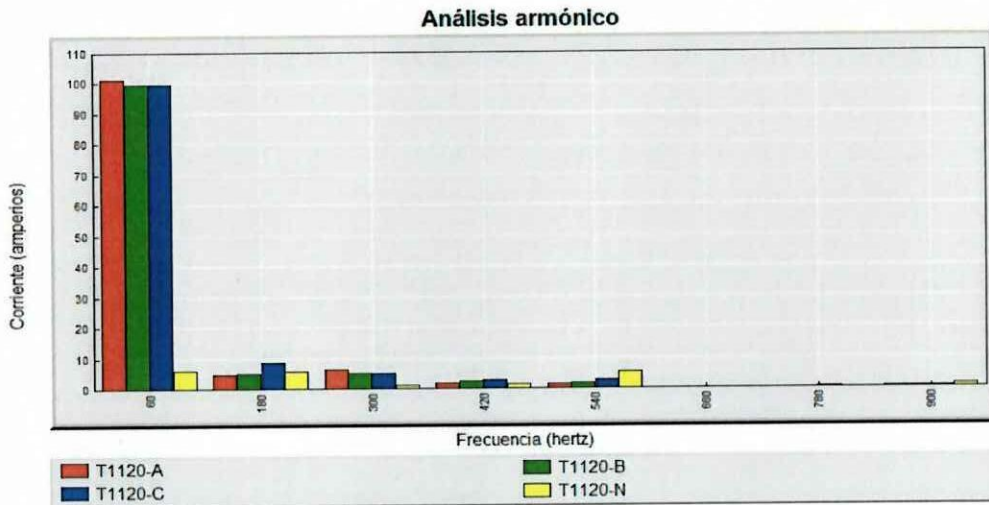
**GRAFICO No. 3.9** ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 1120



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.9 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente sin filtro y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 7.26 A con respecto a la fundamental.

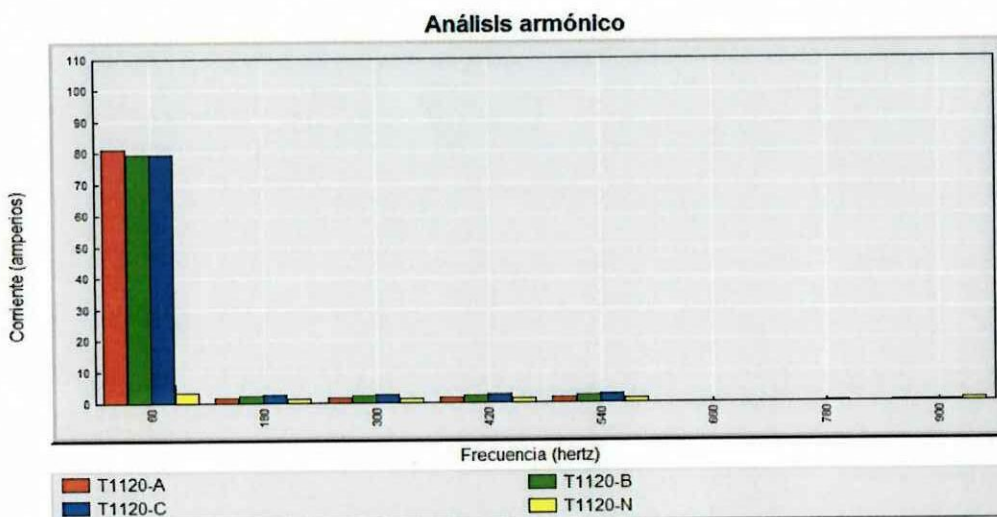
**GRAFICO No. 3.10 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO  
TRANSFORMADOR No. 1120**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.10 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo sintonizado y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 6.1 A con respecto a la fundamental.

**GRAFICO No. 3.11 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO  
TRANSFORMADOR No. 1120**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.11 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 3.44 A con respecto a la fundamental.

### 3.14 Transformador No 2073

**TABLA No. 3. 20 DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 2073**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2073</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Medición de Campo	A	11.36	19.09	4.76	3.07	0.03	0.33	1.34	<b>22.96</b>
	B	11.46	31.34	5.99	3.27	0.06	0.25	0.45	<b>34.06</b>
	C	18.06	21.06	7.12	5.11	0.05	0.86	0.79	<b>29.11</b>
Simulación Cyme	A	14.89	20.23	6.75	3.21	0.00	0.25	0.54	<b>26.21</b>
	B	10.82	32.73	6.48	3.88	0.00	0.18	1.01	<b>35.30</b>
	C	20.16	20.85	7.43	6.37	0.00	0.63	0.94	<b>30.63</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Se observa que los datos de campo obtenidos con el analizador de red y la simulación realizada, los armónicos de orden 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup> son las que tienen mayor índice por lo que es necesario realizar los cálculos, para verificar los límites permitidos por la norma IEEE 519.

En la tabla No.3.2 muestran los datos necesarios para el análisis de los siguientes cálculos que se detallan a continuación y utilizando la metodología y las ecuaciones realizadas en el transformador No. 2111 se detallan lo siguiente:

**TABLA No.3.21 DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 2073**

Fases	Xpu	Icc(p.u)	I <sub>pu</sub>	$\alpha$
<b>I1</b>	0.04	25	0.27	90.96

<b>I2</b>	0.04	25	0.24	101.94
<b>I3</b>	0,04	25	0.09	262.60

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Con los datos de la tabla 3.20 y tabla No. 3.21 se verifica el valor de  $\alpha$  y se comprueba que en el transformador No. 2073 sobrepasan el límite de armónicos individuales de corrientes al del %THDi, recomendados en la norma IEEE-519-1992.

Por lo que es necesario realizar el diseño del filtro en los nodos requeridos para reducir la distorsión armónica de corriente que genera la 3<sup>ra</sup>, 5<sup>ta</sup> y 7<sup>ma</sup>. El diseño se realizará utilizando la metodología y el cálculo del transformador No. 2111.

**TABLA No. 3.22. FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No.2073**

<b>C (uF)</b>	<b>L (mH)</b>	<b>Reactor (<math>\Omega</math>)</b>
350	3.55	0.9

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### **3.14.1 Cálculo de un filtro activo del transformador No. 2073**

**TABLA No. 3.23 DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 2073**

Voltaje del sistema	208 VAC
Corriente promedio del sistema	42.694
THD en corriente	32.37 % la más alta de la tres fases
Energía reactiva consumida	28.724 kVAr

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Mediante la siguiente fórmula es posible estimar la corriente rms armónica, es decir la componente efectiva relacionada con las frecuencias no fundamentales

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_i^2} + 1}}$$

Dónde:

$I_{RMS}$ : Corriente total de carga

$THD_i$ : Tasa de distorsión armónica de corriente

$I_H$ .- corriente efectiva armónica

De esta forma y con los datos obtenidos se estima la corriente armónica total:

$$I_H = \frac{42.694 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.3237^2} + 1}} = 32.253 \text{ A rms}$$

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde

$I_{FILTRO}$ : Capacidad requerida del filtro activo

$I_H$ : Corriente armónica requerida

$I_R$ : Corriente efectiva requerida

Así, se estima la corriente necesaria para compensar 30.066 kVAR que absorbe la carga, asumiendo un factor de potencia objetivo unitario.

$$I_R = \frac{Q_C}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{28.724 \text{ kVAR}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V}} = 79.729 \text{ A}$$

Finalmente se calcula la capacidad del filtro requerido:



$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{32.253^2 + 79.729^2} = 86.00 \text{ A}$$

En la tabla 3.14 se eligió un filtro activo de 100 amperios.

### 3.14.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 2073

Los resultados obtenidos con la simulación de filtro pasivo y filtro activo se observa en la siguiente tabla:

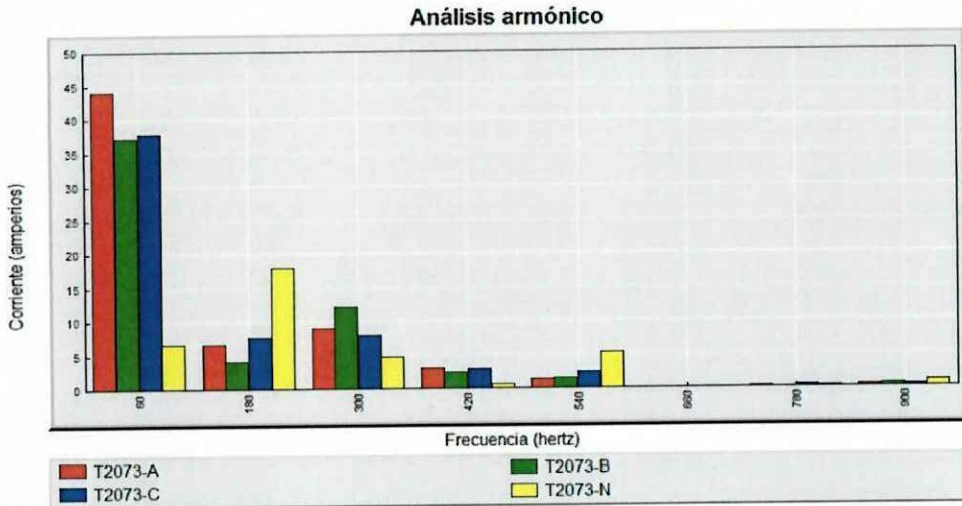
**TABLA No. 3.24 DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No.2073**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 2073</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Simulación sin filtro	A	14.89	20.23	6.75	3.21	0.00	0.25	0.54	<b>26.21</b>
	B	10.82	32.73	6.48	3.88	0.00	0.18	1.01	<b>35.30</b>
	C	20.16	20.85	7.43	6.37	0.00	0.63	0.94	<b>30.63</b>
Simulación filtro pasivo	A	0.91	3.56	1.02	0.48	0.00	0.07	0.10	<b>3.85</b>
	B	0.67	3.31	0.87	0.51	0.00	0.05	0.13	<b>3.53</b>
	C	3.82	3.25	1.08	0.87	0.00	0.10	0.12	<b>5.21</b>
Simulación filtro activo	A	0.70	2.95	0.83	0.42	0.00	0.07	0.09	<b>3.17</b>
	B	0.59	3.30	0.76	0.45	0.00	0.05	0.11	<b>3.47</b>
	C	3.23	2.72	0.84	0.75	0.00	0.09	0.10	<b>4.37</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Tal como se puede ver en la tabla No. 3.24 y en las gráficas No. 3.12, 3.13 y 3.14, el contenido armónico de la corriente de línea en el punto de conexión de la carga disminuye prácticamente por completo, cumpliéndose el objetivo del filtro.

