



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

Protocolo del Trabajo de Proyecto de Investigación y Desarrollo en  
opción al Grado Académico de Magister en Gestión de Energías

**TEMA:**

**Diagnóstico de la demanda del sistema energético de la Central  
Latacunga de CNT E.P. en base a la mejora de la calidad de energía  
usando la regulación del CONELEC N° 004/01**

Autor:

TERÁN Espinosa, Diego Jacinto

Tutor:

Ing. MSc. Proaño Maldonado Xavier Alfonso

LATACUNGA – ECUADOR

Noviembre - 2017

## **AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO**

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Latacunga, Noviembre del 2017

En mi calidad de Director de la Tesis presentada por Terán Espinosa Diego Jacinto, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico cuyo título es “Magister en Gestión de Energías”.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

---

Ing. Xavier Proaño Msc.

C.C.: 0502656424

**DIRECTOR DE TESIS**

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS**

El contenido de la presente Tesis de Grado, es original y de mi exclusiva autoría y responsabilidad.

Atentamente

---

Diego Jacinto Terán Espinosa  
C.C. 0502409030

## **AGRADECIMIENTO**

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

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

Al Ing. Xavier Proaño, por su constante preocupación a quien es justo reconocer el apoyo brindado y más que todo por haber sido la persona que logro que yo diera este gran paso que de hecho es y será trascendental en mi vida.

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

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

**Diego**

## **DEDICATORIA**

Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero para cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí. Eres la razón de que me levante cada día a esforzarme por el presente y el mañana, eres mi principal motivación.

Como en todos mis logros, en este has estado presente.

Esto es para ti, Estebitan, pues tú eres sin duda, la parte más importante de mi vida, gracias por ser mi hijo, pero sin duda...

Gracias por permitirme ser tu Padre...

**Diego**

## ÍNDICE GENERAL

### CONTENIDOS

<b>AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	ii
<b>AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS</b> .....	iii
<b>RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE TESIS</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	xi
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN</b> .....	xv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>Situación problemática</b> .....	3
<b>Justificación de la investigación</b> .....	4
<b>Objeto de estudio</b> .....	4
<b>Formulación del problema de la investigación</b> .....	4
<b>Campo de acción de la investigación</b> .....	5
<b>Objetivo general</b> .....	5
<b>Hipótesis de investigación</b> .....	5
<b>Objetivos específicos de la investigación</b> .....	5
<b>CAPITULO 1</b> .....	7
<b>MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO</b> .....	7
<b>1.1. Caracterización detallada del objeto</b> .....	7
<b>1.2. Marco teórico de la investigación</b> .....	8
<b>1.2.1. Antecedentes de la investigación</b> .....	8
<b>1.3. Fundamentación de la investigación</b> .....	9
<b>1.3.1. Fundamentación legal</b> .....	9
<b>1.4. Aspectos teóricos elementales</b> .....	12
<b>1.4.1. Definición de Armónicos</b> .....	12

1.4.1.1.	Armónicos en sistemas eléctricos de potencia .....	12
1.4.1.2.	Armónicos en sistemas de telefonía .....	13
1.4.2.	Indicadores Esenciales de la Distorsión Armónica .....	13
1.4.3.	Factor de Cresta .....	13
1.4.4.	Potencia Activa .....	14
1.4.5.	Potencia Reactiva .....	14
1.4.6.	Potencia de Distorsión .....	14
1.4.6.1.	Distorsión Armónica Total (THD) .....	15
1.4.7.	Factor de Potencia .....	15
1.4.8.	Filtros de Armónicas .....	15
1.4.9.	Filtros Pasivos para componentes Armónicos .....	17
1.4.9.1.	Filtros Shunt o Paralelos Pasivos .....	17
1.4.9.2.	Filtro Pasivo Sintonizado Simple.....	18
1.4.10.	Calculo de Filtros Armónicos.....	20
1.5.	Operacionalización de Variables .....	21
<b>CAPITULO 2.....</b>		<b>22</b>
<b>METODOLOGIA .....</b>		<b>22</b>
2.1.	Enfoque, nivel y alcance de la investigación .....	22
2.1.1.	Paradigmas o enfoques epistemológicos.....	22
2.1.2.	Nivel de investigación.....	22
2.1.3.	Alcance de la investigación .....	23
2.2.	Métodos, Procedimientos y Técnicas .....	24
2.3.	Técnicas e instrumentos.....	26
2.4.	Equipo requerido en las subestaciones para la regulación de calidad de energía .....	27
2.4.1.	Equipos de medición .....	27
2.4.2.	Características técnicas del equipamiento. ....	29
2.4.3.	Equipo FLUKE 345.....	33
2.5.	Métodos de cálculo de parámetros eléctricos.....	34
2.5.1.	Factor de Cresta .....	35
2.5.2.	Potencia Activa .....	36
2.5.3.	Potencia Reactiva .....	36
2.5.4.	Potencia de Distorsión.....	36
2.5.4.1.	Distorsión Armónica Total (THD) .....	37



2.5.5. Factor de Potencia .....	38
2.5.6. Filtros de Armónicas .....	39
2.5.7. Calculo de Filtros Armónicos.....	39
2.5.8. Calculo del Factor de Calidad.....	40
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>44</b>
<b>DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MEDICIONES .....</b>	<b>44</b>
3.1. Análisis de la calidad del servicio eléctrico de la Central Latacunga CNT E.P. ....	44
3.2. Montaje del equipo .....	45
3.3. Localización de puntos de medición y uso del equipo de medición .....	45
3.3.1. Puntos de Medición .....	45
3.4. Calculo de corriente de cortocircuito del transformador .....	46
3.5. Análisis de datos del punto de estudio .....	48
3.5.1. CENTRAL LATACUNGA CNT E.P. ....	48
<b>CAPITULO 4.....</b>	<b>61</b>
<b>ARMONICA DE VOLTAJE Y FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>61</b>
4.1. Justificación de la propuesta .....	61
4.2. Objetivos .....	62
4.3. Desarrollo de la propuesta.....	62
4.3.1. Simulación Inicial del Sistema en el software EASY POWER .....	62
4.4. Propuesta para mitigar los armónicos .....	67
4.5. Análisis Técnico económico de la implementación del Proyecto .....	79
4.6. Factibilidad económica, técnica y ambiental para la implementación de la oportunidad de mejora de calidad de energía .....	84
4.6.1. Factibilidad Técnica .....	84
4.6.2. Factibilidad Económica .....	84
4.6.3. Factibilidad Ambiental .....	85
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>86</b>
<b>RECOMENDACIONES GENERALES .....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.1: VENTAJAS DEL FILTRO PASIVO SINTONIZADO .....</b>	<b>20</b>
<b>TABLA 1.2: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 1.3: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE.....</b>	<b>21</b>
<b>TABLA 2.1: NIVELES DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>TABLA 2.2: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA 3.1: CALCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO.....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 3.2: CALCULO DEL FACTOR A.....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 3.3: CUMPLIMIENTO NIVELES DE TENSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>TABLA 3.4: DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA DE FRECUENCIAS DE LA VARIACIÓN DE TENSIÓN (DV).....</b>	<b>49</b>
<b>TABLA 3.5: CUMPLIMIENTO DE FLICKER .....</b>	<b>50</b>
<b>TABLA 3.6: RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE A ....</b>	<b>51</b>
<b>TABLA 3.7: RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE B ....</b>	<b>52</b>
<b>TABLA 3.8: RESULTADO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN FASE C ....</b>	<b>53</b>
<b>TABLA 3.9: CUMPLIMIENTO DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA DE TENSIÓN. ....</b>	<b>54</b>
<b>TABLA 3.10: CUMPLIMIENTO DEL FACTOR DE POTENCIA FP.....</b>	<b>57</b>
<b>TABLA 4.1: FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA.....</b>	<b>64</b>
<b>TABLA 4.2: FACTOR DE POTENCIA DE LAS CARGAS .....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 4.3: SOBRECARGA DE LA LÍNEA .....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 4.4: SOBRECARGA DEL TRANSFORMADOR .....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 4.5: MAGNITUDES DE LOS ARMÓNICOS DE CORRIENTE.....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 4.6: REDUCCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA CARGA.....</b>	<b>77</b>
<b>TABLA 4.7: REDUCCIÓN DE LA SOBRECARGA DEL TRANSFORMADOR .....</b>	<b>78</b>
<b>TABLA 4.8: FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA.....</b>	<b>78</b>
<b>TABLA 4.9: PÉRDIDAS INICIALES .....</b>	<b>79</b>
<b>TABLA 4.10: PÉRDIDAS FINALES.....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 4.11: PLIEGO TARIFARIO. VALOR INDUSTRIAL .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 4.12: PENALIZACIÓN ANUAL POR BAJO FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 4.13: FLUJO NETO DE INVERSIÓN .....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

FIGURA 1.1: TRIANGULO DE POTENCIAS DE DISTORSIÓN.....	14
FIGURA 1.2: VARIACIÓN DE FP/COS $\phi$ _1 EN FUNCIÓN DEL THDI.....	15
FIGURA 1.3: FILTRO PASIVO DE ARMÓNICOS EN PARALELO CON LA CARGA. ....	18
FIGURA 1.4: CONEXIÓN DEL FILTRO DESINTONIZADO EN PARALELO AL BUS DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA. ....	18
FIGURA 1.5: FILTRO SINTONIZADO.....	20
FIGURA 2.1: ANALIZADOR DE ENERGÍA FLUKE 345.....	33
FIGURA 3.1: NIVELES DE TENSIÓN POR FASE .....	50
FIGURA 3.2: FLICKER .....	51
FIGURA 3.3: GRAFICAS DE ORDEN DE ARMÓNICOS EN CADA FASE.....	55
FIGURA 3.4: GRAFICA DE PORCENTAJES DE THD EN CADA UNA DE LAS FASES .....	56
FIGURA 3.5: POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA TOTAL.....	57
FIGURA 3.6: POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 1 .....	58
FIGURA 3.7: POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA FASE 2.....	58
FIGURA 3.8: POTENCIA ACTIVA REACTIVA FASE 3 .....	59
FIGURA 3.9: POTENCIAS ACTIVA (P) Y COS FI.....	59
FIGURA 4.1: SIMULACIÓN DE LOS ARMÓNICOS EN EASY POWER.....	67
FIGURA 4.2: DISEÑO DEL FILTRO .....	73
FIGURA 4.3: DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO EN EASY POWER .....	74
FIGURA 4.4: CORRECCIÓN DE ARMÓNICOS CON INSTALACIÓN DE FILTRO .....	74
FIGURA 4.5: REDUCCIÓN DEL NIVEL DE ARMÓNICOS .....	75
FIGURA 4.6: CONTENIDO DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE CON EL FILTRO.....	76

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1 Regulación No. CONELEC – 00401 .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 2 Certificado de calibración del equipo.....</b>	<b>94</b>
<b>Anexo 3 Características Fluke Amperflex .....</b>	<b>95</b>
<b>Anexo 4 Trafo CNT.....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo 5 Diagrama Unifilar CNT E.P.....</b>	<b>97</b>
<b>Anexo 6 Datos Analizador CNT .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 7 ARMONICOS DE VOLTAJE THD (V).....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 8 ARMONICOS DE CORRIENTE THD (I).....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 9 FACTOR DE POTENCIA .....</b>	<b>101</b>
<b>Anexo 10 POTENCIA ACTIVA .....</b>	<b>102</b>
<b>Anexo 11 POTENCIA APARENTE.....</b>	<b>103</b>
<b>Anexo 12 POTENCIA REACTIVA .....</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 13 Informe.....</b>	<b>105</b>
<b>Anexo 14 Diagrama Unifilar CNT E.P Corrida de Flujos .....</b>	<b>106</b>
<b>Anexo 15 Diagrama Unifilar CNT E.P Simulación .....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo 16 Diagrama Unifilar CNT E.P Corrida de Armónicos .....</b>	<b>108</b>
<b>Anexo 17 Corrida de Armónicos Voltaje.....</b>	<b>109</b>
<b>Anexo 18 Corrida de Armónicos Corriente.....</b>	<b>110</b>
<b>Anexo 19 Corrida de Armónicos Voltaje.....</b>	<b>111</b>
<b>Anexo 20 Diagrama Unifilar CNT E.P Corrida de Armónicos Final .....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo 21 Corrida de Armónicos Corriente.....</b>	<b>113</b>
<b>Anexo 22 Diagrama Unifilar CNT E.P Simulación de Flujos con Filtro .....</b>	<b>114</b>
<b>Anexo 23 Certificado de Adaptación de Tema de Tesis .....</b>	<b>115</b>
<b>Anexo 24 Validaciones .....</b>	<b>116</b>

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:** Diagnostico de la demanda del sistema energético de la Central Latacunga de CNT E.P. en base a la mejora de la calidad de energía usando la regulación del CONELEC N° 004/01.

**AUTOR:** TERÁN ESPINOSA Diego Jacinto  
**TUTOR:** Msc. PROAÑO MALDONADO Xavier

**RESUMEN**

El objetivo del trabajo de investigación trata sobre la calidad de energía mediante el mejoramiento de los parámetros de eléctricos, que en la parte técnica, se ha visto afectada la Central Latacunga CNT E.P. en sus últimos meses por lo cual el proveedor (ELEPCO S.A.) ha generado continuas multas, ya que ellos dan un suministro con tensiones equilibradas, sinusoidales con amplitudes y frecuencias constantes.

El incremento de equipamiento dentro del área de estudio, ha tenido un gran desarrollo tecnológico, en especial de la electrónica de potencia y telecomunicaciones, lo cual conlleva a que se produzca una generación de eventos que afectan a la red en sus parámetros técnicos, la cual en su mayoría son causadas por cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, lo que ha hecho posible que la empresa tenga que analizar sus circuitos de distribución para que mejorar los parámetros de calidad de energía para no tener interrupciones y así operar libre de perturbaciones en el servicio eléctrico.

Uno de los objetivos en la realización de esta tesis ha sido encontrar soluciones efectivas para corregir los eventos de variaciones de los parámetros de energía eléctrica que se presentan en el sistema eléctrico. El presente trabajo servirá para enfocar los aspectos de calidad de energía que se vean reducidos por distorsiones de la forma de onda (Armónicos) y fluctuaciones de tensión (Flicker) con posibles soluciones empleadas en la actualidad en base de recopilación de datos. El estudio se enfocara por la Regulación No. CONELEC 004/01; y en base a las mediciones tomadas en el punto que dicha regulación lo estipula, se plantearán mejoras en base a simulaciones con lo que se darán conclusiones necesarias para mantener un buen servicio a fin de evitar el deterioro de las señales de tensión y que conlleve a interrupciones que ocasionan la reducción o parada de procesos que causan perjuicios en el sistema.

**Descriptor:** calidad de energía, energía, cargas, fluctuaciones, distorsión.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**UNIT OF POSGRADOS**  
**MASTERY IN MANAGEMENT OF ENERGIES**

**TITLE:** Energy system diagnosis of the demand from Central Latacunga CNT E.P. based on the quality of energy facilities from it by the regulation of CONELEC N ° 004/01

**AUTHOR:** TERÁN ESPINOSA Diego Jacinto  
**ADVISOR:** Msc. PROAÑO MALDONADO Xavier

**ABSTRACT**

The objective of the research work is about the quality of energy through the improvement of the electrical parameters, which in the technical part, has been affected the Latacunga CNT E.P. in its last months, for which the supplier (ELEPCO S.A.) has generated continuous fines, since they supply a balanced, sinusoidal voltage with constant amplitudes and frequencies.

The increase in equipment within the study area has had a great technological development, especially in power electronics and telecommunications, which leads to a generation of events that affect the network in its technical parameters, which are mostly caused by nonlinear loads highly sensitive to variations in power supply, which has made it possible for the company to analyze its distribution circuits to improve the power quality parameters to avoid interruptions to operate free from disturbances in the electrical service. One of the objectives in the accomplishment of this thesis has been to find effective solutions to correct the events of variations of the electrical energy parameters that are presented in the electrical system. This work will focus on aspects of energy quality that are reduced by distortions of the waveform (Harmonics) and fluctuations of voltage (Flicker) with possible solutions currently used on the basis of data collection. The study will focus on Regulation No. CONELEC 004/01; and based on the measurements taken at the point that this regulation stipulates, improvements will be made based on simulations, which will give the necessary conclusions to maintain a good service in order to avoid the deterioration of the voltage signals and that leads to interruptions that cause the reduction or stop of processes that cause damages in the system.

**Descriptors:** energy quality, energy, loads, fluctuations, distortion.

## **AVAL DE TRADUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, las empresas distribuidoras de electricidad han tomado hincapié en el control de los parámetros de la energía y con ello también reciben cada vez más quejas con respecto a perturbaciones de tensión, los cuales provocan el mal funcionamiento de las instalaciones eléctricas y sus cargas. Esto se debe principalmente a la utilización cada vez mayor de cargas sensibles a perturbaciones de tensión y cargas no lineales. Las perturbaciones siempre estarán presentes en los sistemas eléctricos y electrónicos, pero es fundamental mantenerlas a un nivel lo más reducido posible, sin que influya en el normal funcionamiento del proceso productivo del suscriptor o cliente.

Por lo general cuando en una instalación eléctrica existen perturbaciones de tensión, casi siempre, los clientes culpan a la empresa distribuidora de electricidad, sin darse cuenta que en ocasiones el problema puede estar dentro de la misma instalación.

Las cargas no lineales cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación CA, resultando en un flujo de corrientes armónicas en los sistemas de potencia AC que pueden causar interferencia con los circuitos de comunicación y con otro tipo de equipos. Cuando es usada la compensación de potencia reactiva (en la forma de condensadores para mejorar el factor de potencia) con éstas cargas no lineales, pueden ocurrir condiciones de resonancia que resultan en altos niveles de distorsión de tensión y corriente armónica.

Para el estudio de estas fallas se debe realizar un análisis de calidad de energía eléctrica que nos permita observar de manera detallada los fenómenos electromagnéticos, los cuales pueden presentarse de forma permanente, intermitente o instantánea. La finalidad que se persigue con la realización de dichos estudios es la de identificar la magnitud de las perturbaciones y por ende determinar las respectivas soluciones al problema.



En la Central Latacunga de CNT E.P. es una parte importante de lo que es la empresa de telecomunicaciones de la provincia, cuyo sistema eléctrico debe estar lo más posible libre de perturbaciones, ya que están podrían afectar a los servicios de telefonía e internet con lo cual daría fallas asociadas, considerando que una alimentación de baja calidad podría ocasionar el mal funcionamiento de equipos sensibles y críticos conectados al circuito de dicha edificación.

Para los efectos de este trabajo, lo que se busca es realizar un estudio que permita un análisis comparativo entre los parámetros de calidad de energía medidos y las normas respectivas. Tales parámetros como lo son el factor de potencia, desbalance de fases, fluctuaciones de tensión (sags y swell), flickers, armónicos, frecuencia, serán objeto de estudio, partiendo desde cómo se encuentra al momento los parámetros de energía hasta llegar a dar soluciones de simulación con ayuda del software EASY POWER en donde se realizara el análisis del flujo de carga para determinar las caídas de voltaje, pérdidas de potencia, flujos de potencia, factor de potencia y cargabilidad del sistema eléctrico. Además se realizara un análisis de flujo armónico para determinar el nivel de armónicos en la central.

Se planteara alternativas de solución para la reducción de los costos de penalización por bajo factor de potencia que mensualmente factura la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A., como también reducir los niveles de contaminación armónica que son producidos por el uso de equipos de aires acondicionados y rectificadores de voltaje que se considera como una carga no lineal.

## **Situación problemática**

Con el crecimiento de los servicios de telecomunicaciones en el año 2016 se tuvo un indicador de 3'000.000 usuarios de servicios de telecomunicaciones fijas en el Ecuador y 17.000 usuarios para la ciudad de Latacunga, según los datos obtenidos de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, como es la necesidad del mejoramiento de las centrales a nivel de que se tienen que ser más amigables con el medio ambiente, ya que existen equipos de transmisión de tecnologías pasadas que al momento se encuentran conectados al servicio de energía eléctrica, el cual conlleva a un consumo, es por lo cual se ha propuesto realizar un diagnóstico de los equipos de telefonía como base fundamental para la implementación de un sistema energético, ya que una de las consecuencias es el incremento de los niveles de armónicos en la red eléctrica, fenómeno originado en parte por la instalación de dispositivos con electrónica de potencia para el control.

Con la finalidad de establecer responsabilidades entre consumidor y distribuidor, se han creado normas nacionales e internacionales, las cuales limitan los rangos permitidos de forma de onda de voltaje a suministrar por la distribuidora y a distorsionar por los consumidores. Según (Contreras, 2006) la norma más utilizada, especialmente en países industrializados como Chile, es la IEEE 519 1992, en donde su cumplimiento está siendo solicitado cada día más debido al crecimiento en la utilización de cargas no lineales que generan la distorsión armónica.

En Ecuador, en concordancia con el cambio de la matriz energética previsto para implementarse en el país, el cual tomará impulso con la puesta en marcha de la central generadora hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, que funcionará con el 50% de su capacidad instalada partir de febrero del 2016; busca hacer un uso eficiente de los recursos energéticos disponibles, la Constitución de la República vigente desde el 2008; y en el Plan Nacional Para El Buen Vivir 2009 – 2013, son instrumentos que desde la perspectiva de la planificación, permiten implantar los cimientos para el desarrollo de los proyectos y programas necesarios para reorientar al sistema energético nacional hacia un sistema eficaz, eficiente y amigable con el ambiente. El

no proveer una alternativa de solución para mitigar el incremento de las pérdidas técnicas de energía originado por la introducción de un mayor nivel de armónicos en la red, lo que conlleva a plantear la implementación de sistema energético en la red de distribución de la central Latacunga como alternativa de solución para la mitigación del nivel de armónicos en la red que ocasionan el incremento de las pérdidas técnicas de energía.

### **Justificación de la investigación**

El uso ascendente de equipos y dispositivos electrónicos tanto analógicos como digitales en las telecomunicaciones se ha incrementado dramáticamente en los últimos años en la Central Telefónica Latacunga de la CNT E.P. y estos dispositivos han sido víctimas de la degradación a causa de elementos eléctricos que ya han cumplido su tiempo de vida o que no han tenido un mantenimiento programado para evitar la afectación en valores de la Calidad de energía.

Para obtener y suministrar energía eléctrica de alta calidad cuyas características de voltaje, frecuencia, ruido, distorsión y conexión a tierra se encuentren todas dentro de los parámetros recomendados en la reglamentación y normatividad vigente, es una necesidad requerida por las empresas eléctricas, por entes reguladores de Normativas de Calidad y por normas ambientales de reducción de CO<sub>2</sub>.

### **Objeto de estudio**

El objeto de estudio son las redes de distribución de energía en bajo voltaje de la Central Latacunga.

### **Formulación del problema de la investigación**

¿Cómo incide el comportamiento de la demanda eléctrica en la calidad de energía en la central Latacunga?

## **Campo de acción de la investigación**

Del universo establecido en el objeto de estudio que es la central Telefónica Latacunga el principal campo de acción para el estudio sería:

Calidad de Energía.

## **Objetivo general**

- Desarrollar un diagnóstico de la demanda para la mejora de la calidad de energía en la Central Telefónica Latacunga de la CNT E.P., usando la regulación del CONELEC N° 004/01.

## **Hipótesis de investigación**

Mediante el diagnóstico de la demanda de eléctrica se determinara las acciones que permitan mejorar la calidad de energía en la Central Telefónica de la CNT E.P. ubicado en la ciudad de Latacunga.

## **Objetivos específicos de la investigación**

- Analizar los circuitos de distribución interna existentes en la edificación de la central y su incidencia en la calidad de energía.
- Realizar mediciones en los diferentes puntos de rectificación del sistema del suministro eléctrico en el área de la Central Telefónica Latacunga.
- Diseñar la propuesta de mejora en la calidad de energía de la Central Latacunga de CNT E.P. en base a la regulación CONELEC N° 004/01

## **Sistema de tareas por objetivos específicos**

- 1) Para alcanzar el objetivo específico 1, se realizarán las siguientes acciones:
  - a) Obtener información de la distribución interna existente en la edificación.

- b)** Realizar un esquema eléctrico unifilar de la distribución dentro de la central.

**2)** Para conseguir el cumplimiento del objetivo específico 2, se han programado las siguientes tareas:

- a)** Instalar un analizador de energía para obtener información referente a las mediciones actuales del nivel de armónicos y fluctuaciones en el área de estudio en la red.
- b)** Contrastar los datos obtenidos y obtener la diferencia de niveles, misma que corresponde al incremento originado por los equipos de telecomunicaciones.
- c)** Relacionar mediante ecuaciones matemáticas las pérdidas energéticas originadas por la presencia de armónicos en la red.
- d)** Establecer la cantidad de energía perdida por el incremento de nivel de armónicos obtenido en el numeral anterior.

**3)** El cumplimiento del objetivo específico 3, se logrará con la siguientes acciones:

- a)** Se lo realizara haciendo simulaciones en programas como ETAP, Easy Power, los cuales nos ayudaran a conocer que ahorro de energía y que elementos es necesario instalar en la red de distribución de la Central Latacunga de CNT E.P.

## CAPITULO 1

### MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

El elaborar el marco teórico no es sólo hacer una revisión o reseña de lo que se ha hecho antes con títulos semejantes, sino de insertarse de manera real y profunda en la actividad científica con el fin de encontrar el sentido de la investigación que se quiere hacer (Rivera-García, 2013). El objetivo del actual capítulo es establecer los fundamentos teóricos imperiosos para el análisis de calidad de energía en la central Latacunga CNT E.P, a partir del procesamiento de datos del conocimiento científico y técnico establecido en trabajos anteriores.

#### **1.1. Caracterización detallada del objeto**

El proceso de distribución eléctrica en la Central Latacunga CNT E.P. que está ubicada en la ciudad de Latacunga, calles Belisario Quevedo 5-20 desde el año 1995, es una actividad novedosa para los trabajadores de dicha empresa ya que esta fue reconstruida para el montaje de una central de tipo analógica acorde con la infraestructura para ese tiempo, la cual en los últimos meses está ocasionando varios contratiempos tanto para técnicos, como para los usuarios ya que al no existir repuestos por las centrales por estar discontinuada, es la razón que se instala una nueva central de tipo digital en modalidad SIP – IP - GPON, la cual está acorde con la matriz de innovación tecnológica que ha propuesto el Gobierno Nacional y esta cuenta con variadas funcionalidades, como también soporta adversidades como: extremas temperaturas, cambios de tarjetas y su bajo consumo de energía, con lo cual es imperativo hacer un análisis de los parámetros operacionales de la red eléctrica con la finalidad de aumentar la eficiencia energética de la central y evitar pérdidas económicas provocadas por el consumo de energía eléctrica y la reducción en la contaminación ambiental, teniendo en cuenta que todas las empresas públicas y que son de los sectores estratégicos deben tener programas de reducción de CO<sub>2</sub>, lo hace que de mayor razón se trate de tener multas de parte de los entes reguladores a nivel nacional.

## **1.2. Marco teórico de la investigación**

(Carlos Sabino, 2016) afirma que "el marco teórico de una investigación no puede realizarse si no se hace explícito aquello que nos proponemos conocer: es siempre necesario distinguir entre lo que se sabe y lo que no se sabe con respecto a un tema para definir claramente el problema que se va a investigar". Por lo cual abordaremos la parte conceptual de los fenómenos a estudiar en esta investigación.

### **1.2.1. Antecedentes de la investigación**

En la Guía de sobre el potencial de las tecnologías de información y comunicación para el ahorro y la eficiencia energética se manifiesta:

- Los factores determinantes para el éxito de la aplicación de este tipo de medidas de eficiencia energética son la rapidez de aplicación de las mismas y de obtención de resultados, así como la eficacia y el bajo coste económico que conllevan.

Las TIC desempeñan un importante papel en aspectos como la mejora de la competitividad de una economía de cara a la globalización, el desarrollo científico y tecnológico en diversa áreas como la medicina o la física, y la modernización de distintos sectores como el educativo, seguridad, transporte y energético, así como distintos retos sociales como la mejora de la calidad de vida de las personas. Sin embargo, también constituyen una base trascendental para la mejora de la eficiencia energética. (FENERCOM, 2011, pág. 12)

Para una correcta gestión energética de los procesos de transmisión por micro onda, es necesario conocer los aspectos que determinan cuáles son los elementos más importantes a la hora de lograr la optimización energética, conocimiento que nos permitirá un mejor aprovechamiento de nuestros recursos y un ahorro tanto en el consumo como en el dimensionamiento de los equipos e instalaciones.

En esta guía se puede encontrar una gran cantidad de características y clasificaciones de equipos para ahorrar energía poniendo mayor atención en el consumo de los equipos de transmisión y la iluminación, se puede pensar también en mejorar los procesos cambiando la tecnología actual y utilizando nuevos equipos. Con respecto al uso de nuevos equipos se puede mencionar que actualmente se cuenta con sistemas híbridos de telefonía e internet que presentan excelentes características en telecomunicaciones y rendimiento energético, una de las empresas pioneras en este tipo de productos es HUAWEI con su línea de racks MT5600.

### **1.3. Fundamentación de la investigación**

Toda investigación, independientemente de su tipo, requiere de una fundamentación que permita hacer explícitas sus bases teóricas y conceptuales. La fundamentación teórico conceptual implica el desarrollo organizado y sistemático del conjunto de ideas, conceptos, antecedentes y teorías que permiten sustentar la investigación y comprender la perspectiva o enfoque desde el cual el investigador parte, y a través del cual interpreta sus resultados.

#### **1.3.1. Fundamentación legal**

Para esta implementación se fundamentará legalmente, ya que es importante resaltar la importancia de buscar estrategias que ayuden y colaboren con el medio ambiente y el aprovechamiento eficiente de la energía, por lo que se mencionará lo estipulado en la constitución del Ecuador en su capítulo 5 además de lo contenido en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017.

#### **Art. 14 Sumak Kawsay (Buen Vivir)**

Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay

#### **Art. 15 Tecnologías Limpias**



El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

**Art. 83:** Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

**Art. 89.-** El Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

1. Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes.
2. Establecer estímulos tributarios para quienes realicen acciones ambientalmente sanas.

**Art 395.-** El Estado reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales y jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución, y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Tomando en cuenta lo que la Constitución Política del Ecuador en sus Artículos 89 y 289, promulga, hemos tomado en cuenta que el estado fomentara la protección del

medio ambiente, dando estímulos y apoyando a los mismos garantizando la participación activa y permanente de personas, comunidades y nacionalidades que se vieran afectadas por impactos ambientales, sean de cualquier tipo.

**Art. 276:** Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

El proyecto tomara estos artículos para la recuperación de espacios y la conservación de la naturaleza como también se asegurara a los usuarios que no existe una contaminación radio electromagnética nociva para la salud.

## **PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR 2013-2017**

**Objetivo 7.** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global

**7.7.** Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental

**7.7.a.** Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.

**7.7.b.** Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

**7.7.c.** Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en el transporte y sustituir los vehículos convencionales, fomentando la movilidad sustentable.

**7.7.d.** Elaborar un inventario de fuentes y demanda de energías renovables y no renovables, así como de sus emisiones, incorporando alternativas tecnológicas.

Evidentemente la principal motivación es desarrollar nuevas tecnologías que sean ambientalmente limpias no contaminantes pero no se puede dejar de lado el lograr también un estímulo para la Universidad ecuatoriana.