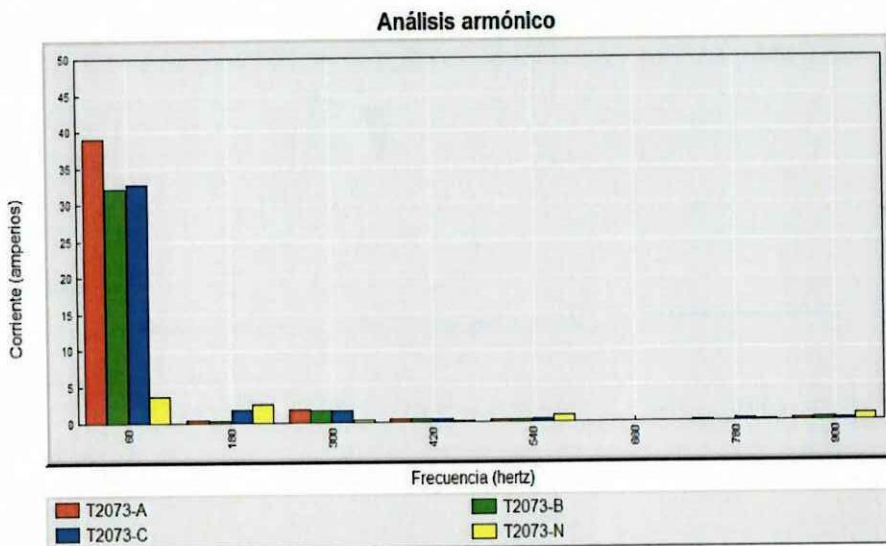
**GRAFICO No. 3.12 ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 2073**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.12 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente sin filtro y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 7.1 A con respecto a la fundamental.

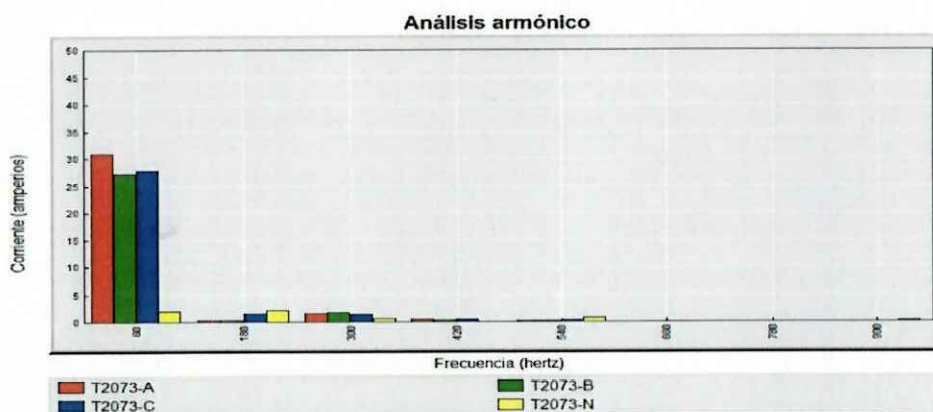
**GRAFICO No. 3.13 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR No. 2073**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.13 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro pasivo sintonizado y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 4.02 A con respecto a la fundamental.

**GRAFICO No. 3.14 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR NO. 2073**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.14 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 3.66 A con respecto a la fundamental.

### 3.15 Transformador No 1341

**TABLA No. 3.25 DATOS DE CAMPO Y SIMULACIÓN ARMÓNICOS DE CORRIENTE DEL TRANSFORMADOR No. 1341**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 1341</b>									
Orden armónico (%)		3	5	7	9	11	13	15	<b>TDD</b>
Medición de Campo	A	11.31	6.01	1.86	0.11	0.05	0.09	0.08	<b>12.94</b>
	B	10.05	11.64	1.05	1.23	0.01	0.10	0.16	<b>15.46</b>
Simulación Cyme	A	10.94	5.92	1.18	0.96	0.00	0.05	0.07	<b>12.53</b>
	B	12.77	11.73	1.42	1.40	0.00	0.05	0.13	<b>17.46</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Se observa que los datos de campo obtenidos con el analizador de red y la simulación realizada, los armónicos de orden 3<sup>ra</sup> y 5<sup>ta</sup> son las que tienen mayor índice por lo que es necesario realizar los cálculos, para verificar los límites permitidos por la norma IEEE 519.

En la tabla No.3.2 muestran los datos necesarios para el análisis de los siguientes cálculos que se detallan a continuación y utilizando la metodología y las ecuaciones realizadas en el transformador No. 2111 se detallan lo siguiente:

**TABLA No.3.26 DATOS ICC/IL DEL TRANSFORMADOR No. 1341**

<b>Fases</b>	<b>X<sub>pu</sub></b>	<b>I<sub>cc(p.u)</sub></b>	<b>I<sub>pu</sub></b>	<b><math>\alpha</math></b>
<b>I1</b>	0.033	30.303	0.291	104.110
<b>I2</b>	0.033	30.303	0.327	92.500

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Con los datos de la tabla 3.25 y tabla No. 3.26 se verifica el valor de  $\alpha$  y se comprueba que en el transformador No. 1341 sobrepasan el límite de armónicos individuales de corrientes al del %THDi, recomendados en la norma IEEE-519-1992.

Por lo que es necesario realizar el diseño del filtro en los nodos requeridos para reducir la distorsión armónica de corriente que genera la 3<sup>ra</sup>, y 5<sup>ta</sup>. El diseño se realizará utilizando la metodología y el cálculo del transformador No. 2111.

**TABLA No. 3.27. FILTRO PASIVO SINTONIZADO SIMPLE DEL TRANSFORMADOR No. 1341**

<b>C (uF)</b>	<b>L (mH)</b>	<b>Reactor (<math>\Omega</math>)</b>
250	1.55	0.45

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 3.15.1 Cálculo de un filtro activo del transformador No. 1341

**TABLA No. 3.28** DATOS DE CARGA Y ARMÓNICOS DEL TRANSFORMADOR No. 1341

Voltaje del sistema	208 VAC
Corriente promedio del sistema	40.773
THD en corriente	12.77 % la más alta de la tres fases
Energía reactiva consumida	17.825 kVAr

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Mediante la siguiente fórmula es posible estimar la corriente rms armónica, es decir la componente efectiva relacionada con las frecuencias no fundamentales

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_i^2} + 1}}$$

Dónde:

IRMS: Corriente total de carga

THDi: Tasa de distorsión armónica de corriente

I<sub>H</sub>.- corriente efectiva armónica

De esta forma y con los datos obtenidos se estima la corriente armónica total:

$$I_H = \frac{40.773 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.1277^2} + 1}} = 4.617 \text{ A rms}$$

El filtro activo compensa simultáneamente los armónicos y los reactivos mediante inyección dinámica de corriente. La capacidad total de inyección del filtro está dada por la siguiente relación:

$$I_{FILTRO} = \sqrt{I_H^2 + I_R^2}$$

Donde

I<sub>FILTRO</sub>: Capacidad requerida del filtro activo

I<sub>H</sub>: Corriente armónica requerida

I<sub>R</sub>: Corriente efectiva requerida

Así, se estima la corriente necesaria para compensar 17.825 kVAR que absorbe la carga, asumiendo un factor de potencia objetivo unitario.

$$I_R = \frac{Q_C}{X V_{L-L}} = \frac{17.825 \text{ kVAR}}{127 \text{ V}} = 140.254 \text{ A}$$

Finalmente se calcula la capacidad del filtro requerido:

$$I_{\text{FILTRO}} = \sqrt{4.617^2 + 140.254^2} = 140.329 \text{ A}$$

En la tabla 3.14 se eligió un filtro activo de 150 amperios.

### 3.15.2 Resultado de la simulación para el transformador No. 1341

Los resultados obtenidos con la simulación de filtro pasivo y filtro activo se observa en la siguiente tabla:

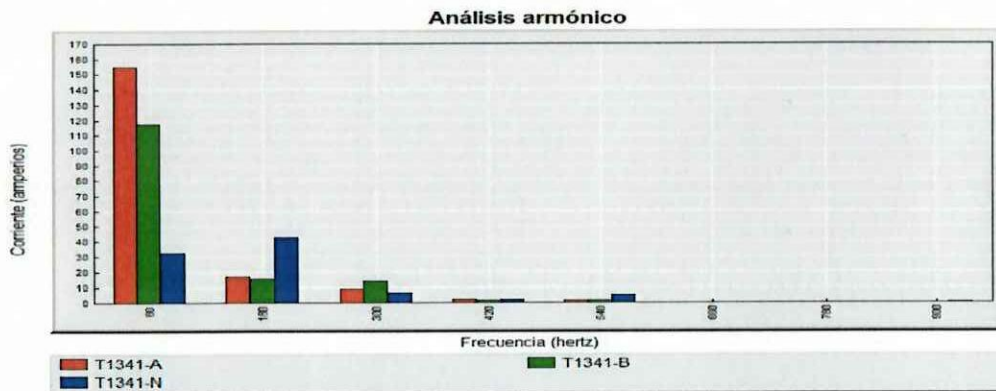
**TABLA No. 3.29 DATOS DE ARMÓNICOS FILTRO PASIVO Y FILTRO ACTIVO DEL TRANSFORMADOR No. 1341**

<b>TRANSFORMADOR TRIFASICO No 1341</b>									
<b>Orden armónico</b>		<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>TDD</b>
<b>Simulación sin filtro</b>	<b>A</b>	10.94	5.92	1.18	0.96	0.00	0.05	0.07	<b>12.53</b>
	<b>B</b>	12.77	11.73	1.42	1.40	0.00	0.05	0.13	<b>17.46</b>
<b>Simulación filtro pasivo</b>	<b>A</b>	3.54	2.96	0.51	0.43	0.00	0.03	0.04	<b>4.66</b>
	<b>B</b>	3.91	3.43	0.40	0.52	0.00	0.03	0.04	<b>5.24</b>
<b>Simulación filtro activo</b>	<b>A</b>	2.19	1.93	0.27	0.28	0.00	0.03	0.02	<b>2.95</b>
	<b>B</b>	2.32	2.23	0.26	0.33	0.00	0.02	0.02	<b>3.24</b>
<b>IEEE-519</b>		<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>7.00</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Tal como se puede ver en la tabla No. 3.29 y en las gráficas No. 3.14, 3.15 y 3.16, el contenido armónico de la corriente de línea en el punto de conexión de la carga disminuyen prácticamente por completo, cumpliéndose el objetivo del filtro.

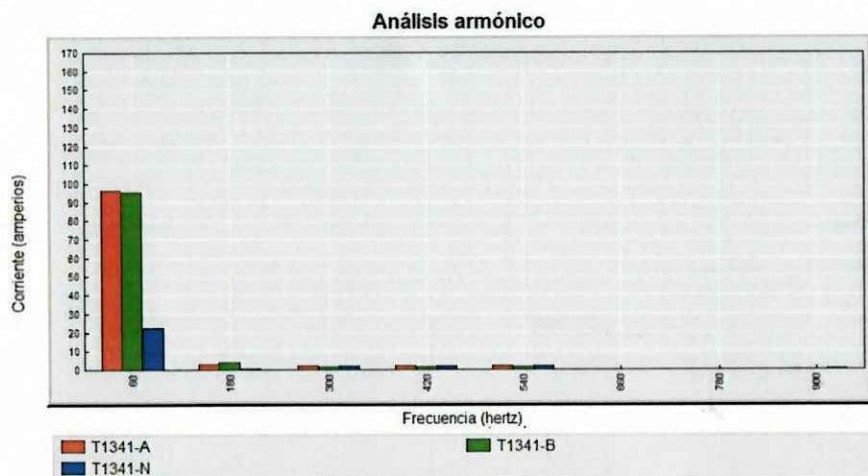
**GRAFICO No. 3.15 ESPECTRO ARMÓNICO SIN FILTRO TRANSFORMADOR No. 1341**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.15 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente sin filtro y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 32.055 A con respecto a la fundamental.