En referencia al Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 el presente proyecto estaría alineado con el objetivo 7, el numeral 7.7 y los párrafos 7.7.b. y 7.7.c. (Asamblea Constituyente, 2008)

#### **1.4. Aspectos teóricos elementales**

Se considerara toda la información teórica referente a todos los elementos que se encuentran inmersos en nuestra investigación los cuales nos ayudaran a conocer la realidad del sistema de distribución de la Central Latacunga de CNT E.P.

##### **1.4.1. Definición de Armónicos**

Según Velasco G, (2006) “se denominan armónicas a las ondas de tensión o de corriente cuyas frecuencias son varias veces mayor que la frecuencia fundamental de la red (60Hz en el Ecuador). Comprende frecuencias hasta un máximo de 2400 Hz”. (pág. 11)

##### **1.4.1.1. Armónicos en sistemas eléctricos de potencia**

Las armónicas son corrientes o voltajes que se presentan en los sistemas eléctricos, con una frecuencia de oscilación múltiplo de la frecuencia fundamental. En sistemas con frecuencia de 60 Hz, como el existente en el Ecuador, en el que se instalen cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz) y séptima (420 Hz) por ejemplo, según manifiesta (Tejada & Llamas Terrés, 2012).

Muchos de estos dispositivos utilizan fuentes convertidores de corriente alterna a corriente continua, que en esencia consisten en diodos rectificadores de onda completa que alimentan a un condensador conectado en paralelo con la carga. La continua carga y descarga del condensador provoca distorsiones en la forma de onda de la corriente presentando crestas puntiagudas ( Suárez, Di Mauro, Anaut, & Agüero, 2005).

Con el aumento de cargas no lineales (procedentes de la electrónica de potencia), se han empezado a tener algunos problemas en las instalaciones eléctricas debido a los efectos de las componentes armónicas de corrientes y voltajes en el sistema eléctrico.

#### **1.4.1.2. Armónicos en sistemas de telefonía**

Según el libro Sistemas de Telefonía de (José Manuel Huidobro Moya, 2006, pág. 390) manifiesta que los fabricantes de los equipos electrónicos conocen que han de cumplir una serie de estándares (especificaciones) con el fin de asegurar una seguridad y protección en los equipos de telefonía, como también la emisión con relación al envío de armónicos, normalmente hecho con fluctuaciones de voltaje, existen las siguientes normativas: EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, CISPR 22 clase B, que son normativas EUROPEAS.

#### **1.4.2. Indicadores Esenciales de la Distorsión Armónica**

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

#### **1.4.3. Factor de Cresta**

Por definición, el FACTOR DE CRESTA: es la razón del valor de pico de una onda a su valor eficaz (RMS). El factor de cresta para una onda senoidal es siempre  $\sqrt{2} = 1.41$ .

Un factor de cresta muy elevado implica sobre intensidades puntuales importantes, estas sobre intensidades, son detectadas por los dispositivos de protección, los cuales pueden ser el origen de desconexiones indeseadas, como también pueden provocar que los equipos pierdan la capacidad de operar con normalidad y den en ocasiones errores en su funcionamiento y exista el consumo de energía con lo cual provocaría gastos elevados para la empresa sin justificación alguna.

#### 1.4.4. Potencia Activa

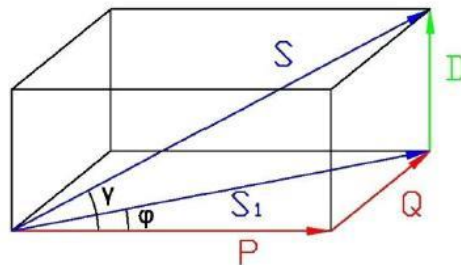
La potencia activa se define como aquella parte de la potencia aparente que se transfiere de la fuente a la carga y es consumida en ella, es decir, representa la potencia útil.

#### 1.4.5. Potencia Reactiva

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

#### 1.4.6. Potencia de Distorsión

Potencia de distorsión es cuando la instalación cuenta con cargas que producen armónicos, aparece una componente más a tener en cuenta en el cálculo de la potencia aparente se la conoce con la letra D. Lo que se concluye que actualmente esta potencia es la real medida por los analizadores, debido a las cargas no lineales, mismas que producen distorsiones armónicas de la red y a su vez inciden directamente en el factor de potencia. Según (Sierra, 2009, pág. 31)



**Figura 1.1:** Triángulo de Potencias de Distorsión.  
**Fuente:** Guía Técnica de Eficiencia energética eléctrica (Sierra, 2009, pág. 31)

### 1.4.6.1. Distorsión Armónica Total (THD)

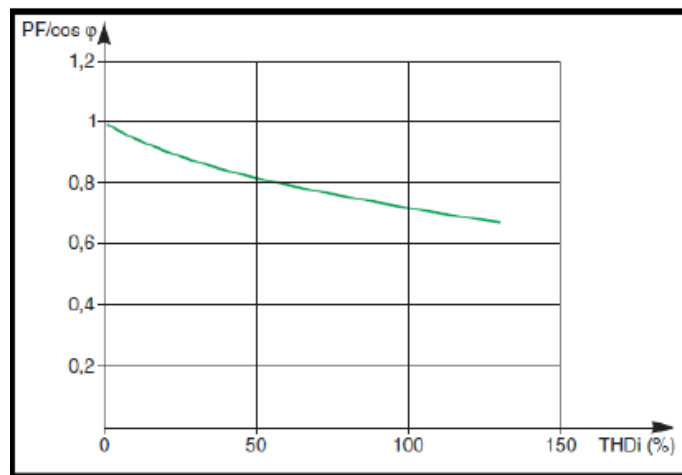
Por definición, la DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD) de una corriente o voltaje es igual al valor eficaz de todos los armónicos dividido entre el valor eficaz del fundamental. La tasa de distorsión armónica es frecuentemente utilizada para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

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

### 1.4.7. Factor de Potencia

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

Y la representación de  $FP/\cos\phi_1$  en función de THDi (figura 1.2)



**Figura 1.2:** Variación de  $FP/\cos\phi_1$  en función del THDi.

Fuente: Guía Técnica de Eficiencia energética eléctrica (Sierra, 2009, pág. 31)

### 1.4.8. Filtros de Armónicas

El desarrollo de la tecnología de control por medio del equipamiento electrónico de potencia controlado por tiristores, ha llevado a un aumento significativo de la cantidad de cargas no lineales en los sistemas eléctricos. Desafortunadamente los

convertidores y otras cargas no lineales, tienen efectos indeseables en el suministro de corriente alterna requiriendo una cantidad importante de potencia reactiva inductiva con una corriente no senoidal. Para que se encuentre libre de distorsión armónica para prevenir el funcionamiento inadecuado de los equipos. Una corriente típica de una carga no lineal está compuesta por una componente fundamental a la frecuencia de red y un número de armónicas cuyas frecuencias son múltiplos de estas (en redes trifásicas predominantemente 5°, 7°, 11° y 13°). Estas armónicas conducen a que la corriente en los capacitores se incremente en la medida que su impedancia desciende al aumentar la frecuencia.

La distorsión armónica en la red de corriente alterna puede ocasionar inconvenientes tales como:

- Exceso de corriente de capacitores y bancos de capacitores, con el consiguiente acortamiento de su vida útil.
- Disparo intempestivo de interruptores y otros equipos de protección.
- Actuación indebida de fusibles.
- Aumento de las pérdidas y mal aprovechamiento de la instalación.
- Sobrecalentamiento de motores y transformadores.
- Mal funcionamiento de computadores y otros equipos electrónicos de control y/o cargas sensibles.
- Interferencia con circuitos de iluminación, telefónicos y datos.
- Resonancia con otros componentes del sistema.
- Fallas en el aislamiento.

Básicamente, los equipos de filtrado permiten solucionar los inconvenientes encontrados en el análisis de nuestros circuitos de distribución, por lo cual es fundamental definir el tipo de equipo a instalar, por lo cual es necesario efectuar un minucioso estudio de armónicas, con mediciones de tensión y corriente, análisis mediante simulador y selección del equipo más adecuado. Como el circuito de filtrado absorbe parte o la totalidad de las armónicas generadas por las cargas no lineales, deberá ser adecuadamente diseñado.

Si el análisis de armónicos nos revela problemas potenciales (violación de los límites) se puede categorizar en dos posibles soluciones:

- a) Reducir las armónicas desde el punto de origen (antes que ingrese al sistema)
- b) El empleo de filtros para reducir las armónicas indeseables.

Existen algunos métodos para reducir armónicas en el punto de origen como por ejemplo la conexión de varios transformadores para cancelar las armónicas que son extremadamente dañinas para el sistema.

#### **1.4.9. Filtros Pasivos para componentes Armónicos**

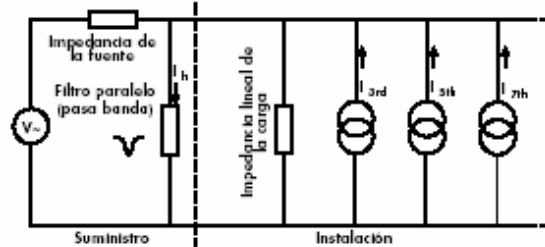
En forma general, todos los filtros pasivos para conexión en paralelo, se componen por un condensador C que proporciona la mayoría de la potencia reactiva del filtro, en serie a un circuito compuesto por inductancias, capacitancias y resistencias cuya impedancia es función de la frecuencia n.

##### **1.4.9.1. Filtros Shunt o Paralelos Pasivos**

Se emplean filtros pasivos para establecer un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas de forma que circulen por el filtro y no por la fuente de alimentación (figura 1.3). El filtro puede estar diseñado para un armónico determinado o para una banda ancha de armónicos, dependiendo de las exigencias del sistema. A veces es preciso desarrollar un filtro más complejo para aumentar la impedancia en serie a las frecuencias armónicas y así disminuir la parte de corriente que fluye hacia la fuente de alimentación. A veces se propone el empleo de filtros eliminadores de banda en serie, bien sobre la fase o en el neutro. Se coloca un filtro en serie para impedir el paso de las corrientes armónicas en lugar de establecer un camino controlado para ellas, con lo que se produce una gran caída de la tensión armónica a través de ellos. Esta tensión armónica aparece a través de la fuente de alimentación en el lado de la carga. Como la tensión de alimentación está muy distorsionada, ya no está dentro de los límites para los cuales está diseñado y garantizado el equipo. Algunos equipos son relativamente insensibles a esta filtros en



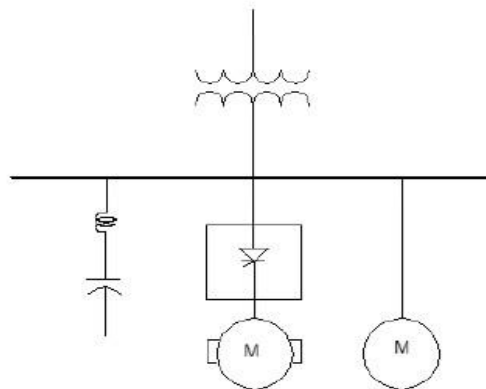
serie pueden ser muy útiles en ciertas circunstancias, pero deben utilizarse con cuidado, por lo que no pueden recomendarse como solución de aplicación general.



**Figura 1.3:** Filtro pasivo de armónicos en paralelo con la carga.  
**Fuente:** Guía Técnica de Eficiencia energética eléctrica (Sierra, 2009, pág. 31)

#### 1.4.9.2. Filtro Pasivo Sintonizado Simple

Estos filtros son pasivos y se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales con la finalidad de reducir el nivel de armónicos producido por las cargas no lineales, además de estos proporciona potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia. Cuando los filtros se instalan en el bus principal de distribución, su potencia total está conformada por grupos o pasos y son accionados por contactores de acuerdo al requerimiento de potencia reactiva del sistema ante una condición dada.



**Figura 1.4:** Conexión del filtro desintonizado en paralelo al bus de distribución del sistema.  
**Fuente:** Teoría y Diseño de filtros de armónicos en sistema eléctrico (Gers, 2008, pág. 90)

Se denomina frecuencia de sintonía o frecuencia de resonancia serie cuando la impedancia de filtro se hace cero, lo que permite que las corrientes de esa frecuencia fluyan en su totalidad a través de él. La frecuencia de sintonía debe ser inferior a la

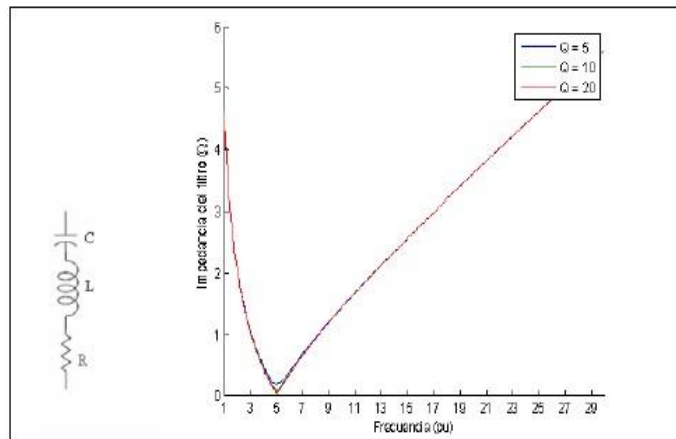
menor armónica dominante, para que atenúe a esta y a las de orden superior, comportándose el filtro como un elemento inductivo, por lo que las corrientes armónicas de mayor orden ya no estarán expuestas a condiciones de resonancia, reduciéndose la potencia distorsionante del sistema.

En los filtros sintonizados se debe considerar que la corriente está compuesta, por la corriente de la potencia reactiva fundamental y por la corriente distorsionante producida por las cargas no lineales. Este filtro es el más usado comúnmente en las aplicaciones industriales, el cual, representa muy baja impedancia al cambio de frecuencia. En este filtro se debe tomar en cuenta el crecimiento de las fuentes de corriente armónicas, porque si no, puede ser expuesto a sobrecargas, lo cual fácilmente puede producir un sobrecalentamiento externo e interno y causar un daño térmico.

Para diseñar un filtro pasivo sintonizado se requiere un conocimiento preciso de la carga de producción armónica y del sistema de potencia.

Los filtros pasivos siempre proveen compensación reactiva determinada por la capacidad y el voltaje usado en el banco de capacitores. En hecho pueden ser diseñados para el doble objetivo de provisión de acción filtradora y compensación del factor de potencia al nivel deseado.

Este filtro es una combinación serie de una inductancia y una capacitancia. En realidad, en la ausencia de un resistor diseñado físicamente, estará siempre una resistencia serie, la cual es la resistencia intrínseca del reactor serie, algunas veces usado como un punto para evitar sobrecalentamiento del filtro. Todas las corrientes armónicas cuya frecuencia coincide con la del filtro encontrarán un camino de baja impedancia a través del filtro. Aquí muestra una curva característica de este tipo de filtro. (Mora & Cevallos, 2014, pág. 55)



**Figura 1.5:** Filtro Sintonizado

**Fuente:** Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos (Mora & Cevallos, 2014, pág. 234)

**Tabla 1.1:** Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado

<b>Ventajas del Filtro Pasivo Sintonizado.</b>	
✓	Mejora el factor de potencia en el circuito secundario de baja voltaje lo que hace que mejore el sistema de distribución aguas arriba.
✓	Reducción de distorsión armónica de voltaje y corriente en circuitos de bajo voltaje
✓	Reducción de corriente de neutro causada por tercer armónico.
✓	Mejora de la regulación de voltaje en las redes de bajo voltaje
✓	Optimización de la capacidad de entrega de energía a un mayor número de usuarios por transformador
✓	Aumento de la vida útil del transformador y de equipos.
✓	Mejora la calidad de potencia de suministro en especial de la forma de onda de la señal de voltaje y regulación de voltaje
✓	Bajo costo de implementación.

**Fuente:** Guía Técnica de Eficiencia energética eléctrica

#### 1.4.10. Cálculo de Filtros Armónicos

Lo que se pretende establecer en este punto, es poder determinar mediante cálculos sugeridos a lo largo de este estudio los filtros de distorsión armónicas que se debe colocar a la entrada del sistema de distribución de la central además, de poder determinar el tipo de filtro armónico a utilizar. En la actualidad es imprescindible el uso de estos equipos ya que ayudan a mantener un sistema eléctrico más estable y con equipos con una mayor vida útil, ya que los armónicos en la actualidad son el

enemigo silencioso de los sistemas eléctricos. Según (Mora & Cevallos, 2014, págs. 105-111)

## 1.5. Operacionalización de Variables

### Variable Independiente.- Demanda eléctrica

**Tabla 1.2: Operacionalización de la variable independiente**

Variable independiente: Demanda Eléctrica					
Concepto	Categoría / Dimensión	Indicadores	Items	Técnica	Instrumentos
La demanda eléctrica es la energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos del mismo para mantener en funcionamiento el equipamiento en condiciones confortables.	Pérdidas de energía	Energía perdida en la red de distribución de bajo voltaje	Watios	Medición	Analizador de energía
		Energía perdida en la red de distribución de bajo voltaje a causa de la distorsión armónica de voltaje	Watios	Cálculos	Ecuaciones
	Portadores energéticos	Valor histórico de energía perdida en la red de bajo voltaje	Watios	Software	Base de datos
	Energía requerida	Potencia instalada por cocinas de inducción	Watios	Cálculos	Ecuaciones

Elaborado por: Diego Terán

### Variable Dependiente.- Calidad de Energía

**Tabla 1.3: Operacionalización de la variable dependiente**

Variable dependiente: Calidad de energía					
Concepto	Categoría / Dimensión	Indicadores	Items	Técnica	Instrumentos
La calidad de la energía eléctrica puede definirse como una ausencia de interrupciones, sobre tensiones y deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje RMS suministrado al usuario	Calidad del producto	Tensión	Voltios (V)	Medición	Analizador de energía
		Frecuencia	Hertz (Hz)	Medición	Analizador de energía
		Perturbaciones	Armonicos	Medición	Analizador de energía
			Factor de Potencia	Medición	Analizador de energía
			Flickers	Medición	Analizador de energía
	Calidad del suministro	Interrupciones	Sobretensiones	Software	Base de datos
	Calidad comercial	Presición de la medida	Voltaje, Corriente, Frecuencia	Cálculos	Ecuaciones

Elaborado por: Diego Terán

## CAPITULO 2 METODOLOGIA

### 2.1. Enfoque, nivel y alcance de la investigación

El alcance, enfoque y nivel de una investigación nos indica el resultado que se obtendrá a partir de los métodos y técnicas que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación.

#### 2.1.1. Paradigmas o enfoques epistemológicos

La investigación será de tipo experimental por lo cual se orientara por medio de un enfoque cuantitativo, ya que nuestro estudio se basara en recolectar datos, procesar y analizar datos cuantitativos (numéricos) sobre las variables previamente determinadas, que con ello probar nuestra hipótesis en base a simulaciones en programas eléctricos y análisis estadísticos, será de enfoque cualitativo ya que deberemos interpretar algunas cualidades de los procesos de telecomunicaciones.

#### 2.1.2. Nivel de investigación

Para definir el nivel de investigación a utilizarse en el presente proyecto de presenta una clasificación de 4 niveles, comenzando por un nivel básico hasta llegar a un nivel de mayor complejidad.

**Tabla 2.1:** Niveles de Investigación

NIVELES DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
<b>EXPLORATORIO</b>	Pone al investigador en contacto con la realidad, observación preliminar del área, elementos y relaciones del objeto de estudio. Conocimiento superficial.
<b>DESCRIPTIVO</b>	Conocimiento detallado de los rasgos externos del problema, se interesa por describir, no le preocupa explicar.
<b>CORRELACIONAL</b>	Permite identificar asociaciones entre variables y establecer relaciones estadísticas.
<b>EXPLICATIVO</b>	Comprueba experimentalmente una hipótesis. Detecta los factores que determinan ciertos comportamientos. (Variables con otras variables)

**Fuente:** Ing. Mg Sc. Paulina Freire Andrade

Para emprender el tema de cómo influye el proceso de telefonía e internet en el consumo de energía en la Central Latacunga de CNT E.P. se segmentará tal como se contemplan en los objetivos específicos de observar la realidad actual de la empresa, entonces se elaborará un análisis haciendo uso de un primer nivel exploratorio, se describirá detalladamente los rasgos del problema por lo que también se usará el método descriptivo, el método correlacional estará también presente ya que obligatoriamente se asociarán la variable independiente y dependiente y como se planteará una hipótesis que debe ser comprobada se culmina con el nivel explicativo de investigación.

Inmediatamente se realizarán tareas para la obtención de información mediante formatos de verificación, con ello se empezará del método de observación y también se diseñara un marco teórico para hacer uso del mismo en el análisis del problema en el cual se utilizará los métodos deductivo y analítico.

### **2.1.3. Alcance de la investigación**

El aporte que se pretende es desarrollar una propuesta para mejorar la calidad de energía en la Central Telefónica Latacunga de la CNT E.P., usando la regulación del CONELEC N° 004/01, con la finalidad de disminuir los costos de consumo de energía, originado por las fluctuaciones de las cargas en la red.

Para la implementación cabe destacar que los equipos de telefonía e internet que se encuentran en la Central Latacunga CNT E.P., se encuentran por migrarse ya que existe un alto índice de equipos de anteriores tecnologías que se encuentran conectados los cuales provocan el alto consumo de energía, por lo que se propondrá el cambio de nuevos sistemas híbridos de telefonía e internet, en base al diagnóstico que vamos a aplicar en la Central Latacunga de la CNT E.P.

Para lo cual se hará énfasis en la inclusión y el comprometimiento de las autoridades de la empresa CNT E.P. para que exista el cambio y seguimiento a la propuesta de implementación.

## **2.2. Métodos, Procedimientos y Técnicas**

Es preciso definir el tipo y modalidad de investigación a realizar, es decir el modelo de estudio que se llevará a cabo con la finalidad de recoger los fundamentos necesarios de la investigación. En relación a lo anterior el presente estudio, se enfocará dentro de la modalidad de proyecto factible, que según el Manual de trabajo de grado de especialización, Maestría y tesis doctorales de la Universidad Experimental Libertador (Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2005) se define de la siguiente manera:

La modalidad de proyecto factible, consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de la organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. (Manual UPEL, 2010, pág.16)

De acuerdo a lo anterior, la investigación se desarrollará bajo la modalidad de proyecto factible, ya que se enfocará en la presentación de una propuesta de implementación de un sistema energético para la red de distribución de la Central Latacunga de CNT E.P., que de una manera técnica y económica factible, solucione el problema de pérdida de energía originada por el incremento del nivel de armónicos a causa de la instalación de equipos de telecomunicaciones como cargas en la red.

Adicionalmente, este trabajo se apoyará de una investigación de campo, que según (Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2005, pág. 14) se define como:

La investigación de campo es el análisis sistemático de problemas en la realidad con el propósito, bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o producir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquier paradigma o enfoques de investigaciones conocidas o en desarrollo.

Por tanto, en la investigación se observará de los datos de la realidad, sin que hayan sido manipulados en ningún momento, se verificarán valores de las mediciones históricas de calidad de energía realizadas por la Empresa en años anteriores, para luego analizar, verificar con los actuales e interpretar los resultados obtenidos.

En lo relacionado al tipo de investigación que se desarrollará, el trabajo llegará al tipo de investigación explicativa, la misma que de acuerdo a (Fidias G, 2006) se define como:

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos, mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido los estudios explicativos pueden ocuparse tanto en la determinación de las causas (investigación prefacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

Lo anterior se aplica al trabajo a desarrollar, ya que se ha previsto que al concluir la investigación, se logre explicar la relación que existe entre las pérdidas de energía y el incremento del nivel de armónicos originado por la instalación de equipos de telecomunicaciones en la red de distribución; y llegar a la comprobación de la hipótesis planteada, asimismo los resultados de la investigación se enmarcarán en proponer un sistema energético para eliminar pérdidas en la red.

Para la recolección de información se realizarán mediciones en el transformador de distribución de acuerdo a lo estipulado en la Resolución N° CONELEC 004/01, (Directorio del Consejo Nacional de Electricidad, 2001), en la cual se especifica que: se realizará un registro de los parámetros de  $V_i$ : factor de distorsión armónica individual de voltaje y THD: factor de distorsión total por armónicos; en el punto de medición (transformadores de distribución en los bornes de bajo voltaje). Simultáneamente con este registro se deberá medir la energía entregada a efectos de conocer la que resulta suministrada en malas condiciones de calidad. En cada punto de medición, 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.

### 2.3. Técnicas e instrumentos

Acerca de las características de una hipótesis que: “Las hipótesis deben estar relacionadas con técnicas disponibles para probarlas. Este requisito está estrechamente relacionado con el anterior y se refiere a que al formular una hipótesis, tenemos que analizar si existen técnicas o herramientas de la investigación (instrumentos para recolectar datos, diseños, análisis estadísticos o cualitativos, etc.), para poder verificarla, si es posible desarrollarlas y si se encuentran a nuestro alcance. Se puede dar el caso de que existan dichas técnicas pero que por ciertas razones no tengamos acceso a ellas.” (Hernández Roberto, 1997, pág. 82)

Como se planteó en el objetivo general y en los objetivos específicos se requiere determinar las pérdidas de energía en el proceso de telecomunicaciones es decir se necesitará medir consumos de energía eléctrica y de insumos como las tarjetas electrónicas de potencia de los equipos de telefonía e internet.

Las principales técnicas que se manejarán en la investigación son la observación, la investigación bibliográfica, las mediciones y la utilización softwares propios del sistema de transmisión, cada una con sus respectivos instrumentos.

**Tabla 2.2:** Técnicas e instrumentos

<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Observación	Fichas de Observación (Matrices de parámetros de equipos)
Investigación bibliográfica	Análisis de textos Análisis de artículos Manuales técnicos de equipos y elementos
Medición	Multímetro Frecuencímetro Potenciómetros Analizador de energía
Software	Gestión Huawei Gestión ALCATEL
Cálculos	Ecuaciones de criterio de Trabajo y energía, conservación de la energía, ecuación de eficiencia entrada/salida

**Elaborado por:** Terán Diego

## **2.4. Equipo requerido en las subestaciones para la regulación de calidad de energía**

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

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

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

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

### **2.4.1. Equipos de medición**

Los parámetros eléctricos que medirá el equipo dependerán de la información que se requiera conocer de la subestación, así por ejemplo, en el caso de los equipos de medición de calidad a nivel de transmisión en nuestro país, estos deben permitir medir los parámetros y registrar los intervalos de medición establecidos en la Regulación de Calidad No. CONELEC 004/01: voltaje, armónicos de voltaje y corriente, desbalance de voltaje y factor de potencia de la carga; adicionalmente, se debe contar con equipos registradores de eventos. Los requerimientos mínimos solicitados por CONELEC para los equipos de medición son los siguientes (Transelectric 2003):

- Deben ser del tipo digital, provisto de una pantalla iluminada de un tamaño que permita una lectura clara del texto que aparezca en pantalla colocándose en frente del instrumento, teclas que permitan el movimiento a las diferentes pantallas gráficas disponibles, conector serial para enlace con un computador portátil que permitirá la configuración de estos instrumentos.

- Deben poder comunicarse con el sistema digital de automatización y control distribuido de la subestación, con un protocolo que deberá ser aprobado por CONELEC y/o poder integrar una red de gestión de medición a través de direccionamiento TCP - IP.
- Deben incluir un paquete completo de software para el manejo de las funciones habilitadas en el instrumento, así como también, las licencias de uso del programa o programas utilizados.
- La clase de precisión de los instrumentos debe ser igual o superar a la clase de los transformadores de instrumentos utilizados (clase 0.2).

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

- Medir valores de THDV, de acuerdo con el Estándar IEEE 519 (1992), para el barraje.
- Medir la relación entre el voltaje de secuencia negativa y el voltaje de secuencia positiva para el barraje.
- Medir hundimientos (sags) y picos (swells), de acuerdo con el Estándar IEC 61000-4-30 (2003-02).
- Medir la continuidad del servicio (frecuencia y duración de interrupciones superiores a un minuto).
- Medir la desviación estacionaria de la tensión  $V_{rms}$  (duración superior a 1 minuto) por debajo o por encima de la permitida en la regulación 004/01.
- Medir el indicador PST de Compatibilidad Electromagnética de Equipos - EMC para interferencias, de acuerdo con el Estándar IEC-61000-4-15 (2003-02), o al menos permitir descargar, en medio magnético, información digital de la forma de onda del voltaje, para ser procesada en otra parte del sistema, con una velocidad de muestreo mínima de 1024 muestras por segundo. (EMC - Se define como la capacidad de un equipo para operar en el ambiente para el cual ha sido diseñado, sin producir perturbaciones o ser perturbado por otros equipos existentes en el ambiente.)

- Contar con un sistema de procesamiento de datos capaz de realizar descargas automáticas de información, de estas medidas, en medio magnético, desde cada equipo del MCP.

## **MEDIDOR DE CALIDAD DE ENERGÍA.**

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

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

### **2.4.2. Características técnicas del equipamiento.**

#### **a. Requisitos de los instrumentos.**

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

- **Exactitud:** El instrumento debe realizar la medida de un componente armónico (de estado estacionario) constante con un error compatible con los límites permitidos. Es razonable utilizar un instrumento con una incertidumbre no más en gran parte el que 5% del límite permitido.
- **Selectividad:** indica la habilidad del instrumento para separar las componentes armónicas de diferentes frecuencias. Una manera práctica de asegurar buena selectividad es definir los requisitos para la atenuación mínima de una frecuencia inyectada, mientras que en el instrumento se fija una la frecuencia de 60 hertzios.

- **Promedio o barrido rápido:** si los armónicos medidos varían en el tiempo es necesario suavizar las componentes. El instrumento debe tener un ancho de banda constante para todo el rango de frecuencias, de acuerdo con la norma.
- **Mediciones de corriente armónica en transformadores de corriente:** para mediciones de corrientes armónicas en el rango de frecuencia hasta 10kHz, los transformadores de corriente utilizados para medición y protección tienen una exactitud dentro del 3 %.
- **Bobinas exploradoras:** tensión inducida por campo magnético.
- **Bobinas de Rogowski o acoplamiento Maxwell:** Estos dispositivos son las bobinas que enrollan en los ejes plásticos flexibles para que puedan ser utilizados como pinza en los dispositivos. No tienen ninguna base metálica, de modo que se evitan los problemas de saturación en la presencia de corrientes alternas grandes, como alimentación 60 a 100 kA a una central telefónica, o las corrientes directas.
- **Mediciones de voltaje armónico en transformadores de tensión inductivos:** Están diseñados para operar a frecuencia fundamental. La frecuencia de resonancia armónica entre la inductancia y la capacidad de los devanados puede causar grandes errores en la relación de transformación y en la fase. Para armónicos de frecuencias menores a 5 kHz, la exactitud de la mayoría de PT's está dentro del 3 %, la cual es satisfactoria.
- **Para transformadores de tensión capacitivos:** no pueden ser utilizados para mediciones de tensiones armónicas, porque la frecuencia de resonancia más baja aparece a frecuencias menores a 200 Hz.
- **En divisores de tensión capacitivos:** Estos dispositivos tienen un límite en la carga, que ellos pueden suministrar sin saturación; por ello se requiere un amplificador de alta impedancia.

**b. Características de medición de equipos clase A y clase B en base a la NORMA IEC 61000-4-30.**

- La norma IEC 61000-4-30 da las características sobre la medición que tienen los instrumentos de clase A y B. Según los parámetros de la calidad de la

potencia de la regulación 003/08, a continuación se hace una comparación entre los instrumentos de clase A y los instrumentos de clase B.