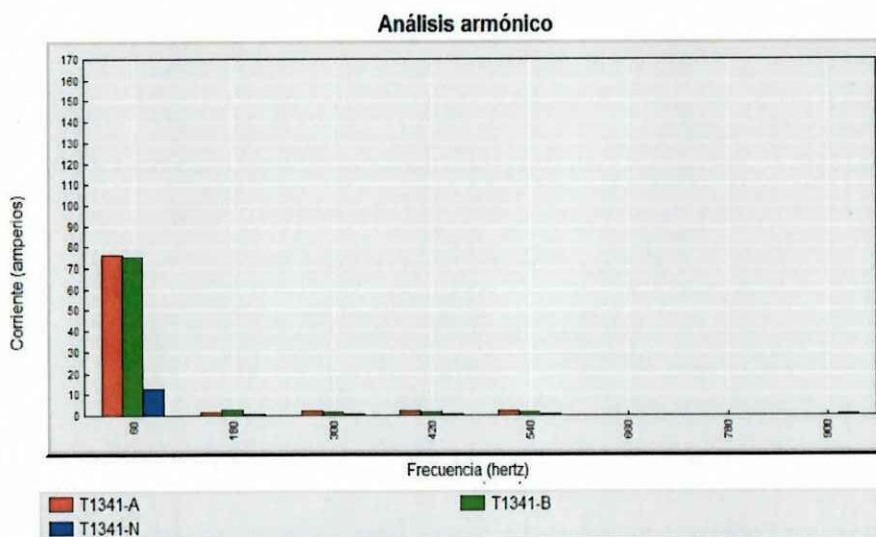
**GRAFICO No. 3.16 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO PASIVO TRANSFORMADOR NO. 1341**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.16 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro pasivo sintonizado y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 22.87 A con respecto a la fundamental.

**GRAFICO No. 3.17 ESPECTRO ARMÓNICO CON FILTRO ACTIVO TRANSFORMADOR No. 1341**



FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
 ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

En el grafico No. 3.17 se observa el comportamiento del espectro armónico de corriente con filtro activo y se puede apreciar que la corriente del neutro es de 11.31 A con respecto a la fundamental.

### 3.16 Análisis económico.

Al existir armónicos en la red eléctrica de distribución que son inyectadas por cargas no lineales estas producen corrientes armónicas afectando la calidad de energía produciendo pérdidas en receptores y líneas, estas pérdidas son kWh que se consumen innecesariamente.

En los transformadores se producen perdidas en vacío y en carga, siendo estas últimas las afectadas por la presencia de armónicos en la corriente del secundario y comprenden tanto perdidas en los devanados como en el hierro (núcleo, cuba y otras partes del acero).

A continuación se menciona las pérdidas de los 5 transformadores que contienen índices armónicos superiores a los establecidos en las normativas.

### 3.16.1 cálculos de costo por corrección de factor de potencia

En el análisis realizado en el presente capítulo y con los cálculos realizados para el diseño de filtro armónicos se pudo verificar que la red de distribución del alimentador FICOA, en los transformadores tiene un factor de potencia de 0.9 razón por la cual se diseñó el filtro pasivo sintonizado RLC con un factor de potencia de 0.95, en la tabla No. 3.18 se presenta el beneficio económico de capacitor.

**TABLA No. 3.30 BENEFICIO ECONÓMICO CÁLCULO DE CAPACITOR**

No.	f.p actual			f.p recomendado			Perdidas (kW)	kWh/año	Costo \$/kWh	Costo anual (usd)
	f.p	P (kW)	I <sub>rms</sub> (A)	f.p	P (kW)	I <sub>rms</sub> (A)				
2111	0.89	60.224	187.82	0.95	60.224	175.96	0.094	812.16	0.10	81.216
2056	0.9	98.021	302.31	0.95	98.021	286.39	0.135	1166.4	0.10	116.64
1120	0.9	80.667	248.78	0.95	80.667	235.69	0.087	751.68	0.10	75.168
2073	0.9	36.555	112.73	0.95	36.555	106.80	0.014	120.96	0.10	12.096
1341	0.8	38.870	119.88	0.95	38.870	113.57	0.018	155.52	0.10	15.552
									Total	301.184

FUENTE: BENEFICIO ECONÓMICO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

### 3.16.2 Cálculo económico por armónicas en la red

Los armónicos al presentarse también como corrientes producen pérdidas de potencia y energía en la red eléctrica debido a las impedancias del mismo.

**TABLA No. 3.31 DATOS DE ARMÓNICOS PARA EL CÁLCULO ECONÓMICO**

Parámetro	Magnitud
Magnitud de la corriente rms	Depende del transformador analizado
Valor del THDI	Depende del transformador analizado
Magnitud de la corriente de la armónica IH	Depende del transformador analizado
Calibre del conductor de la línea de distribución	3* 1/0+1/0
Resistencia del conductor	0.2689 (Ω/Km)

Constante K para la resistencia de bobinados de los transformadores y cables de conexión de acuerdo a la norma NTE INEN 2118	0.58 ( $\Omega$ )
--	-------------------

FUENTE: DATOS DE ARMÓNICOS  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

Las magnitudes de la corriente rms y el THDI se obtuvieron en el presente capítulo con la ayuda del analizador y las simulaciones respectivas a cada transformador con índices armónicos.

La magnitud de la corriente armónica  $I_H$  se obtienen de la siguiente ecuación.

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{\frac{1}{THD_i^2} + 1}}$$

Luego las pérdidas por armónicos se las obtienen de la siguiente ecuación.

$$P_H = I_H^2 \times R$$

**TABLA No. 3.32** CALCULO PARA EL TRANSFORMADOR NO. 2111

Transformador	THDI (%)	If (A)	Longitud de línea de distribución (Km)
2111	36.66	171.209	2.5

FUENTE: DATOS DE MEDICIONES CAMPO Y SIMULACIONES  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

$$I_H = \frac{171.209 \text{ A}}{\sqrt{\frac{1}{0.366^2} + 1}} = 58.84 \text{ A rms}$$

$$P_H = I_H^2 \times R = 58.84^2 \text{ (A)} * (2.5 \text{ Km} * 0.2689 \left(\frac{\Omega}{\text{Km}}\right) + 0.58 \text{ (}\Omega\text{)})$$

$$= 4.32 \text{ kW}$$

En la siguiente tabla indica las pérdidas de potencia, energía y dinero por causa de los armónicos en cada una de los transformadores analizados de las redes de distribución del alimentador FICOA.

**TABLA No. 3.33 ANALISI ECONÓMICAS POR ARMÓNICAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN**

No	THDI (%)	IF (A)	IH (A)	Longitud (Km)	Perdidas (kW)	kWh/año	Costo \$/kWh	Costo total (usd/año)
2111	36.66	171.209	58.84	2.5	4.32	37382.56	0.10	3738.25
2056	13.71	164.228	21.171	2	0.50	4320.41	0.10	432.04
1120	36.67	124.21	42.072	1.9	1.92	16651.88	0.10	1665.18
2073	21.71	42.69	9.053	1.5	0.08	695.15	0.10	69.515
1341	14.99	40.77	5.652	1.7	0.03	271.018	0.10	27.101
<b>Total</b>								<b>5932.081</b>

FUENTE: BENEFICIO ECONÓMICO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

**TABLA No. 3.34 ANALISIS ECONÓMICAS POR ARMÓNICAS UTILIZANDO FILTRO PASIVO SINTONIZADO**

No	THDI (%)	IF (A)	IH (A)	Longitud (Km)	Perdidas (kW)	kWh/año	Costo \$/kWh	Costo total (usd/año)
2111	7.25	139.33	10.07	2.5	0.126	1095.81	0.10	109.58
2056	4.41	88.8	3.54	2	0.014	121.41	0.10	12.141
1120	4.27	98.66	3.943	1.9	0.016	146.27	0.10	14.62
2073	4.19	37.66	1.576	1.5	0.002	21.002	0.10	2.108
1341	4.95	96.55	4.77	1.7	204.26	20.42	0.10	2.042
<b>Total</b>								<b>140.46</b>

FUENTE: BENEFICIO ECONÓMICO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

**TABLA No. 3.35 ANALISIS ECONÓMICO POR ARMÓNICAS UTILIZANDO FILTRO ACTIVO**

No	THDI (%)	IF (A)	IH (A)	Longitud (Km)	Perdidas (kW)	kWh/año	Costo \$/kWh	Costo total (usd/año)
2111	3.39	131.66	3.948	2.5	0.019	168.27	0.10	16.82
2056	1.86	83.25	0.832	2	0.0007	6.679	0.10	0.66
1120	2.56	78.66	1.462	1.9	0.002	20.13	0.10	2.01
2073	3.33	29.66	0.917	1.5	0.0008	0.714	0.10	0.714
1341	3.095	76	2.999	1.7	0.0093	80.48	0.10	8.048
<b>Total</b>								<b>28.248</b>

FUENTE: BENEFICIO ECONÓMICO  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

## CONCLUSIONES

- Con el analizador de red y la simulación en el programa CYMDIS-MODULO CYMHARMO se determinó los índices de armónicos de voltaje, arrojando valores inferiores a lo establecido en la regulación del CONELEC 004/01, cumpliendo con el 100% de mediciones, con respecto a los índices de armónicos de corriente se observa que el 80 % de los transformadores no cumplen con la normativa internacional IEEE-519.
- El 20 % de los transformadores que no cumplen la normativa, debido a que existen cargas que inyectan corrientes armónicas al sistema eléctrico y realizando la implementación de los filtro pasivo sintonizado RLC y activos , se logró reducir la distorsión armónica parcial y total de corriente en los transformadores que no cumplían los valores recomendados en la norma internacional IEEE-519; teniendo un resultado satisfactorio al diseñar e incluir los filtros pasivos sintonizados y activos en los transformadores afectados por las armónicas.
- De los transformadores analizados en el estudio, tomando como referencia los transformadores que presentaron mayor incidencia armónica total de corriente (THDi), se logró la reducción de la siguiente manera:
  - En el transformador No. 2111 del 56.233 % sin filtro al 7.225 % con filtro pasivo sintonizado y 3.399 % con filtro activo.
  - En el transformador No. 2056 del 13.716 % sin filtro al 4.13 % con filtro pasivo sintonizado y 1.866 % con filtro activo.
  - En el transformador No. 1120 del 36.716 % sin filtro al 4.227 % con filtro pasivo sintonizado y 2.563 % con filtro activo.
  - En el transformador No. 2073 del 30.713 % sin filtro al 4.196 % con filtro pasivo sintonizado y 3.67 % con filtro activo.
  - En el transformador No. 1341 del 14.995 % sin filtro al 4.95 % con filtro pasivo sintonizado y 3.095 % con filtro activo.