### **Magnitud de Voltaje:**

#### **Para clase A**

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

#### **Para clase B**

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

### **Desbalance de voltajes:**

#### **Para clase A**

- Consiste en usar el método de componentes simétricas. De la relación entre la componente de secuencia negativa y la componente de secuencia positiva; expresada por un porcentaje.
- Para un contador de energía clase A; al encontrarse en estado balanceado, con un voltaje de entrada del 1 al 5%, se tiene una incertidumbre en la variación de voltaje de  $\mu = +/- 0.2\%$  en la señal de salida.
- En condición de desbalance se tiene una lectura de  $0.8\% < x < 1.2\%$

#### **Para clase B**

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

**Contenido armónico:**

**Para clase A y B**

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

**Frecuencia:**

**Para clase A**

- Debe haber un conteo del número de ciclos de la onda fundamental de voltaje en un periodo de 10s.
- Toda la medición debe de ser sincronizada al pasar por cero.
- La incertidumbre de medición  $f$  no será superior a  $\pm 0,01$  Hz.

**Para clase B**

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

**c. Requerimiento del monitoreo con un instrumento de clase A**

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

- El tiempo de incertidumbre debe de ser  $< 20$  ms.
- Toda la medición debe ser sincronizada al cruzar por cero.
- La medición de dips o swells, se la puede realizar en medio ciclo. (Por lo cual es necesario un adecuado medio de comunicación digital).
- Espacio y memoria necesaria para un continuo FFT (Fast Fourier Transform) requerido para armónicos.
- Alta resolución, necesaria para inter armónicos y señales principales.

- Flexibilidad necesaria ante cambios rápidos de voltaje. (Por ello es necesario un sistema que siga modificaciones ante el desarrollo de las normas).
- Se debe monitorear armónicos de corriente.
- Se debe capturar la forma de onda de corriente para determinar la localización de fallas a través de un análisis, sea este con la forma de onda capturada o con la gráfica de sus fasores.
- Un dispositivo de clase A, en caso de transitorios puede capturar sobre las 1024 muestras/segundo.
- Los Instrumentos de clase A, producen el mismo resultado cuando son expuestos a la misma señal, sin la utilización en el monitoreo con clase A, no hay garantía de una buena y correcta medición.

Se utilizara para detectar estos factores y otros la Regulación No. CONELEC – 004/01, la cual se encuentra en el Anexo 1.

### 2.4.3. Equipo FLUKE 345

#### a. Medidor de parámetros de calidad

El equipo que se utilizó para cada una de las mediciones presentes en este Estudio de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto es el analizador de energía FLUKE 345 es un analizador de Energía que puede ser utilizado para determinar calidad de energía en conformidad con los estándares aplicables del CONELEC.



**Figura 2. 1:** Analizador de Energía FLUKE 345  
**Fuente:** [www.fluke.com](http://www.fluke.com)



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

A continuación se describen las características del equipo de medición de calidad FLUKE 345 instalado en la Central Latacunga CNT E.P.:

- El FLUKE 345 mide y registra variables relacionadas de manera simultánea en bajo voltaje (hasta 660 Voltios), por lo que es necesario que las pinzas de tensión se les conecte en los respectivos TP de los puntos de prueba asignados dentro de la construcción de los tableros de control.
- Posee 8 canales de entrada, 4 de corriente y 4 de voltaje aunque se pueden utilizar todas para medición de voltajes. Cada una de estos canales posee una velocidad de hasta 10 MHz
- El programa tiene una capacidad de memoria de 8 MB en un flash EPROM interna dentro del analizador, lo que le posibilita registros de larga duración. En caso de que exista una falla en la alimentación, un acumulador incorporado de níquel metal - hidruro proporciona energía hasta de 5 minutos.
- Utiliza las normas EN 50160 compliance monitoring, IEC 61000-4-7 harmonics & inter-harmonics, IEC 61000-4-15 flicker, CBEMA/ITIC, IEEE 519 and IEEE 1159.
- Tiene un puerto RS-232 con protocolos: DNP 3.0, Modbus RTU, ModemGate o Modbus Master; a una velocidad de 300 bps a 115.200 bps. Además tiene compatibilidad con GPS y EtherGate.

Todos estos lineamientos y características se deben cumplir mediante la certificación de calibración de los equipos a ser utilizados para lo cual se debe adjuntar la certificación como la que presentamos en el Anexo 2, de la misma manera se debe presentar las características de las sondas empleadas para la adquisición de datos como presentamos en el Anexo 3.

## **2.5. Métodos de cálculo de parámetros eléctricos**

## Calculo de corriente de cortocircuito del transformador

$$I_{CC} = \frac{1}{x_{p\mu}} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

## Potencia del Transformador

$$S = \sqrt{3} * V * I_L \quad \text{Ecuación 1.2}$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3}*V} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

De esto tenemos que para la corriente de cortocircuito de cada fase, teniendo que aplicar la siguiente ecuación:

$$I_{Lp\mu} = \frac{I_{max}}{I_L} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Por lo cual el factor  $\alpha$  se deberá calcular en base a la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{I_{CC}}{I_L} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Por lo cual se deberá calcular el porcentaje del factor  $\alpha$  total del sistema

$$\alpha = \frac{I_{CC}*100}{I_L} \%$$

### 2.5.1. Factor de Cresta

Para el cálculo del factor de cresta utilizaremos las siguientes formulas:

$$k = \frac{I_{max}}{I_{rms_t}} \quad \text{Ecuación 1.6}$$

$$k = \frac{V_{max}}{V_{rms_t}} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

Dónde:

$k$  = Factor de cresta.

$I_{max}$  = Corriente máxima o pico [A]

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

$V_{max}$  = Voltaje máximo o pico [V]

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

Del factor de cresta para una onda senoidal es siempre  $\sqrt{2} = 1.41$ , en donde un factor de cresta muy elevado implica sobre intensidades puntuales importantes.

### 2.5.2. Potencia Activa

La potencia activa se calculara, mediante la formula.

$$P = V * I * \cos \phi \quad \text{Ecuación 1.8}$$

Dónde:

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

$V$  = Voltaje eficaz. [V]

$I$  = Corriente eficaz [A]

$\phi$  = Ángulo de desfase entre la corriente y voltaje eficaz [° Grados]

### 2.5.3. Potencia Reactiva

La potencia reactiva se la calcula utilizando la fórmula:

$$Q = V * I * \sen \phi \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Dónde:

$Q$  = Potencia reactiva [VAR]

$V$  = Voltaje eficaz [V]

$I$  = Corriente eficaz [A]

$\phi$  = Ángulo de desfase entre la corriente y voltaje eficaz [° Grados]

### 2.5.4. Potencia de Distorsión

Potencia de distorsión se calculara mediante la formula:

$$D = V_1 \times I_D \quad \text{Ecuación 1.10}$$

Dónde:

**D** = Potencia de distorsión

**V<sub>1</sub>** = Voltaje de la red

**I<sub>D</sub>** = Corriente distorsionada

#### 2.5.4.1. Distorsión Armónica Total (THD)

De acuerdo con la norma, generalmente se debe calcular tanto para corriente como para voltaje.

##### a) Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi).

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

$$(\%)THDi = \frac{1}{I_1} * \sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} I_h^2} * 100\% \quad \text{Ecuación 1.11}$$

Dónde:

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

**I<sub>h</sub>** = Corriente eficaz de la armónica h [A]

**I<sub>1</sub>** = Corriente eficaz de la fundamental [A]

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

$$THDi = \sqrt{\left(\frac{I_{rms_t}}{I_1}\right)^2 - 1} \quad \text{Ecuación 1.12}$$

Dónde:

**THDi** = Distorsión Armónica Total de corriente.

**I<sub>rms<sub>t</sub></sub>** = Corriente eficaz (rms) total [A]

b) **Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD<sub>v</sub>).**

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

$$(\%)THD_v = \frac{1}{V_1} * \sqrt{\sum_{h=2}^{h=50} V_h^2} * 100\% \quad \text{Ecuación 1.13}$$

Dónde:

(%)**THD<sub>v</sub>** = Distorsión Armónica Total de voltaje [%].

**V<sub>h</sub>** = Voltaje eficaz de la armónica h [V]

**V<sub>1</sub>** = Voltaje eficaz de la fundamental [V]

### 2.5.5. Factor de Potencia

Usualmente se tiende a pensar que el factor de potencia **FP** y el coseno de fi (**cosθ**) por lo cual calcularemos de la siguiente manera utilizando la relación entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación 1.14}$$

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

$$FP = \cos\theta \quad \text{Ecuación 1.15}$$

Dónde:

**FP** = Factor de potencia

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

**S** =Potencia Aparente. [VA]

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

Y la representación de **FP/cosφ<sub>1</sub>** en función de THDi (figura 1.2)

$$FP/\cos\phi_1 = f(THD_i) \quad \text{Ecuación 1.16}$$

### 2.5.6. Filtros de Armónicas

El cálculo de filtros para armónicas es una parte esencial para la corrección de muchos de los factores que afectan a los sistemas de distribución por lo cual es de suma importancia calcular las componentes fundamentales a la frecuencia de red y un número de armónicas cuyas frecuencias son múltiplos de estas (en redes trifásicas predominantemente 5°, 7°, 11° y 13°). Estas armónicas conducen a que la corriente en los capacitores se incremente en la medida que su impedancia desciende al aumentar la frecuencia, con la cual por medio de los cálculos efectuados se deberá escoger la mejor alternativa para el diseño de filtros para armónicas así tenemos:

### 2.5.7. Calculo de Filtros Armónicos

Lo que se pretende establecer en este punto, es poder determinar mediante cálculos por lo cual utilizaremos varias fórmulas.

Para calcular la potencia reactiva que se necesita para compensar el sistema:

$$Q_{eff} = (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) * P \quad \text{Ecuación 1.17}$$

Dónde:

$\theta_1$  = Angulo del factor de potencial actual

$\theta_2$  = Angulo del factor de potencial deseado

Se calcula la reactancia efectiva del filtro

$$X_{eff} = \frac{V_{LL}^2}{Q_{eff}} \quad \text{Ecuación 1.18}$$

Teniendo identificada la armónica que se desea filtrar, se debe de considerar un porcentaje menor de la frecuencia de sintonía, en este proyecto se manejara el 6% menor de la frecuencia de sintonía para los cálculos a realizar

$$X_c = \frac{(h*0,6)^2}{(h*0,6)^2-1} * X_{eff} \quad \text{Ecuación 1.19}$$

$$h = \frac{F_{fundamental}}{F_{armónico}} \quad \text{Ecuación 1.20}$$

Realizamos el cálculo del capacitor, su unidad de medida es el faradio

$$C = \frac{1}{2\pi F X_c} \quad \text{Ecuación 1.21}$$

Para sacar valores de impedancia, nos remitimos a la ecuación que se muestra a continuación:

$$Z = R + j \left[ \omega L - \frac{1}{\omega C} \right] \quad \text{Ecuación 1.22}$$

Donde R, L, C son la resistencia, inductancia y capacitancia de los elementos del filtro, respectivamente, y  $\omega$  es la frecuencia angular del sistema de potencia. Si necesitamos XL:

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} \quad \text{Ecuación 1.23}$$

Para el cálculo del inductor, expresado en henrios:

$$L = \frac{X_L}{2\pi F} \quad \text{Ecuación 1.24}$$

### 2.5.8. Cálculo del Factor de Calidad

Dentro del análisis de los filtros pasivos sintonizados, un parámetro muy importante es el factor de calidad, por lo cual deberemos calcular varios parámetros como:

#### Resistencia de un filtro

El cálculo de la resistencia de un filtro está dado por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{X_L * h * 0,6}{Q_f} \quad \text{Ecuación 1.25}$$

Dónde:

**h** = es el orden armónico a que se encuentra.

**6%** = es el porcentaje en que debe disminuirse el valor del orden armónico para evitar resonancia

**$Q_f$**  = Factor de calidad

**Potencia reactiva del filtro (frecuencia fundamental):**

$$k_{var\ filtro} = \frac{V_i^2 l - l}{X_C - X_L} \quad \text{Ecuación 1.26}$$

**Comprobación del diseño del Filtro que establece la Norma IEEE-18 2002**

**Sintonización a la frecuencia:**

Para que el filtro se sintonice a la frecuencia requerida se debe cumplir la siguiente condición.

$$X_C = X_L \quad \text{Ecuación 1.27}$$

**Corrientes armónicas**

Para comprobar que el filtro no vaya a sufrir daño por posibles sobre corrientes debido a la presencia de corrientes armónicas, se procede a corroborar que no rebase un 1.35% de la corriente fundamental

$$I_{fund} = \frac{V_{LL\ sistema}}{\sqrt{3} (X_C - X_L)} \quad \text{Ecuación 1.28}$$

Para el cálculo de las corrientes armónicas inyectadas por la carga no lineal se usa el porcentaje de la corriente fundamental

$$I_h = \% * I_{fundamental} \quad \text{Ecuación 1.29}$$

Dónde:

**h** = armónica inyectada por la carga no lineal

**%** = porcentaje de la corriente armónica con respecto a la fundamental, obtenido del espectro armónico de corriente de la carga no lineal, proporcionado como dato de sistema.

Si observamos la ecuación que sigue nos da la corriente total que circula por el filtro, la cual viene dada por:

$$I_{total\ rms} = \sqrt{I_h^2 + \dots + I_n^2} \quad \text{Ecuación 1.30}$$

Dónde:



**h** = armónica inyectada por la carga no lineal  
**n** = Numero armónicas inyectadas por la carga no lineal

$$\%_{\text{margen de corriente}} = \frac{I_{\text{total rms}}}{I_{\text{fund}}} * 100\% \leq 135\% * I_{\text{fund}} \quad \text{Ecuación 1.31}$$

### **Voltajes de Diseño del Capacitor.**

Como siguiente paso está el cálculo del voltaje a frecuencia fundamental, además de los voltajes provocadas por los armónicos. El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120% del voltaje pico del sistema.

$$V_c = I_{\text{fund}} * X_C \quad \text{Ecuación 1.32}$$

$$V_c(h) = \sum_h^n (V(h)) = \sum_h^n \left( I(h) * \frac{X_C}{n} \right) \quad \text{Ecuación 1.33}$$

$$V_{CL-N \text{ total pico}} = \sqrt{2} (V_c + V_{c(h)}) \quad \text{Ecuación 1.34}$$

$$V_{CL-N \text{ pico sistema}} = \sqrt{2} * V_{L-N \text{ sistema}} \quad \text{Ecuación 1.35}$$

$$V_{L-N \text{ sistema}} = \frac{V_{LL \text{ sistema}}}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 1.36}$$

La verificación de la norma se realiza por medio de la ecuación

$$\frac{V_{CL-N \text{ total pico}}}{V_{CL-N \text{ pico sistema}}} * 100 \leq 120\% \quad \text{Ecuación 1.37}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema.

$$V_{CL-N \text{ total rms}} = \sqrt{(V_{c1})^2 + (V_{c5})^2 + (V_{c7})^2 + (V_{c11})^2 + (V_{c13})^2} \quad \text{Ecuación 1.38}$$

### **VERIFICACIÓN DE LA NORMA**

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{V_{CL-N \text{ total rms}}}{V_{CL-N \text{ rms sistema}}} * 100\% \leq 110\% \quad \text{Ecuación 1.39}$$

### SE CUMPLE\_ DENTRO DE LA NORMA

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro.

$$Q_{3\phi} \text{recalculado} = \frac{(V_{CL-N \text{ total rms}})^2}{X_c} * 3 \quad \text{Ecuación 1.40}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = \frac{Q_{3\phi} \text{recalculado}}{Q_{3\phi}} * 100\% \leq 135\% \quad \text{Ecuación 1.41}$$

### CALENTAMIENTO DEL DIELECTRICO.

$$\Sigma \downarrow h = (V(h) * I(h)) \square \leq 1,35Q_{3\phi} \quad \text{Ecuación 1.42}$$

$$\text{Perdidas totales} = \text{Perdidas Iniciales} - \text{Perdidas Finales} \quad \text{Ecuación 1.43}$$

### Calculo de las pérdidas de energía.

$$\text{Perdidas de Energía} = \text{Perdidas en valor kW} * \text{dias} * \text{horas} \quad \text{Ecuación 1.44}$$

$$\# \text{ de horas de carga equivalentes (EH)} = \frac{\text{Energía total consumidas en un periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}} \quad \text{Ecuación 1.45}$$

$$\text{Perdidas de energía} = \text{Perdidas totales en kW} * \text{semanas} * \text{horas} \quad \text{Ecuación 1.46}$$

$$\text{Costo perdidas}_{07H00-22H00} = \text{Costo perdidas}_{07H00-22H00} + \text{Costo perdidas}_{22H00-07H00} \quad \text{Ecuación 1.47}$$

## **CAPITULO 3**

### **DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MEDICIONES**

#### **3.1. Análisis de la calidad del servicio eléctrico de la Central Latacunga CNT E.P.**

En el presente capítulo se presenta como se encuentra el sistema de distribución de la Central Latacunga CNT E.P. en la cual se desarrollaran de las mediciones de este trabajo de investigación en lo relacionado con la Regulación No. CONELEC 004/01, en lo referente a la calidad de los parámetros de energía en sus alimentadores secundarios directos de los equipos de transformación.