- De todas las alternativas que existen en la actualidad para filtrar armónicas, las grandes ventajas que presentan los filtros activos han desplazado casi totalmente a sus antecesores pasivos, porque significa disminuir los costos de mantención, eliminar la totalidad de las armónicas presentes en los alimentadores, compensar en forma automática la potencia reactiva y además disponer de mayor eficiencia en el sistema.
- En el análisis económico se puede observar en beneficio de utilizar filtros pasivo y activos, teniendo como ventaja la reducción de armónicos parciales y totales a la frecuencia que sea necesaria según el caso de estudio que se presente en las redes de distribución y las cargas no lineales que inyectan armónicos a la red, se obtuvo un ahorro económico anual con el uso filtros de la siguiente manera: En el transformador No. 2111 del 3738.25 dólares sin filtro al 109.58 dólares con filtro pasivo sintonizado y 16.82 dólares con filtro activo, siendo este el transformador que contenía el mayor índice de armónicos en la red produciendo perdidas económicas por contener índices de armónicas de orden 3<sup>ra</sup>, 5<sup>ta</sup> y 7<sup>ma</sup>.

## ***RECOMENDACIONES***

- Realizar un estudio y análisis de métodos de compensación de contenido armónicos y la ubicación óptima de los filtros en varios alimentadores de la Empresa Eléctrica Ambato S.A con el fin de observar el comportamiento de la red de distribución ante la presencia de armónicos y tomar acciones que permitan reducir los armónicos que están fuera de los límites de las normativas.
- Antes de realizar la implementación de los filtros pasivo y activo en varios alimentadores de la EEASA, es necesario realizar un estudio de carga de los lugares involucrados con el objetivo de verificar si están correctamente balanceadas las fases de los puntos de transformación, para en lo posterior analizar el nivel de THDi de las áreas involucradas, con el fin de seleccionar el filtro adecuado que satisfaga las necesidades de cada área.
- Debido a que no existe regulación de los límites de armónicos de corriente por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). Se debe tomar en cuenta la norma internacional IEEE 519 para armónicos de corriente por tratarse de una colección de recomendaciones prácticas que sirven como guía tanto a consumidores como a distribuidores de energía eléctrica.
- Se debería continuar con el desarrollo de este tema, involucrando a los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, mediante la construcción del modelo analizado en el presente estudio, en la cual se pueda construir el filtro con los datos obtenidos en el análisis y simulación, mediante la electrónica de potencia lo que permite abarcar un gran campo a costos medianamente reducidos, para corregir la incidencia de contenido armónico en la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

### *Bibliografía Citada*

- Arriola, F. J. “Perturbaciones más habituales en un sistema eléctrico”, Jornada sobre perturbaciones eléctricas, análisis y prevención, Bilbao, 23 de Febrero. 2009
- GERIN, Merlín. “Armónicos e interarmónicas” En la calidad de la energía eléctrica. Segunda Edición Barcelona: Schneider Electric España S.A 2009. p 10.
- Daniel W. Hart, “Electrónica de Potencia” Pearson Educación S.A. 2001, ISBN, Paginas 472
- CAMPOS OCAMPO, Melvin “Investigación de Campo”. En Métodos y Técnicas de Investigación Académica. Primera Edición. Costa Rica, 2009. p 17
- P. FERRACCI, “La calidad de la energía eléctrica” Cuaderno Técnico n<sup>0</sup> 199, Merlín Gerin, Schneider Electric España S.A. 2004. Pág. 15.
- RENE WIERDA, “Flicker o parpadeo de la fuentes luminosas” Cuaderno Técnico n<sup>0</sup> 176, Merlín Gerin, Schneider Electric España S.A. 2001. Pág. 4.
- BERNAL TORRES, CESAR AUGUSTO, “Metodología de la investigación. Para administración, económica, humanidades y ciencias sociales”. Pearson Educación, México 2006, Pág. 56. Páginas: 304
- FINK Donald, Manual de Ingeniería Eléctrica”, décima tercera edición, tomo 2, México, Pág. 23-10
- NORMA IEEE 519–1992, “Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia”, Pág. 31-33-35.

### ***Bibliografías consultadas***

- Alba Fernández, María Virtudes. Muestreo estadístico. España: Septiembre Ediciones, 2005. p 42.
- ARRILLAGA, Jose. et al. Power system harmonic análisis. Jhon Wiley & Sons. 1997.
- HERRAIZ JARAMILLO, Sergio. Aportaciones al estudio del flujo armónico de cargas. Barcelona. 2002. 218p. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Cataluña. Departamento de ingeniería eléctrica.
- Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque Chetumal, Quintana Roo, México C.P. 77019
- Asinel-Unesa (1987), “Resultado del plan de medidas de perturbaciones eléctricas, 1ª fase”, abril.
- ENRÍQUEZ, Gilberto H. “*El ABC de la Calidad de la Energía Eléctrica*”. México, Limusa, 1999, p. 78
- Harmonic and power system; Francisco C. de la Rosa, Taylor&Francis Group. Edición one, 2006.
- J. Benavides et Al, “Desarrollo de métodos para la medición digital de perturbaciones en redes eléctricas”, Electro’95, 1995.

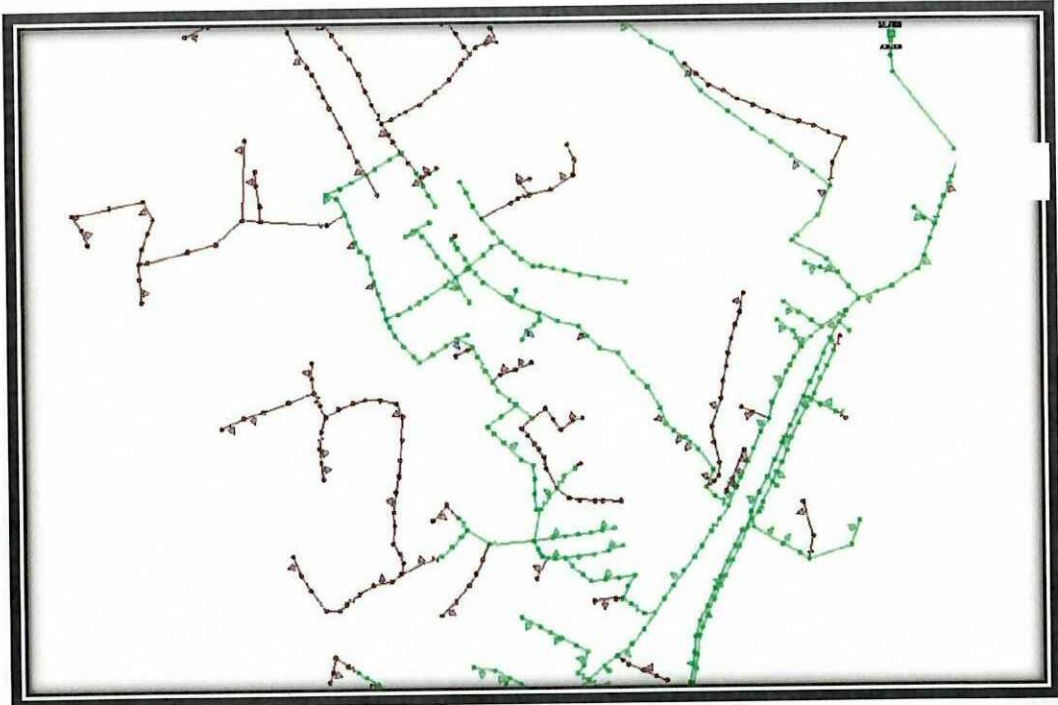
### ***Bibliografía electrónica***

- [Http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?Idarticulo=165](http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?Idarticulo=165)
- [Http://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/papers-Capitulo1.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~ipd411/archivos/apuntes/papers-Capitulo1.pdf)
- <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/257/6/T-ESPE-024628.pdf>.
- [Http://www.eeasa.com.ec/index.php?Id=2&id1=1](http://www.eeasa.com.ec/index.php?Id=2&id1=1)
- <http://www.conelec.gob.ec/>
- <http://www.conelec.gob.ec/normativa.php?Categ=1&subcateg=3>
- <http://www.schneiderelectric.es>

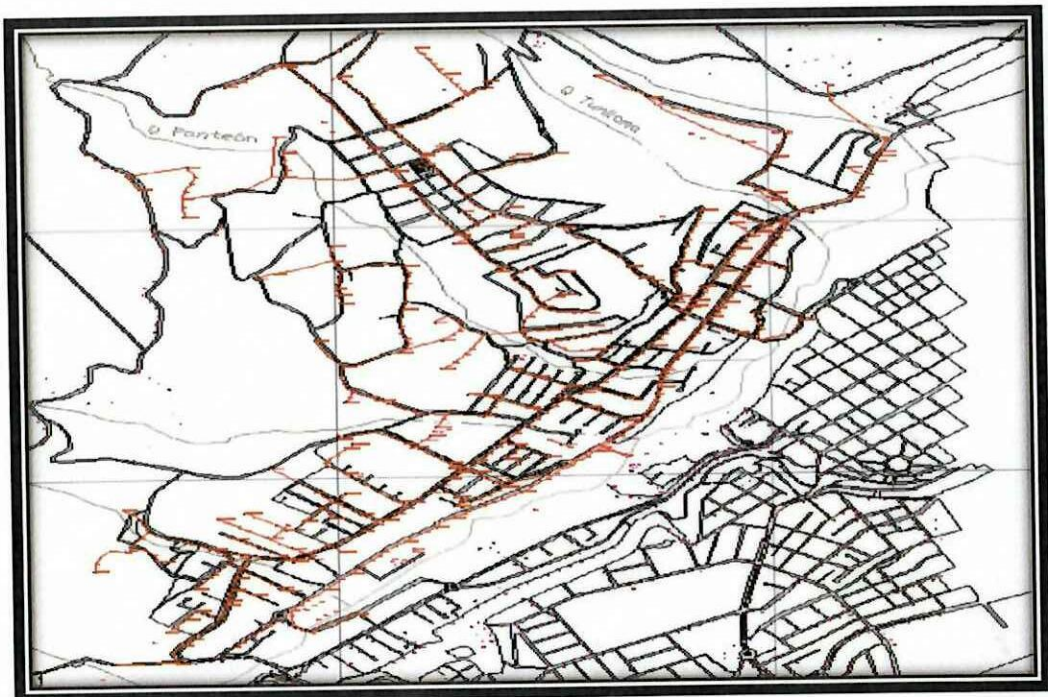
# ***ANEXOS***

<b>ANEXO N°- 1.</b>	<b>Ubicación del Alimentador Ficoa</b>
<b>ANEXO N°- 2.</b>	<b>Alimentador Ficoa en el software Argis</b>
<b>ANEXO N°- 3.</b>	<b>Alimentador Atocha</b>
<b>ANEXO N°- 4.</b>	<b>Instalacion de analizadores en los puntos de carga</b>
<b>ANEXO N°- 5.</b>	<b>Descarga de datos del analizador al computador</b>
<b>ANEXO N°- 6.</b>	<b>Simulacion CYME - MODULO CYMHARMO</b>
<b>ANEXO N°- 7.</b>	<b>Tabla de Armonicos de voltaje</b>
<b>ANEXO N°- 8.</b>	<b>Tabla de Armonicos de corriente</b>