De manera general los grandes consumidores del país tienen en su mayoría déficit en el cumplimiento de las mediciones de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, lo cual permite priorizar dicho estudio a fin de cumplir con los requerimientos establecidos por el CONELEC, como es el caso de la Central Latacunga CNT E.P.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P. está dedicada a la prestación de servicios de telecomunicaciones como telefonía, internet y datos. Para los procesos de telecomunicaciones utiliza rectificadores de tensión y sistemas de enfriamiento que son las mayores cargas de la empresa que se considera que son las generadoras de problemas hacia el sistema eléctrico.

El principal problema que presenta la empresa y por lo que se decide realizar un estudio técnico sobre la misma es la penalización por bajo factor de potencia y la presencia de armónicos que afectan en el servicio que presta, como además los costos elevados que mensualmente factura la empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi ELEPCO S.A., que dichos valores genera mes a mes un gasto excesivo por lo que causa preocupación al ser una empresa pública. En el Anexo 4 se presentan las características del transformador que alimenta el sistema de distribución de la empresa, de igual manera en el Anexo 5 podremos visualizar el sistema unifilar de distribución para los diferentes sistemas que cuenta la Central Latacunga CNT E.P.

### **3.2. Montaje del equipo**

Para determinar la calidad del servicio (producto) de nuestro objeto de estudio, se utilizó el equipo analizador de redes para la medición de la calidad de energía, durante un período de siete días, tomando muestras cada diez minutos, conforme lo establecido en la Regulación 004/01 emitida por el CONELEC; el equipo instalado en el tablero principal se muestran a continuación:

#### **1. Fluke 435, serie N° 18701105**

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

Con la finalidad de obtener mejores resultados en las mediciones, contando con el apoyo del personal técnico del área de Energía y Climatización que labora en la CNT E.P se procedió a realizar un estudio primario acerca de diseño de la Central, con lo cual podríamos realizar el análisis, con lo que nos permitirá determinar los posibles inconvenientes que se deben a las cargas conectadas a los tableros de distribución.

### **3.3. Localización de puntos de medición y uso del equipo de medición**

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

#### **3.3.1. Puntos de Medición**

Para el estudio de Calidad de Energía en la Central Latacunga CNT E.P., acerca de la Calidad del Producto se analizó: nivel de voltaje, nivel de corriente, perturbaciones de voltaje (Flicker, armónicos de voltaje), factor de potencia para cada una de las fases.

En el tablero de distribución principal de la central se presentan las siguientes características:

- 1 Transformador de potencia nominal de 100 KVA (Principal)
- 2 Generadores de Alimentadores de voltaje a 220V

El siguiente estudio cumple con los requerimientos para un estudio de Calidad de Energía del Servicio Eléctrico de Distribución acerca de la Calidad del Producto dentro de la Central Latacunga CNT E.P., conociendo que se realizaron todas las mediciones estipuladas. Para los puntos de medición se establecieron en las entradas al tablero principal, de esta manera se logra adquirir una muestra adecuada, que permita recabar información de cada uno de los puntos de la Central.

La CNT E.P. ha empezado a cumplir en casi en su totalidad con la Regulación en la mediciones dentro de sus instalaciones con la limitación de que no cuenta con la infraestructura adecuada y los equipos necesarios para llevar a cabo con los requerimientos del ente regulador, por lo que se ha visto que en reiteradas ocasiones obtenga llamados de atención por dichos incumplimientos.

El motivo de realizar el estudio es debido a que dentro de la distribución eléctrica existe un gran número de equipos instalados de telecomunicaciones los cuales son de tipo industrial y económico, por lo cual no se lleva un correcto balanceo de las cargas en las fases.

Es importante que se conozca los diagramas unifilares y distribución de cargas dentro de cada uno de los tableros de distribución de la Central.

### **3.4. Cálculo de corriente de cortocircuito del transformador**

Utilizando la ecuación 1.1 se calculará la corriente de cortocircuito del transformador que alimenta al sistema de distribución de la Central Latacunga de CNT E.P. por lo cual deberemos conocer los parámetros iniciales, cuando el  $\%X = 3,5$

$$I_{CC} = 28,57 A$$

### Potencia del Transformador

Nos será de gran utilidad también conocer la potencia, para ello deberemos calcular primeramente la corriente de línea para ello usaremos la ecuación 1.3.

Teniendo como datos:

$$S = 100 KVA$$

$$V = 220 V$$

Reemplazamos en la ecuación

$$I_L = 262,43 A$$

De esto tenemos que para la corriente de cortocircuito de cada fase, teniendo que aplicar la ecuación 1.4, en la cual reemplazamos para cada fase tendremos:

**Tabla 3.1: Calculo de Corriente de Cortocircuito**

Fase A	Fase B	Fase C
$I_{Lp\mu} = 0,151 A$	$I_{Lp\mu} = 0,311 A$	$I_{Lp\mu} = 0,292 A$

Elaborado por: Diego Terán

Por lo cual el factor  $\alpha$  se deberá calcular en base a la ecuación 1.5, obteniendo para cada fase tendremos

**Tabla 3.2: Calculo del Factor  $\alpha$**

Fase A	Fase B	Fase C
$\alpha = 189,20$	$\alpha = 91,86$	$\alpha = 97,84$

Elaborado por: Diego Terán

Por lo cual se deberá calcular el porcentaje del factor  $\alpha$  total del sistema

$$\alpha = 10,89\%$$

De acuerdo a lo establecido en la norma IEEE – 519, el valor de  $\frac{I_{CC}}{I_L}$  es aproximadamente de 126,221 el mismo que debe estar entre  $10 < 100$ , la TDD es de 15,0%

## Calculo del TDD

$$TDD = 19,27\%$$

El TDD sobrepasa del 15%

### 3.5. Análisis de datos del punto de estudio

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

#### 3.5.1. CENTRAL LATACUNGA CNT E.P.

En la regulación del CONELEC solo se establece la medición de tensión en la barras de cada fase, para ello se realizaron mediciones de tensión en las salidas del Transformador, previo a una reunión para coordinar las acciones, supervisión y el acceso hacia la central, para facilitar la obtención de las señales, colocación y remoción del equipo analizador.

En el Anexo 6 se presenta los datos obtenidos del analizador de energía, colocado en las barras generales del tablero de distribución a 120 V por fase por un tiempo de 7 días con toma de muestras de cada 10 minutos según lo que nos dice la Regulación No. CONELEC – 004/01, con un total de 1008 muestras tomadas simultáneamente de todos los parámetros que nos sirven para el análisis de calidad de energía.

Con la finalidad de obtener mejores resultados, se procedió a monitorear a la barra general de la central, con el equipo para el análisis de calidad de energía Fluke 345.

#### Niveles de Tensión

**Resultados:** De un total de 1008 muestras se obtuvo un cumplimiento del 100%, en vista que todas las mediciones se encuentran dentro del margen permitido como límite según la regulación vigente. En la tabla 3.3 se puede apreciar un resumen del comportamiento de los niveles de tensión registrados:

**Tabla 3.3:** Cumplimiento niveles de tensión.

NIVEL DE TENSIÓN FASE A				NIVEL DE TENSIÓN FASE B				NIVEL DE TENSIÓN FASE C			
Límites:				Límites:				Límites:			
-8%		+8%		-8%		+8%		-8%		+8%	
<119,23 V		>139,96 V		<118,55 V		>139,17 V		<118,54 V		>139,15 V	
129,59 V		Valor medio		128,86 V		Valor medio		128,84 V		Valor medio	
Mínimo 126,06 V 14-06-2017 10:52:22	Máximo 132,53 V 17-06-2017 00:42:22	Mínimo 125,37 V 14-06-2017 10:52:22	Máximo 131,91 V 17-06-2017 00:42:22	Mínimo 125,48 V 14-06-2017 10:52:22	Máximo 131,80 V 15-06-2017 17:42:22						
N° muestras mayores al limite				N° muestras mayores al limite				N° muestras mayores al limite			
0		0		0		0		0		0	
Cumplimiento con la regulación				Cumplimiento con la regulación				Cumplimiento con la regulación			
SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
X		X		X		X		X		X	
Porcentaje				Porcentaje				Porcentaje			
100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Elaborado por: Diego Terán

Una presentación estadística de la variación de tensión (DV%) respecto al valor nominal de 120 V es la que se muestra a continuación en la tabla 3.4.

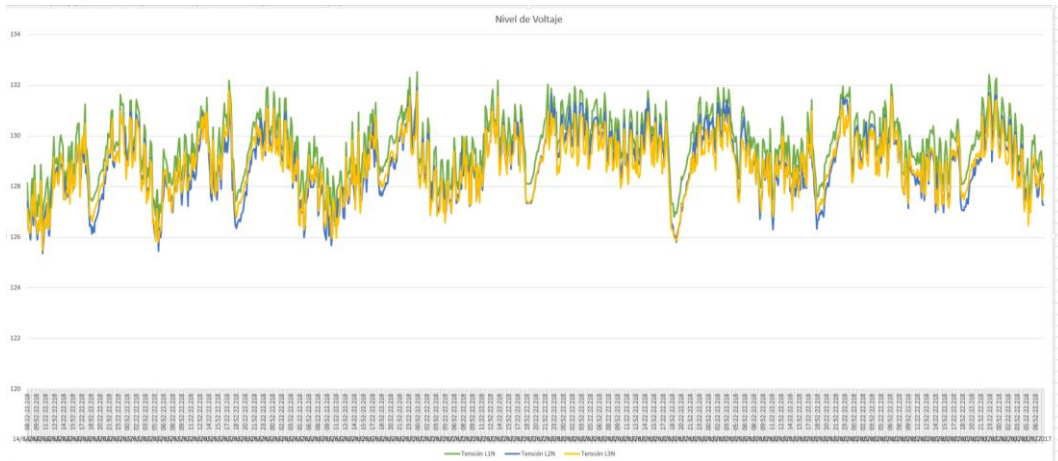
**Tabla 3.4:** Distribución estadística de frecuencias de la variación de tensión (DV)

Fase A			Fase B			Fase C		
% DV	Frecuencia	%	% DV	Frecuencia	%	% DV	Frecuencia	%
-3,00	0	0,00	-3,00	0	0,00	-3,00	0	0,00
-2,00	13	11,31	-2,00	24	7,94	-2,00	17	7,74
-1,00	142	27,68	-1,00	153	34,72	-1,00	140	34,03
0,00	331	47,32	0,00	308	44,64	0,00	314	44,35
1,00	363	12,80	1,00	348	11,90	1,00	403	13,10
2,00	153	0,89	2,00	165	0,79	2,00	127	0,79
3,00	6	0,00	3,00	10	0,00	3,00	7	0,00
4,00	0	0,00	4,00	0	0,00	4,00	0	0,00
5,00	0	0,00	5,00	0	0,00	5,00	0	0,00
6,00	0	0,00	6,00	0	0,00	6,00	0	0,00
Total	1008	100,00	Total	1008	100,00	Total	1008	100,00

Elaborado por: Diego Terán

Como resultado del análisis de la tabla 3.1 podemos decir que todos los valores se encuentran en su mayoría entre el 0% y 1% de desviación de voltaje con lo cual no se tiene problemas de picos de corriente como se puede apreciar en la figura 3.1 pudiendo observar el perfil de tensión durante el tiempo de medición para las tres fases del sistema.





**Figura 3. 1:** Niveles de tensión por fase

Elaborado por: Diego Terán

## Perturbaciones

### Parpadeo (Flicker)

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

**Resultados:** Del total de 1008 muestras por fase, el cumplimiento es del 37,60 %, 33,93% y 36,71% para las fases 1, 2 y 3 respectivamente, lo cual muestra que no se cumple la regulación.

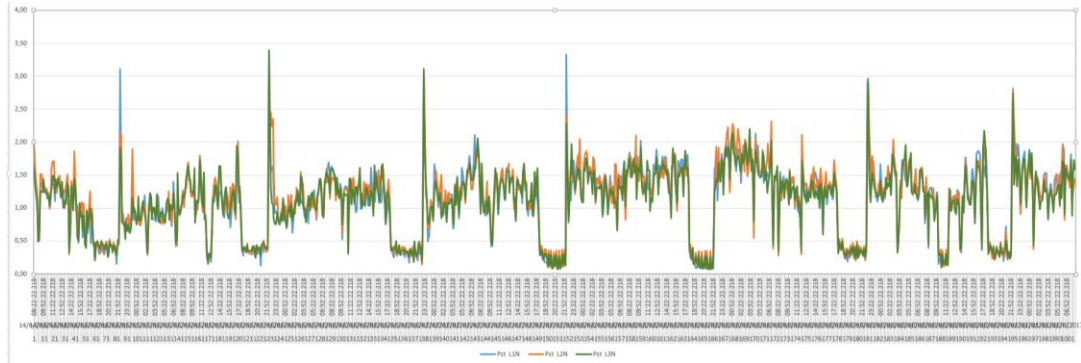
**Tabla 3.5:** Cumplimiento de flicker

FLICKER			
	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Limite	1,00	1,00	1,00
Total de muestras	1008	1008	1008
Numero de muestras mayores al limite	629	666	638
Porcentaje de cumplimiento	37,60%	33,93%	36,71%
Valor máximo registrado	3,34	2,90	3,39
Valor mínimo registrado	0,08	0,08	0,07
Valor promedio	1,08	1,12	1,08

Elaborado por: Diego Terán

Las magnitudes registradas del flicker durante el periodo de medición se

observa en la figura 3.2. en la cual se aprecia el no cumplimiento de los parámetros medidos y analizados en la tabla 3.5.



**Figura 3. 2:** Flicker

Elaborado por: Diego Terán

### Armónicos Voltaje

**Resultados:** Los resultados de la distorsión armónica de tensión se presentan en las tablas 3.6, 3.7 y 3.8 de cada una de las fases.