ANEXO N°-1. UBICACIÓN DEL ALIMENTADOR FICOA

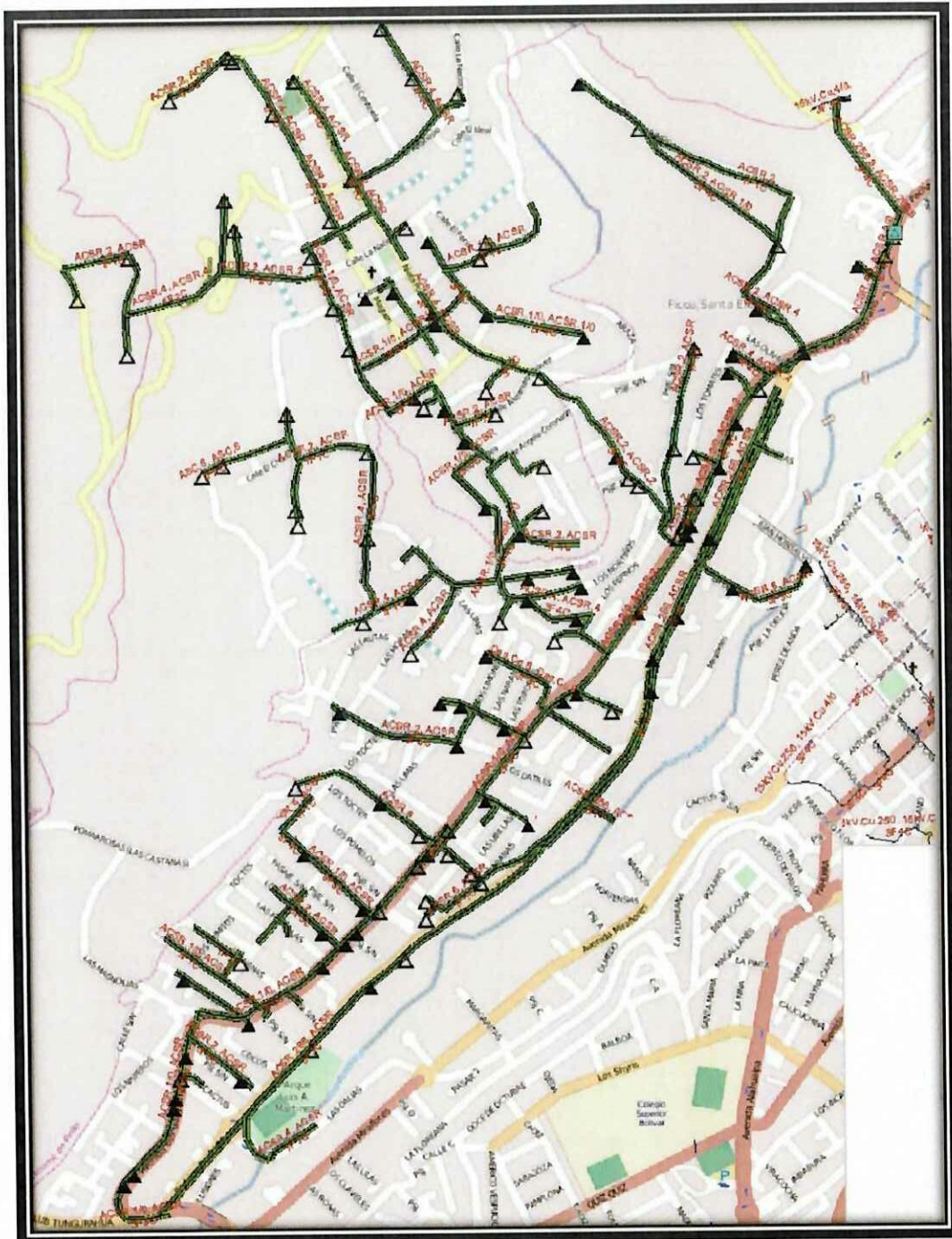


FUENTE: EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.



FUENTE: EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.

## ANEXO N° 2: ALIMENTADOR FICOA EN EL SOFTWARE ARGIS



FUENTE: EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.



**ANEXO N° 4 INSTALACIÓN DE LOS ANALIZADORES EN LOS PUNTOS DE CARGA**



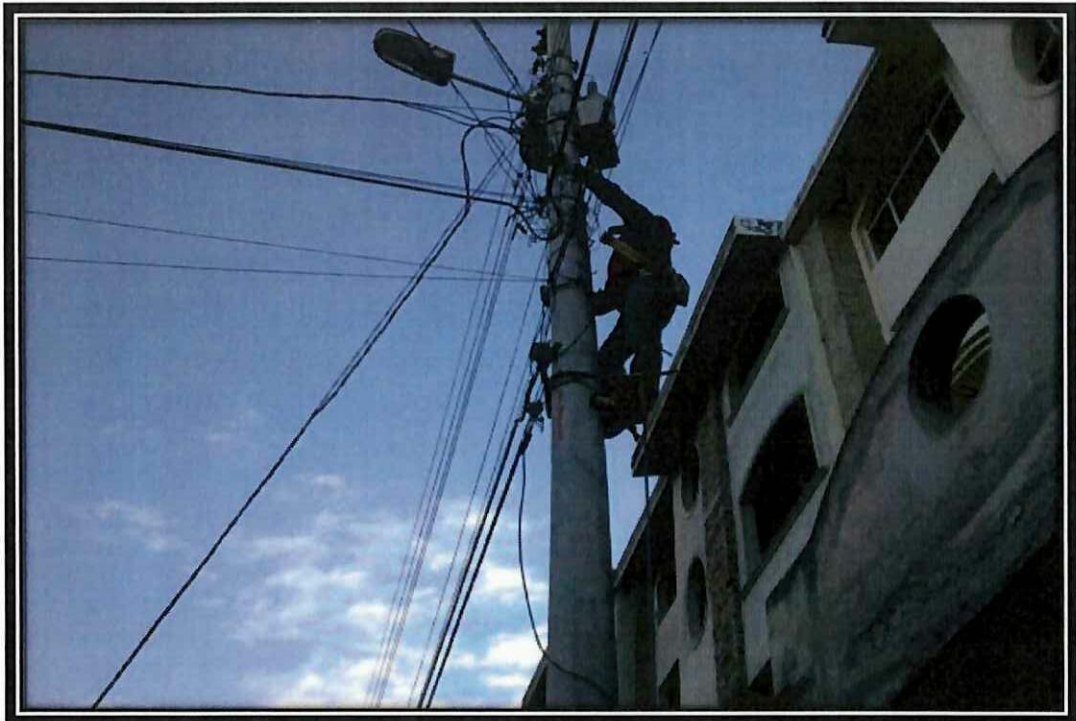
**ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA**



**ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA**



ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

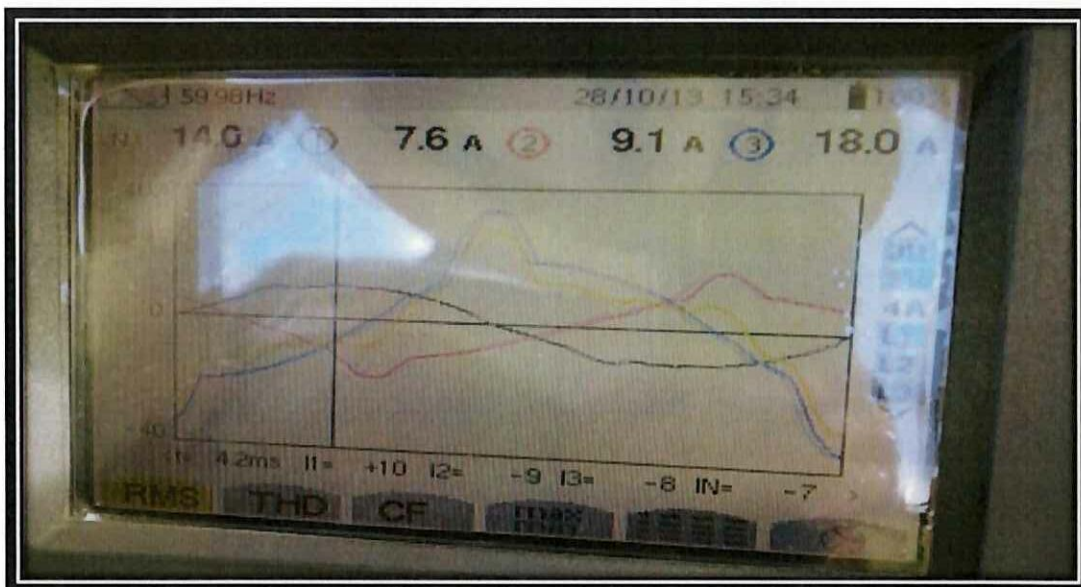


ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

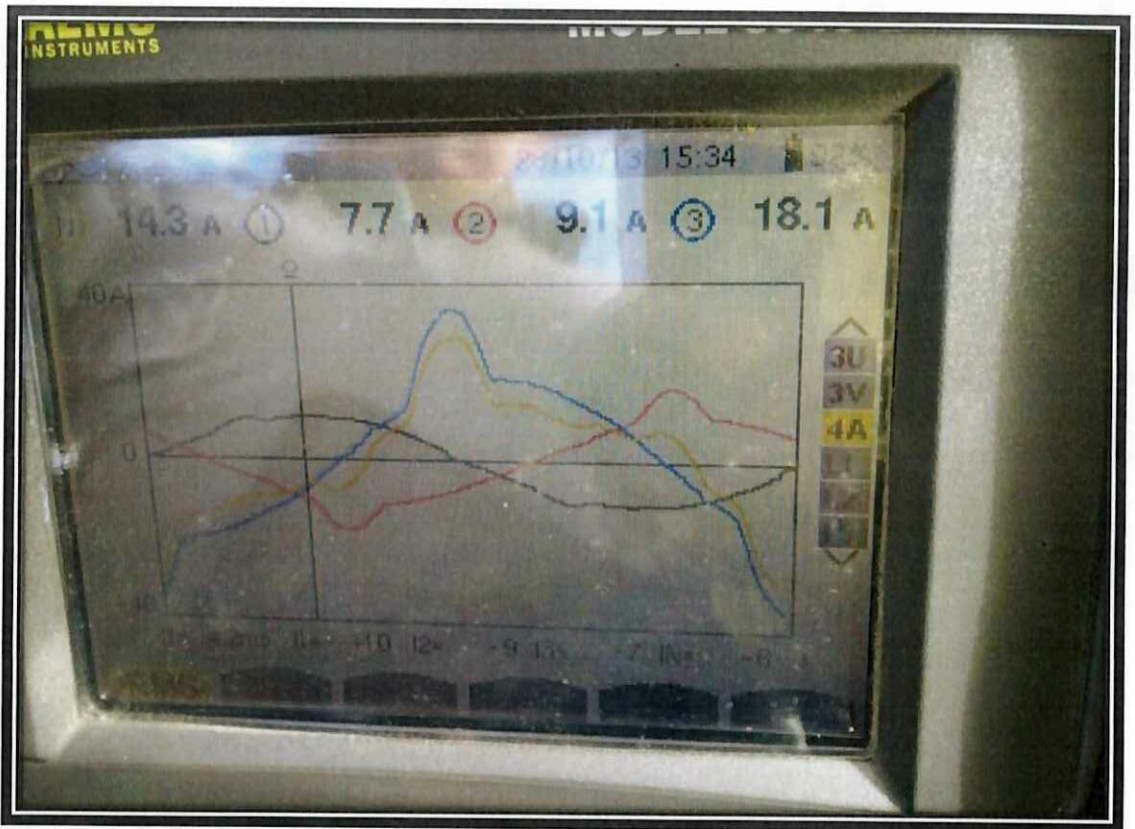
ANEXO N° 5: DESCARGA DE DATOS DEL ANALIZADOR AL COMPUTADOR



ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

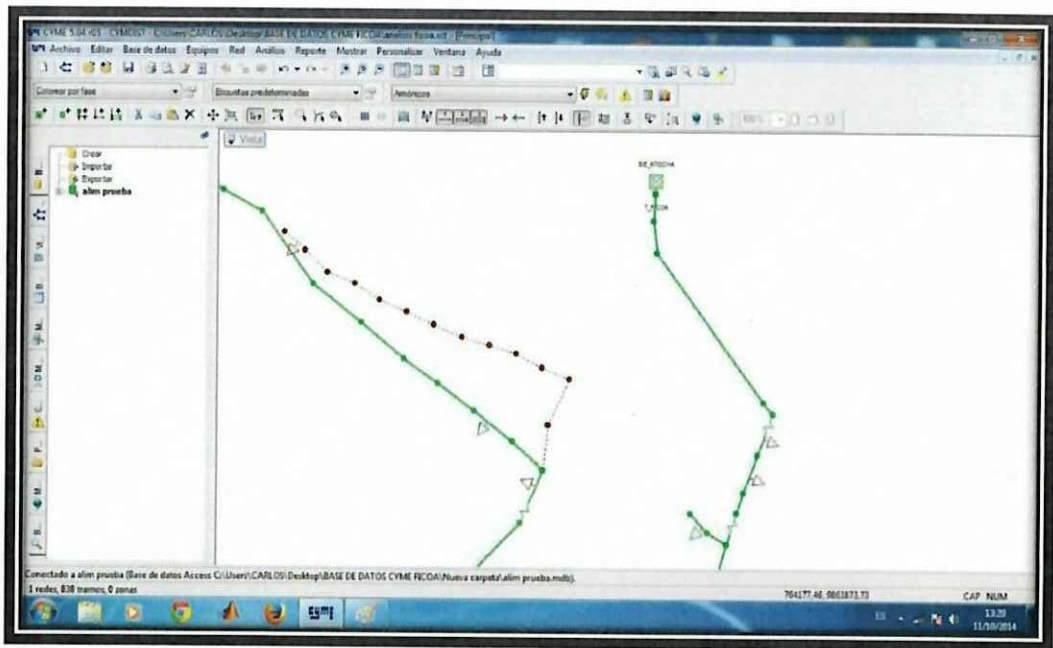


ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

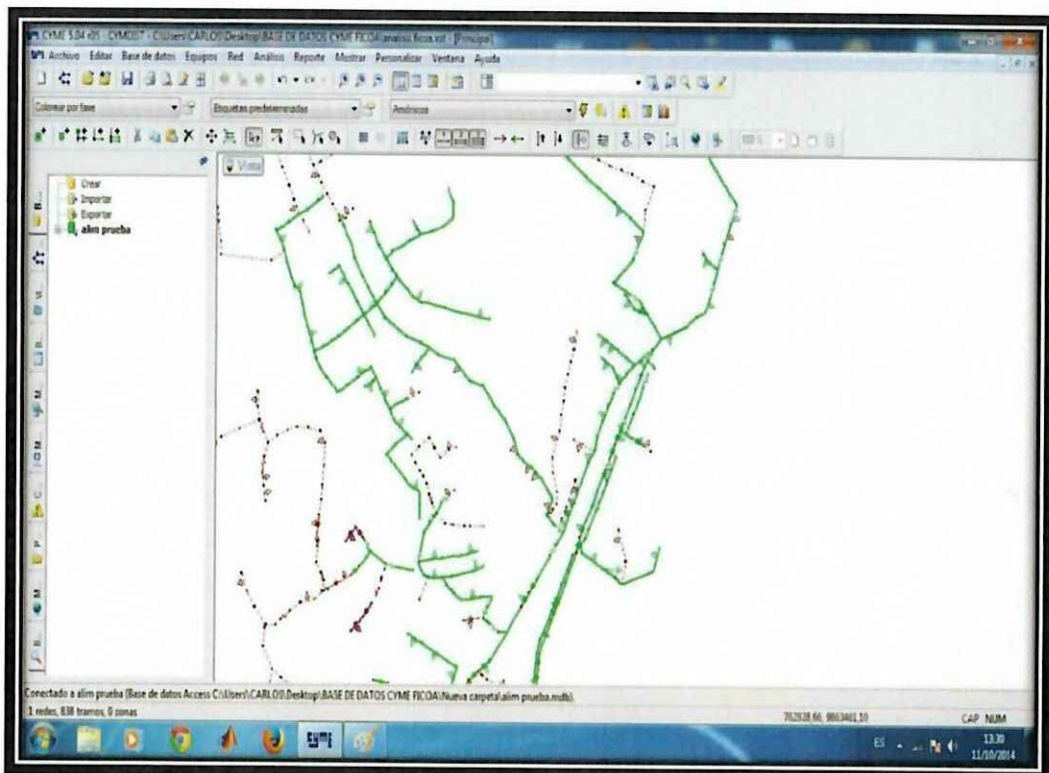


ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA

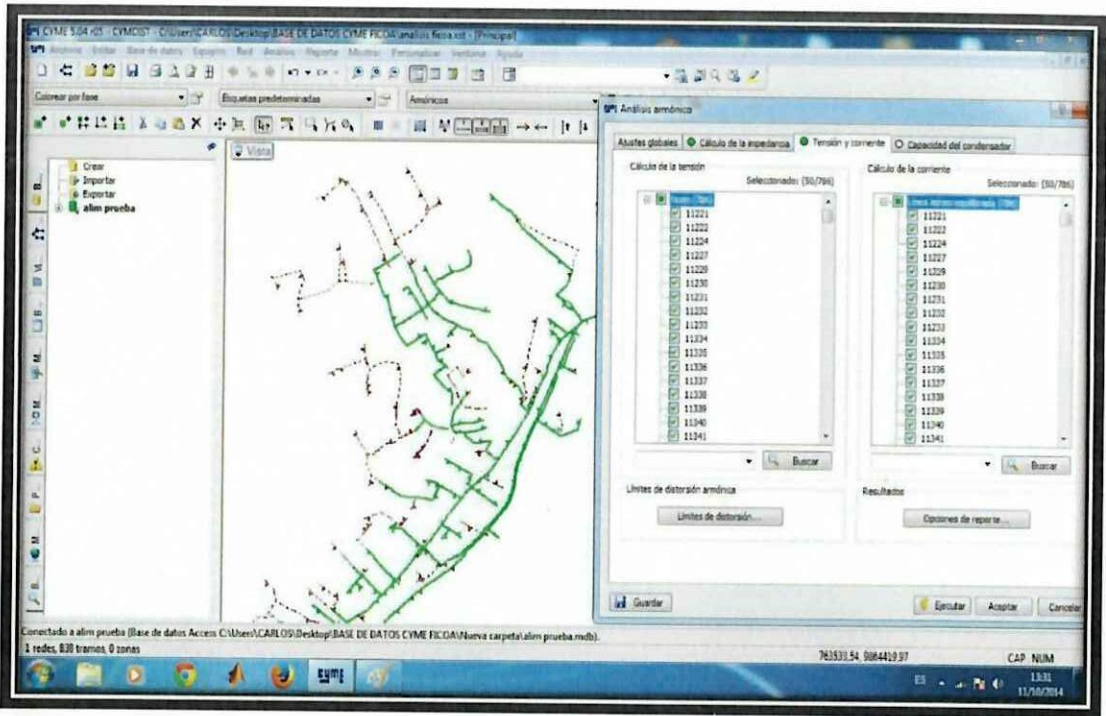
## ANEXO N° 6: SIMULACION CYME - MODULO CYMHARMO