**Tabla 3.6:** Resultado de la distorsión armónica de tensión fase A

ARMÓNICAS FASE A							
Limite THD <sub>v</sub>	Mínimo	THD <sub>v</sub>	Máximo	Numero de muestras mayores al limite			
8%	0,65	1,28	2,33	0			
Cumplimiento con la regulación		SI	X	100,00%	NO		0,00%
Armónicas Individuales							
Impares no múltiplos de 3							
Orden Armónica	5	7	11	13	17	19	
Limite	6	5	3,5	3	2	1,5	
Valor medido	0,8	0,31	0,27	0,09	0,13	0,08	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Orden Armónica	23	25	29	31	35	37	
Limite	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Valor medido	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Impares múltiplos de 3							
Orden Armónica	3	9	15	21	27	33	39
Limite	5	1,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Valor medido	0,36	0,22	0,13	0,09	0,00	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14
Limite	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,13	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	16	18	20	22	24	26	28
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	30	32	34	36	38	40	
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Valor medido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	

Elaborado por: Diego Terán

Como interpretación de los resultados obtenidos en la tabla 3.6. podemos decir que en la Fase A no se tiene valores fuera de los rangos que debe cumplir un sistema eléctrico.

Tabla 3.7: Resultado de la distorsión armónica de tensión fase B

ARMÓNICAS FASE B							
Limite THD <sub>v</sub>	Mínimo	THD <sub>v</sub>	Máximo	Numero de muestras mayores al limite			
8%	0,92	1,62	2,54	0			
Cumplimiento con la regulación	SI	X	100,00%	NO			0,00%
Armónicas Individuales							
Impares no múltiplos de 3							
Orden Armónica	5	7	11	13	17	19	
Limite	6	5	3,5	3	2	1,5	
Valor medido	0,87	0,53	0,39	0,21	0,21	0,16	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Orden Armónica	23	25	29	31	35	37	
Limite	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Valor medido	0,15	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Impares múltiplos de 3							
Orden Armónica	3	9	15	21	27	33	39
Limite	5	1,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Valor medido	0,69	0,28	0,10	0,17	0,00	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14
Limite	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,13	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	16	18	20	22	24	26	28
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	30	32	34	36	38	40	
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Valor medido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	

Elaborado por: Diego Terán

Como interpretación de los resultados obtenidos en la tabla 3.7. podemos decir que en la Fase B no se tiene valores fuera de los rangos que debe cumplir un sistema eléctrico.

Tabla 3.8: Resultado de la distorsión armónica de tensión fase C

ARMÓNICAS FASE C							
Limite THD <sub>v</sub>	Mínimo	THD <sub>v</sub>	Máximo	Numero de muestras mayores al limite			
8%	0,51	1,29	2,35	0			
Cumplimiento con la regulación		SI	X	100,00%	NO		0,00%
Armónicas Individuales							
Impares no múltiplos de 3							
Orden Armónica	5	7	11	13	17	19	
Limite	6	5	3,5	3	2	1,5	
Valor medido	0,84	0,37	0,31	0,10	0,07	0,07	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Orden Armónica	23	25	29	31	35	37	
Limite	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Valor medido	0,05	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
Impares múltiplos de 3							
Orden Armónica	3	9	15	21	27	33	39
Limite	5	1,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Valor medido	0,33	0,15	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Pares							
Orden Armónica	2	4	6	8	10	12	14
Limite	2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,13	0,06	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	16	18	20	22	24	26	28
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Valor medido	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	0
Cumple	X	X	X	X	X	X	X
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Orden Armónica	30	32	34	36	38	40	
Limite	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Valor medido	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Muestra > lim	0	0	0	0	0	0	
Cumple	X	X	X	X	X	X	
No cumple							
Porcentaje no cumple	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	

Elaborado por: Diego Terán

Como interpretación de los resultados obtenidos en la tabla 3.8. podemos decir que en la Fase C no se tiene valores fuera de los rangos que debe cumplir un sistema eléctrico.

Para el cumplimiento de los parámetros de distorsión armónica total la regulación pide que se calcule el THD en cada una de las fase para lo cual se deberá analizar de forma que podamos verificar en que momento que supere los limites. En el Anexo 7 para los armónicos de voltaje.

**Tabla 3.9:** Cumplimiento de la distorsión armónica de tensión.

THD FASE 1			THD FASE 2		
Límite:	Muestras mayores al limite		Límite:	Muestras mayores al limite	
8%	0		8%	0	
Cumplimiento de la regulación			Cumplimiento de la regulación		
SI	NO		SI	NO	
X			X		
Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
2,33	1,28	0,65	2,54	1,62	0,92

THD FASE 3		
Límite:	Muestras mayores al límite	
8%	0	
Cumplimiento de la regulación		
SI	NO	
X		
Máximo	Promedio	Mínimo
2,35	1,29	0,51

Elaborado por: Diego Terán

En lo referente a la distribución armónica total de tensión (THDv) se puede analizar en la tabla 3.9. sobre el cumplimiento según la regulación que todos los registros están por debajo del límite exigido del producto, como también los armónicos impares múltiplos de 3 que son los que afectan a la calidad de energía, en el analizador de calidad de energía se puede observar las gráficas de cada uno de los armónicos con lo cual nos da una idea de cuál se encuentra fuera de rango como se aprecia en las figura 3.3.

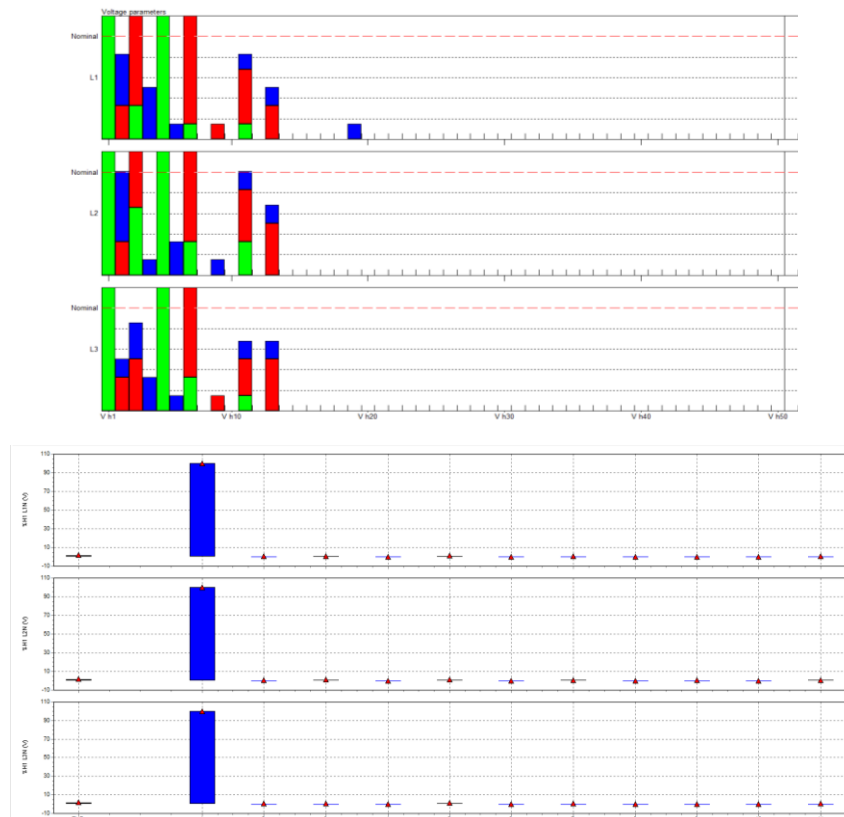
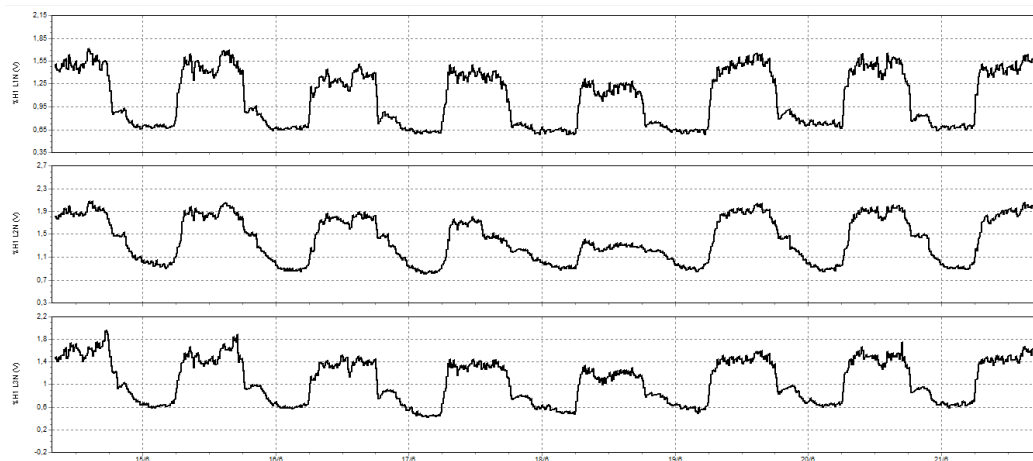


Figura 3. 3: Graficas de orden de armónicos en cada fase

Elaborado por: Diego Terán



**Figura 3. 4:** Grafica de porcentajes de THD en cada una de las fases

**Elaborado por:** Diego Terán

En la figura 3.4. podemos observar los picos de THD en cada una de las líneas con lo cual vemos que tiene el patrón de comportamiento con lo cual nos da una idea de cómo nos afecta al sistema de distribución y en especial a las cargas que se encuentran conectadas.

### **Armónicos Corriente**

Estos se presentan en un análisis por horas y se grafica para una mayor comprensión en el Anexo 8, con la cual observaremos que si se afecta por lo cual se deberá realizar un análisis más profundo utilizando programas de simulación los cuales nos darán valores más exactos con lo cual podremos llegar a dar soluciones a nuestro sistema de distribución de la Central Latacunga CNT E.P.

### **Factor de Potencia**

**Resultados:** De un total de 1008 muestras por fase, se obtuvo que exista el cumplimiento en todas las fases, pues superan el 5% tolerable del límite establecido, siendo los porcentajes del cumplimiento del 100% (ver tabla 3.10). Se realiza un análisis por horas y se realiza las gráficas respectivas se indica en el Anexo 9

**Tabla 3.10:** Cumplimiento del factor de potencia FP

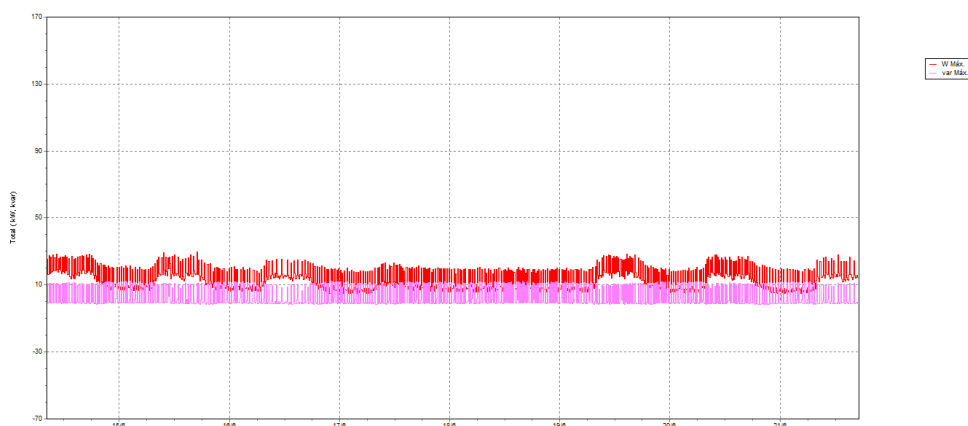
FP FASE 1			FP FASE 2		
Límite:	Muestras inferiores al límite		Límite:	Muestras mayores al límite	
<b>0,92</b>	<b>351</b>		<b>0,92</b>	<b>377</b>	
Cumplimiento de la regulación			Cumplimiento de la regulación		
SI		NO	SI		NO
		X			X
Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
0,95	<b>0,92</b>	0,90	0,97	<b>0,89</b>	0,53

FP FASE 3		
Límite:	Muestras mayores al límite	
<b>0,92</b>	<b>389</b>	
Cumplimiento de la regulación		
SI		NO
		X
Máximo	Promedio	Mínimo
0,98	<b>0,96</b>	0,94

**Elaborado por:** Diego Terán

Para un mejor análisis de los datos obtenidos por el analizador se realiza un cuadro comparativo con los parámetros mínimos de cada hora un valor con la cual podemos realizar un dimensionamiento de nuestro sistema, con lo cual se comprueba el porqué la empresa eléctrica en la factura cobra una penalización por bajo factor de potencia, en el Anexo 9 se demuestra gráficamente.

La figura 3.5 muestra el comportamiento de la potencia activa total (P) y la potencia reactiva total (Q) durante el periodo de medición.

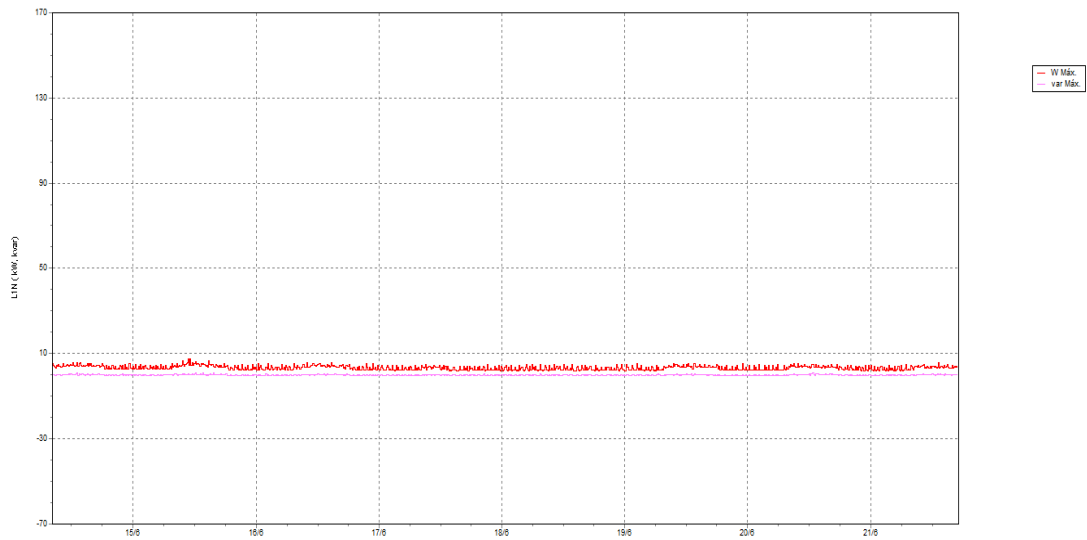


**Figura 3. 5:** Potencia activa y reactiva total

**Elaborado por:** Diego Terán



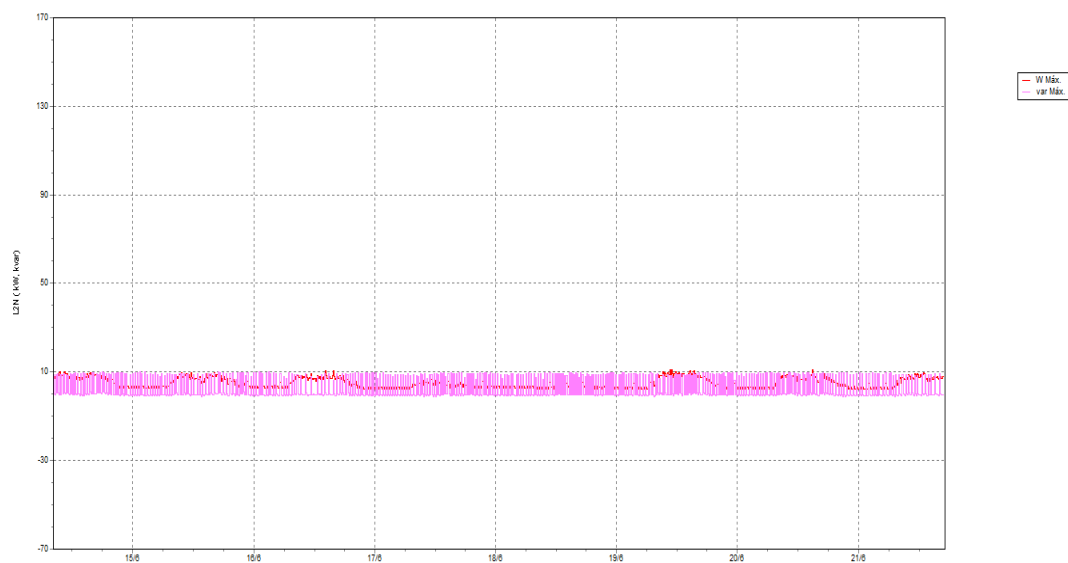
La figura 3.6 muestra el comportamiento de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q) para la fase 1, durante el periodo de medición.