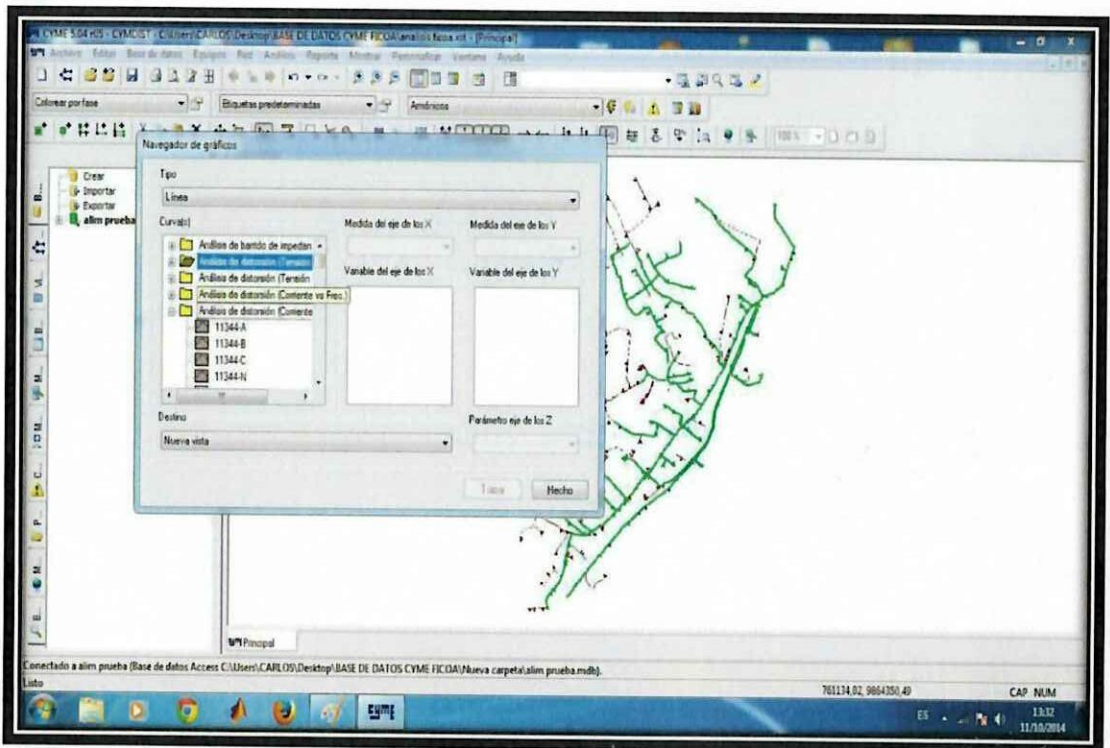
FUENTE: CYMDIST



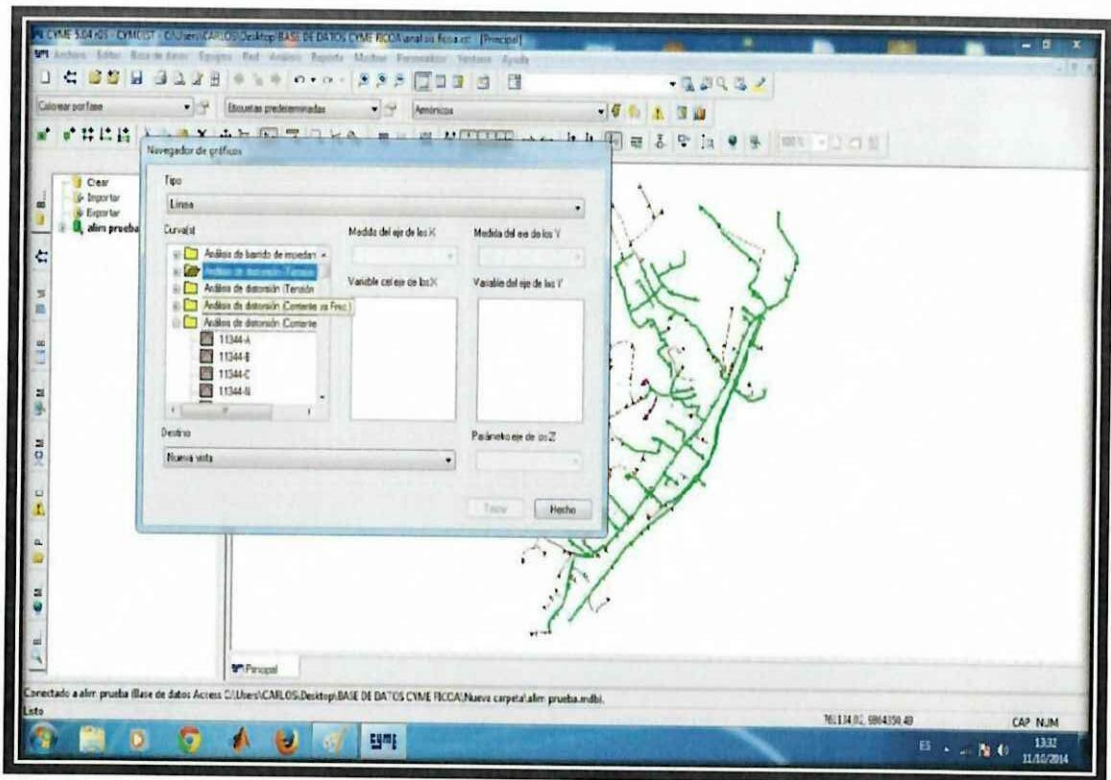
FUENTE: CYMDIST



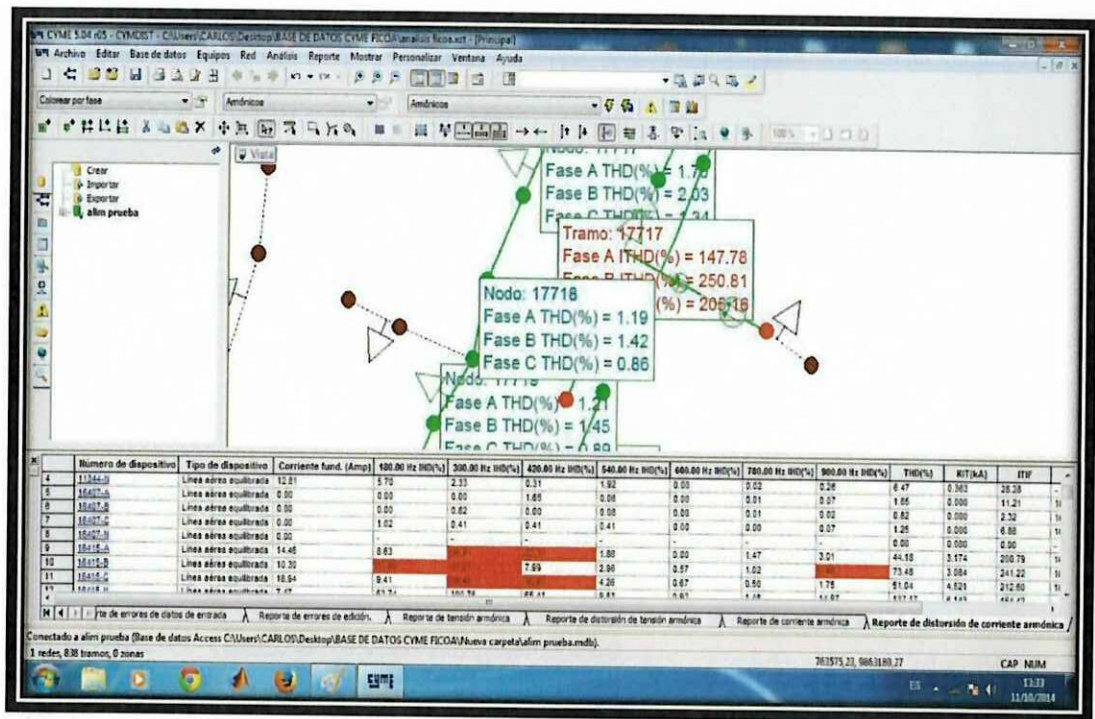
FUENTE: CYMDIST



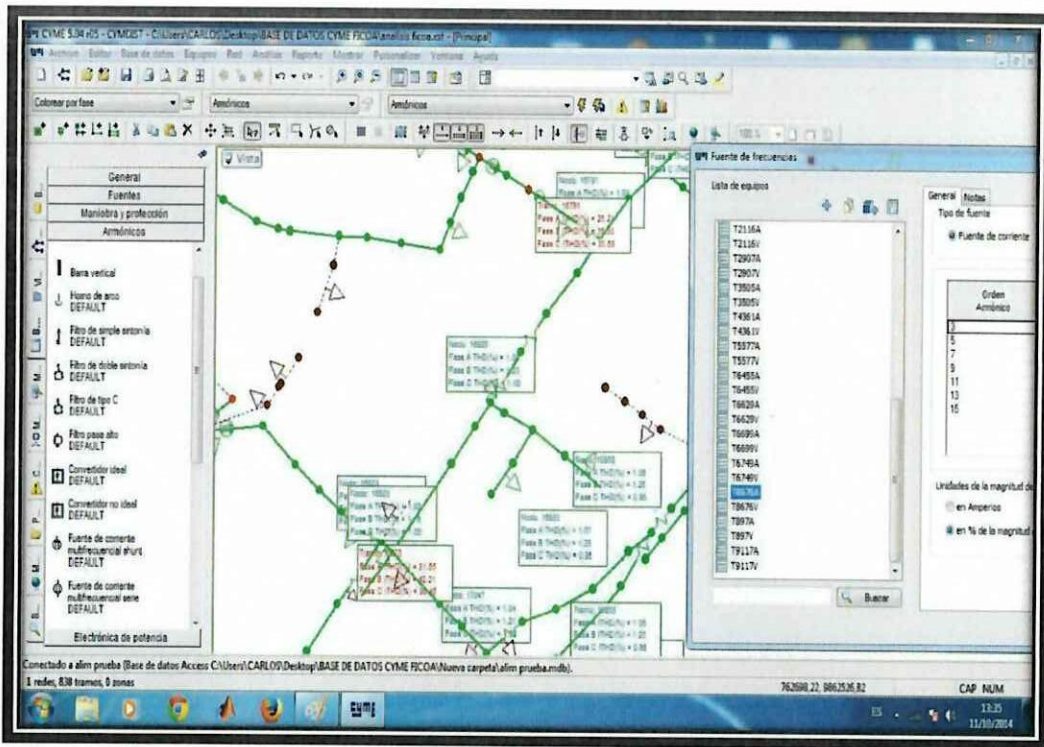
FUENTE: CYMDIST



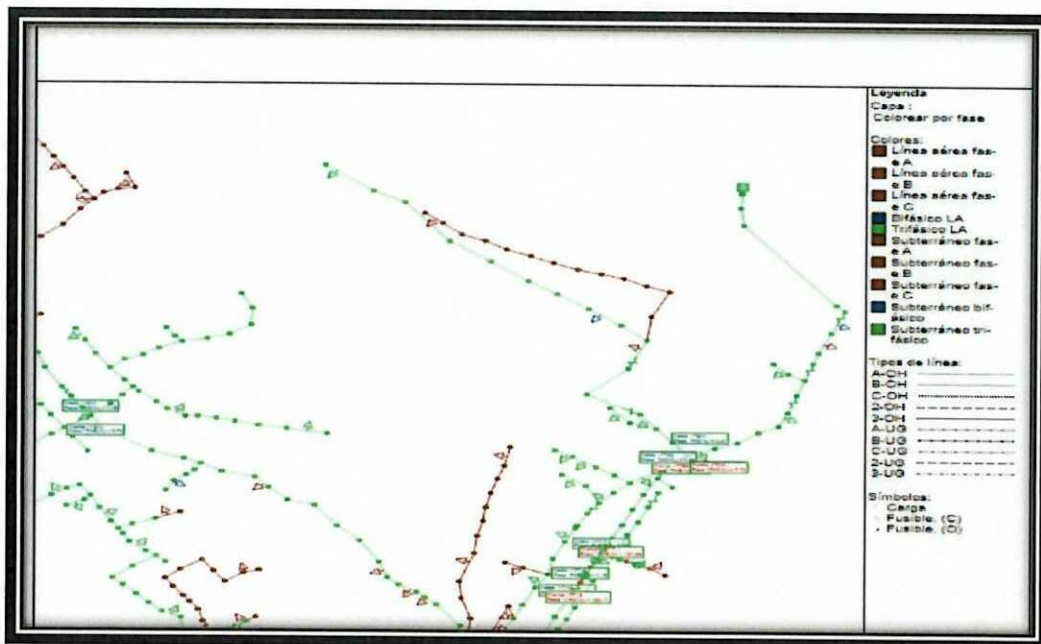
FUENTE: CYMDIST



FUENTE: CYMDIST



FUENTE: CYMDIST



FUENTE: CYMDIST

**ANEXO N° 7: TABLA DE ARMONICOS DE VOLTAJE**

No	180.00 Hz IHD(%)	300.00 Hz IHD(%)	420.00 Hz IHD(%)	540.00 Hz IHD(%)	660.00 Hz IHD(%)	780.00 Hz IHD(%)	900.00 Hz IHD(%)	THD(%)
T1120-A	0.79	0.43	0.50	0.08	0.00	0.01	0.06	1.03
T1120-B	0.55	1.04	0.12	0.11	0.00	0.01	0.08	1.19
T1120-C	0.32	0.46	0.83	0.32	0.00	0.03	0.07	1.05
T1247-B	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83
T1247-C	0.76	0.76	0.36	0.43	0.00	0.02	0.04	1.22
T1341-A	0.90	0.81	0.23	0.24	0.00	0.02	0.03	1.25
T1341-B	0.79	1.21	0.20	0.26	0.00	0.01	0.04	1.49
T1344-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T1344-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T1344-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T1524-A	0.84	0.45	0.47	0.09	0.00	0.02	0.06	1.07
T1524-B	0.64	1.06	0.11	0.12	0.00	0.01	0.07	1.25
T1524-C	0.27	0.41	0.77	0.30	0.00	0.03	0.07	0.96
T2056-A	1.11	1.00	0.28	0.29	0.00	0.02	0.04	1.54
T2056-B	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83
T2056-C	0.76	0.76	0.36	0.43	0.00	0.02	0.04	1.22
T2060-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T2060-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T2060-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T2072-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T2072-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T2073-A	0.71	0.57	0.48	0.11	0.00	0.01	0.05	1.03
T2073-B	0.51	1.09	0.19	0.13	0.00	0.01	0.07	1.22
T2073-C	0.39	0.62	0.81	0.36	0.00	0.02	0.06	1.15
T2077-A	0.84	0.45	0.47	0.09	0.00	0.02	0.06	1.06
T2077-B	0.64	1.06	0.11	0.12	0.00	0.01	0.07	1.25
T2077-C	0.27	0.41	0.77	0.30	0.00	0.03	0.07	0.96
T2111-A	0.80	0.25	0.55	0.08	0.00	0.01	0.08	1.01
T2111-B	0.48	0.93	0.07	0.11	0.02	0.01	0.10	1.06
T2111-C	0.36	0.35	0.91	0.31	0.00	0.03	0.10	1.09
T2116-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T2116-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T2116-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T2127-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T2127-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T2127-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T2907-A	0.81	0.49	0.43	0.12	0.00	0.02	0.05	1.05
T2907-B	0.62	1.13	0.13	0.14	0.00	0.01	0.06	1.31

T3505-A	0.69	0.62	0.48	0.11	0.00	0.01	0.05	1.05
T3505-B	0.50	1.12	0.21	0.14	0.00	0.01	0.07	1.26
T3505-C	0.37	0.67	0.81	0.34	0.00	0.02	0.06	1.17
T4361-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T4361-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T4361-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T5577-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T5577-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T620-A	1.11	1.00	0.28	0.29	0.00	0.02	0.04	1.54
T620-B	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83
T6455-A	0.93	0.58	0.39	0.12	0.00	0.02	0.05	1.17
T6455-B	0.81	1.12	0.08	0.15	0.00	0.02	0.06	1.40
T6629-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T6629-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T6629-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T6699-A	0.81	0.49	0.43	0.12	0.00	0.02	0.05	1.05
T6699-C	0.47	0.22	0.71	0.33	0.00	0.02	0.05	0.94
T6749-A	0.93	0.58	0.39	0.12	0.00	0.02	0.05	1.17
T6749-C	0.34	0.40	0.64	0.27	0.00	0.03	0.05	0.87
T8676-A	0.80	0.33	0.56	0.07	0.00	0.01	0.08	1.04
T8676-C	0.34	0.41	0.90	0.31	0.00	0.03	0.10	1.10
T897-A	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69
T897-B	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90
T897-C	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38
T9117-A	1.11	1.00	0.28	0.29	0.00	0.02	0.04	1.54
T9117-B	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83

FUENTE: ARMÓNICOS DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA



**ANEXO N° 8: TABLA DE ARMONICOS DE CORRIENTE**

No	Corriente fund. (Amp)	180.00 Hz IHD(%)	300.00 Hz IHD(%)	420.00 Hz IHD(%)	540.00 Hz IHD(%)	660.00 Hz IHD(%)	780.00 Hz IHD(%)	900.00 Hz IHD(%)	THD(%)	TDD(%)
T1120-A	36.66	17.98	24.40	8.01	3.87	0.00	0.30	0.66	31.55	31.55
T1120-B	31.20	12.05	30.14	7.71	4.63	0.00	0.21	1.22	42.21	42.21
T1120-C	31.70	24.02	24.82	8.69	7.64	0.00	0.75	1.12	36.45	36.45
T1120-N	5.23	345.13	90.84	11.13	99.75	0.00	2.50	17.92	371.17	-
T1247-B	1.08	0.98	1.50	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83	1.83
T1247-C	1.30	0.76	0.76	0.36	0.43	0.00	0.02	0.04	1.22	1.22
T1247-N	0.40	7.24	1.66	1.16	2.85	0.00	0.00	0.00	8.04	-
T1341-A	154.80	10.04	5.92	1.18	0.96	0.00	0.05	0.07	12.53	12.53
T1341-B	117.27	12.77	11.74	1.42	1.40	0.00	0.05	0.13	17.46	17.46
T1341-N	32.55	131.12	19.80	6.31	16.33	0.00	0.04	1.13	133.77	-
T1344-A	21.65	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T1344-B	10.87	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T1344-C	11.04	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T1344-N	10.69	4.15	1.69	0.23	1.39	0.00	0.02	0.18	4.70	-
T1524-A	3.54	0.83	0.45	0.47	0.09	0.00	0.02	0.06	1.06	1.06
T1524-B	1.22	0.63	1.06	0.11	0.12	0.00	0.01	0.07	1.25	1.25
T1524-C	0.41	0.26	0.41	0.77	0.30	0.00	0.03	0.07	0.96	0.96
T1524-N	2.81	1.34	0.28	0.54	0.21	0.00	0.00	0.11	1.49	-
T2056-A	150.03	11.29	6.11	1.22	0.99	0.00	0.05	0.08	12.94	12.94
T2056-B	115.86	12.93	11.88	1.43	1.42	0.00	0.05	0.13	17.67	17.67
T2056-C	132.64	8.78	5.30	1.77	1.67	0.00	0.07	0.10	10.54	10.54
T2056-N	29.58	144.29	21.88	6.95	17.98	0.00	0.05	1.24	147.22	-
T2060-A	32.79	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T2060-B	23.26	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T2060-C	17.43	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T2060-N	13.43	5.55	2.30	0.30	1.86	0.00	0.02	0.25	6.31	-
T2072-A	35.31	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T2072-B	23.26	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T2072-N	14.67	5.36	2.17	0.29	1.81	0.00	0.02	0.24	6.07	-
T2073-A	44.03	14.80	20.23	6.75	3.21	0.00	0.25	0.54	26.21	26.21
T2073-B	37.12	10.82	32.73	6.48	3.88	0.00	0.18	1.01	35.30	35.30
T2073-C	37.72	20.16	20.85	7.43	6.37	0.00	0.63	0.94	30.63	30.63
T2073-N	6.63	271.01	70.87	8.45	78.24	0.00	1.98	14.00	291.31	-
T2077-A	1.26	0.83	0.45	0.47	0.09	0.00	0.02	0.06	1.06	1.06
T2077-B	0.01	1.16	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	1.17	1.17
T2077-C	0.01	0.21	0.02	0.04	0.21	0.00	0.01	0.01	0.30	0.30
T2077-N	1.26	0.83	0.45	0.47	0.09	0.00	0.00	0.00	1.06	-
T2111-A	14.46	8.63	36.91	22.37	1.86	0.00	1.47	3.01	44.18	44.18

T2111-B	10.30	27.69	67.27	7.99	2.96	0.57	1.02	5.63	73.48	71.66
T2111-C	18.94	9.41	39.46	39.91	4.26	0.67	0.50	1.75	51.04	51.04
T2111-N	7.47	63.74	100.76	65.41	9.83	0.92	1.48	14.97	137.17	-
T2116-A	9.37	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T2116-B	2.03	1.01	1.54	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T2116-C	2.06	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T2116-N	7.32	1.99	1.22	0.36	0.58	0.00	0.02	0.08	2.43	-
T2127-A	10.13	1.18	1.08	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T2127-B	2.64	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T2127-C	2.68	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T2127-N	7.47	2.21	1.27	0.34	0.67	0.00	0.02	0.09	2.65	-
T2907-A	1.77	0.82	0.49	0.43	0.12	0.00	0.02	0.05	1.05	1.05
T2907-B	0.41	0.62	1.13	0.13	0.14	0.00	0.01	0.06	1.30	1.30
T2907-N	1.47	1.52	0.38	0.56	0.60	0.00	0.00	0.00	1.77	-
T3505-A	0.76	0.69	0.62	0.48	0.11	0.00	0.01	0.05	1.05	1.05
T3505-B	0.61	0.49	1.12	0.21	0.14	0.00	0.01	0.07	1.25	1.25
T3505-C	0.62	0.37	0.67	0.81	0.34	0.00	0.02	0.06	1.17	1.17
T3505-N	0.14	5.84	3.42	1.86	2.54	0.00	0.00	0.00	7.47	-
T4361-A	0.76	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T4361-B	0.61	0.98	1.55	0.32	0.32	0.00	0.01	0.06	1.88	1.88
T4361-C	0.62	0.81	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.37	1.37
T4361-N	0.15	13.29	4.14	1.23	4.88	0.00	0.00	0.00	14.80	-
T5577-B	23.26	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T5577-C	24.22	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T5577-N	12.84	6.54	2.26	0.39	2.29	0.00	0.02	0.30	7.31	-
T620-A	0.84	1.11	0.99	0.28	0.29	0.00	0.02	0.04	1.54	1.54
T620-B	0.67	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83	1.83
T620-N	0.16	13.05	3.17	1.11	4.74	0.00	0.00	0.00	14.28	-
T6455-A	3.48	0.86	0.53	0.36	0.11	0.00	0.02	0.04	1.08	1.08
T6455-B	2.29	0.74	1.03	0.07	0.14	0.00	0.01	0.05	1.28	1.28
T6455-N	1.03	5.36	1.21	0.80	1.29	0.00	0.00	0.37	5.72	-
T6629-A	4.05	1.18	1.08	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T6629-B	0.01	4.43	1.48	0.20	0.63	0.00	0.01	0.00	4.72	4.72
T6629-C	0.01	1.92	0.00	0.53	0.50	0.00	0.02	0.00	2.06	2.06
T6629-N	4.05	1.17	1.09	0.45	0.28	0.00	0.00	0.05	1.69	-
T6699-A	0.84	0.81	0.49	0.43	0.12	0.00	0.01	0.05	1.05	1.05
T6699-C	0.69	0.47	0.22	0.71	0.33	0.00	0.02	0.05	0.94	0.94
T6699-N	0.16	7.96	3.92	1.75	2.54	0.00	0.00	0.00	9.40	-
T6749-A	0.84	0.93	0.58	0.39	0.12	0.00	0.02	0.05	1.17	1.17
T6749-C	0.68	0.34	0.40	0.64	0.27	0.00	0.03	0.05	0.87	0.87
T6749-N	0.16	9.80	2.96	1.43	2.35	0.00	0.00	0.00	10.60	-
T8676-A	4.00	0.80	0.33	0.56	0.07	0.00	0.01	0.08	1.04	1.04
T8676-C	0.69	0.34	0.41	0.90	0.31	0.00	0.03	0.10	1.10	1.10

T8676-N	3.32	1.07	0.14	0.54	0.17	0.00	0.00	0.13	1.23	-
T897-A	1.52	1.18	1.09	0.45	0.28	0.00	0.02	0.05	1.69	1.69
T897-B	1.22	1.01	1.55	0.32	0.31	0.00	0.01	0.06	1.90	1.90
T897-C	1.24	0.83	0.87	0.47	0.49	0.00	0.02	0.05	1.38	1.38
T897-N	0.29	13.56	4.18	1.23	4.88	0.00	0.00	0.00	15.06	-
T9117-A	1.34	1.11	1.00	0.28	0.29	0.00	0.02	0.04	1.55	1.55
T9117-B	1.08	0.98	1.49	0.25	0.32	0.00	0.02	0.05	1.83	1.83
T9117-N	0.25	13.67	2.61	1.34	5.09	0.00	0.00	0.00	14.88	-

FUENTE: ARMÓNICOS DE VOLTAJE  
ELABORADO POR: JAVIER IVÁN SUNTA MIRANDA