**Figura 3. 6:** Potencia activa y reactiva fase 1

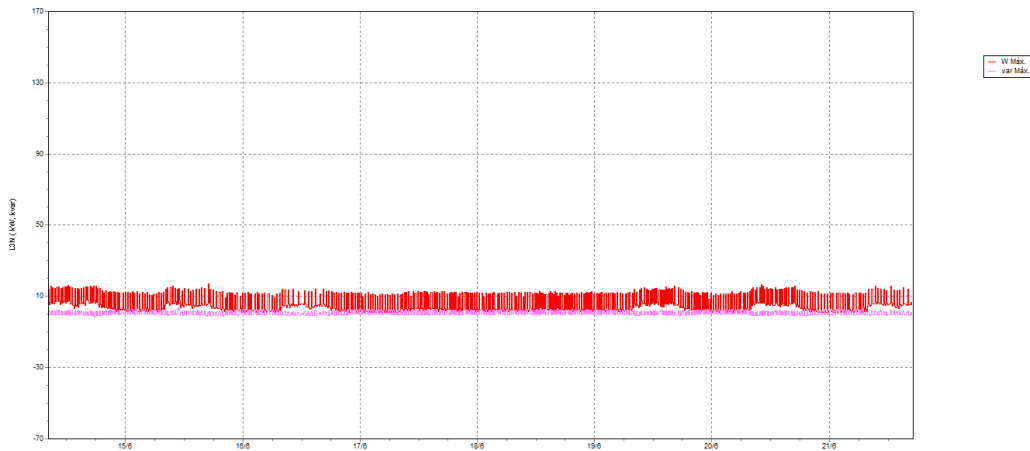
**Elaborado por:** Diego Terán

De forma similar las figuras 3.7 y 3.8 muestran el comportamiento de las potencias activa (P) y reactiva (Q) para las fases 2 y 3 respectivamente.



**Figura 3. 7:** Potencia activa y reactiva fase 2

**Elaborado por:** Diego Terán

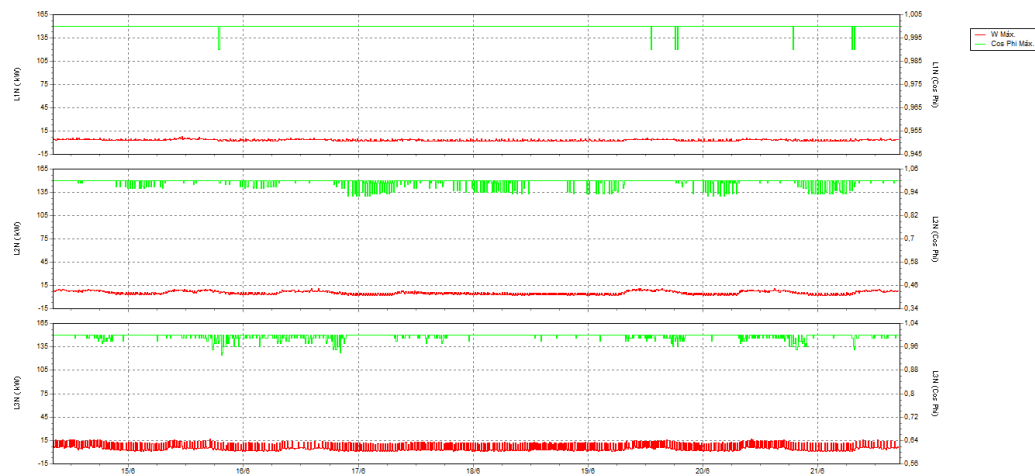


**Figura 3. 8:** Potencia activa reactiva fase 3

Elaborado por: Diego Terán

Se realiza un análisis por horas y se realiza las gráficas respectivas de la Potencia Activa se indica en el Anexo 10

Y finalmente en la figura 3.9 se puede apreciar el comportamiento de las potencias activa (P) y el cos fi (cos fi)



**Figura 3. 9:** Potencias activa (P) y cos fi

Elaborado por: Diego Terán

Se realiza un análisis por horas y se realiza las gráficas respectivas de la Potencia Aparente se indica en el Anexo 11.

Se realiza un análisis por horas y se realiza las gráficas respectivas de la Potencia Reactiva se indica en el Anexo 12.

En el Anexo 13 se presenta las gráficas e informes del equipo analizador de energía puesto en el tablero de distribución de la Central Latacunga CNT E.P.

## **CONCLUSIONES**

- Mediante el análisis de los datos obtenidos tenemos que el transformador tiene una cargabilidad del 30%.
- Que el factor de potencia a corregir es de 0.9 a 0,95 con lo cual es imprescindible la colocación de un banco de capacitores.
- Se tiene un desbalance de las cargas de la fase 2 ya que se encuentra sobrecargada el doble de las demás fases.
- El THD de voltaje no presenta problemas considerables, mientras que el THD de corriente pero es importante por lo que se deberá analizar mediante una simulación en la cual se realizara un balance de cargas y la colocación de un banco de capacitores.

## **CAPITULO 4**

### **APLICACIÓN DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE FILTROS ARMONICOS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA ELECTRICA MEDIANTE LA MITIGACIÓN DE LOS PARAMETROS DE DISTORSION ARMONICA DE VOLTAJE Y FACTOR DE POTENCIA**

#### **4.1. Justificación de la propuesta**

Actualmente la inclusión de equipos electrónicos supone un aumento en la utilización de las redes eléctricas para lo cual se debe mantener la calidad de servicio eléctrico, esto requiere de costos adicionales en estudios de calidad de energía, en el sistema de distribución eléctrica de la Central Latacunga CNT E.P, es por ello que se realiza diversos análisis en campo de los transformadores, líneas y tableros de distribución, porque es importante conocer los niveles de las magnitudes eléctricas donde se encuentran conectadas las diferentes cargas de los equipos de telecomunicaciones.

La calidad del servicio eléctrico hoy en día es un punto importante a mantener en niveles que no afecten de ninguna manera a la empresa distribuidora y a la Central en estudio, lo cual requiere planificación previa así como estimaciones a futuro para cumplir con los estándares de calidad.

Los resultados obtenidos de este análisis competen en establecer un comportamiento de la contaminación armónica en los equipos de transformación y al mismo tiempo plantear maniobras de solución de ser necesario.

El presente proyecto a realizarse es aprobado y será tomado como un estudio previo para la optimización de los sistema de distribución eléctrica dentro de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, la cual aporta con la información y equipamiento para el correcto enfoque del análisis del sistema eléctrico de la Central Latacunga, por lo cual existe el compromiso de parte del investigador de que algunos datos del giro de negocio no podrán ser presentados como consta en el acuerdo de

confidencialidad firmada, por lo cual la totalidad de los datos de la simulación obtenida, podrá utilizar solo la CNT E.P.

## **4.2. Objetivos**

### **Objetivo general**

- Plantear una propuesta para mitigación de los efectos producidos por la distorsión armónica de voltaje y el factor de potencia que es provocada por los equipos electrónicos de telecomunicaciones, en la red de distribución de la Central Latacunga CNT E.P.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los puntos a intervenir en el sector de análisis, en base a las mediciones adquiridas de los analizadores de carga, ubicado en el tablero principal de la Central Latacunga CNT E.P.
- Simular en el programa computacional EASY POWER, el escenario más crítico con los parámetros reales, tomados de los equipos de medición para analizar la propuesta.
- Comprobar la propuesta planteada favorable para conseguir los parámetros establecidos por la Regulación CONELEC No. 004/01 mediante cálculos previos.

## **4.3. Desarrollo de la propuesta**

### **4.3.1. Simulación Inicial del Sistema en el software EASY POWER**

Una vez obtenido la información inicial del sistema por medio del analizador y que se describe los resultados del análisis en el anterior capítulo, se deberá proceder a ingresar los datos al software con lo cual podremos hacer un análisis más detallado de cómo se encuentra el sistema como también determinar los problemas y el planteamiento de posibles mejoras para la calidad del suministro de energía eléctrica en la central.

- La carga que son los rectificadores de voltaje se le represento en el EASY POWER mediante una carga que se le configuro para darle la característica de una carga inductiva.

En el software no se puede ingresar tres conductores en paralelo, razón por la cual se decidió calcular el conductor equivalente a dos conductores de calibre 1/0 AWG y un conductor de calibre 2/0 AWG.

### **Calibre 1/0**

La capacidad de corriente del calibre 1/0 es de 170 A, como son dos conductores la corriente total que circula por los dos conductores va hacer:

$$170 A * 2 = 340 A$$

### **Calibre 2/0**

La capacidad de corriente del calibre 1/0 es de 195 A.

### **Corriente Total**

Es la sumatoria de las corrientes de los dos calibres de cables que cuenta la distribución principal de la central.

$$I_T = 535 A$$

La corriente total que circula por los tres conductores es de 535 A, que da un conductor equivalente a 750 MCM. El calibre equivalente calculado es de 750 MCM AWG, el mismo que tendrá que ser simulado, para obtener una aproximación de la situación real de la empresa.

A continuación se realiza la primera corrida de flujo con los datos iniciales antes mencionados, donde se explica cada uno de los problemas encontrados y se indica el reporte dado por el analizador.

## Corrida de Flujo Inicial en el software EASY POWER

Se ingresa datos en el simulador Easy Power, para poder realizar una corrida flujos del sistema para saber con exactitud cómo se encuentra el sistema actualmente, mediante el diseño unifilar de todo el sistema de distribución de la Central Latacunga en el Anexo 14.

## Problemas encontrados en el sistema a través del software EASY POWER

Los resultados obtenidos en la corrida de flujos inicial nos dan a conocer como se encuentra el sistema basados en los datos obtenidos del analizador de energía instalado anteriormente con lo cual se comprueba lo dicho en el anterior capítulo.

### Bajo factor de potencia:

La carga tiene un factor de potencia de 0,886 lo cual ocasiona un incremento de costos de la planilla eléctrica.

El transformador tiene un factor de potencia de 0,881 por lo cual se encuentra está por debajo de la norma que dice que tiene que estar encima del 0,92 por lo tanto no cumple con la regulación.

**Tabla 4.1:** Factor de Potencia de la carga

Total	MW	MVAR	MVA	PF
Generation in System	0,073	0,039	0,083	0,881
Load in System	0,071	0,037	0,080	0,886
Shunt Load in System	-0,000	-0,000		
Losses in System	0,002	0,002		
Check of Balance	-0,000	-0,000		

**Fuente:** Simulación EASY POWER

Se realiza un análisis de los buses de cargas de cada uno de los alimentadores de los tableros que van hacia los equipos, teniendo como resultado inicial que se

encuentran en 0,85, no cumpliendo la norma, en la que establece que el factor de potencia debe estar por encima del 0,92.

**Tabla 4.2:** Factor de Potencia de las cargas

Bus		Solution						
Name	Base kV	kV	Vpu	Deg	MW	MVAR	MVA	Pf
BUS-1	13.800	13.800	1.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-2	0.220	0.215	0.978	-0.77	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-3	0.220	0.215	0.975	-0.76	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-4	0.220	0.215	0.975	-0.76	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-5	0.220	0.214	0.975	-0.76	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-6	0.220	0.213	0.969	-0.67	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-7	0.220	0.213	0.969	-0.66	0.000	0.000	0.000	0.850
BUS-8	0.220	0.212	0.965	-0.52	0.006	0.004	0.007	0.850
BUS-9	0.220	0.214	0.975	-0.76	0.003	0.002	0.004	0.850
BUS-10	0.220	0.212	0.964	-0.51	0.019	0.012	0.022	0.850
BUS-11	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-12	0.220	0.214	0.975	-0.76	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-13	0.220	0.214	0.974	-0.76	0.003	0.002	0.004	0.850
BUS-14	0.220	0.214	0.974	-0.75	0.003	0.002	0.004	0.850
BUS-15	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-16	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-17	0.220	0.213	0.969	-0.66	0.000	0.000	0.000	0.850
BUS-17_A	0.220	0.214	0.975	-0.75	0.000	0.000	0.000	0.850
BUS-18	0.220	0.213	0.969	-0.66	0.000	0.000	0.000	0.850
BUS-18_A	0.220	0.214	0.974	-0.73	0.003	0.002	0.004	0.850
BUS-19	0.220	0.215	0.975	-0.76	0.000	0.000	0.000	0.850
BUS-20	0.220	0.212	0.964	-0.51	0.019	0.012	0.022	0.850
BUS-21	0.220	0.213	0.969	-0.66	0.003	0.002	0.004	0.850
BUS-22	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000

Fuente: Simulación EASY POWER

### Sobrecarga de la línea

Se realiza también un análisis de sobrecarga de los calibres de los cables de los alimentadores en el cual se puede observar que no existe ninguna sobrecarga en el sistema de distribución y en los conductores. Se detalla mediante el unifilar en el Anexo 15.



**Tabla 4.3: Sobrecarga de la línea**

Line				Load			
From Bus Name	To Bus Name	Branch Name	Rated Amps	Load Amps	Loaded%	OverLoaded%	Comment
BUS-2	BUS-3	C-1	675.0	191.6	28.4%	-71.6%	
BUS-3	BUS-4	C-2	780.0	191.6	24.6%	-75.4%	
BUS-4	BUS-17_A	C-8_A	80.0	0.9	1.1%	-98.9%	
BUS-4	BUS-12	C-5	510.0	19.0	3.7%	-96.3%	
BUS-4	BUS-19	C-10	225.0	0.6	0.3%	-99.7%	
BUS-4	BUS-18_A	C-9_A	90.0	10.3	11.4%	-88.6%	
BUS-4	BUS-6	C-8	510.0	150.6	29.5%	-70.5%	
BUS-4	BUS-5	C-3	510.0	10.2	2.0%	-98.0%	
BUS-5	BUS-9	C-4	510.0	10.2	2.0%	-98.0%	
BUS-6	BUS-18	C-14	50.0	0.9	1.7%	-98.3%	
BUS-6	BUS-20	C-15	120.0	60.1	50.0%	-50.0%	
BUS-6	BUS-17	C-13	60.0	0.9	1.4%	-98.6%	
BUS-6	BUS-10	C-12	120.0	60.1	50.0%	-50.0%	
BUS-6	BUS-8	C-11	50.0	19.2	38.4%	-61.6%	
BUS-6	BUS-7	C-9	20.0	0.0	0.2%	-99.8%	
BUS-6	BUS-21	C-16	435.0	9.6	2.2%	-97.8%	
BUS-12	BUS-13	C-6	510.0	9.5	1.9%	-98.1%	
BUS-12	BUS-14	C-7	225.0	9.5	4.2%	-95.8%	

Fuente: Simulación EASY POWER

En la tabla 4.4 observamos cómo se encuentra la carga para cada uno de los alimentadores que van hacia los equipos, por lo cual vemos que si existió un debido dimensionamiento.

### Sobrecarga del Transformador

Los datos simulados reportan que el transformador que se dimensiono inicialmente en la empresa cubre la demanda requerida y actualmente tiene un 27% de reserva.

**Tabla 4.4: Sobrecarga del Transformador**

Transformer				Load			
Name	From Bus Name	To Bus Name	Rated Amps	Load Amps	Loaded %	OverLoaded%	Comment
TX-1	BUS-1	BUS-2	262,4	191,6	73.0%	-27.0%	

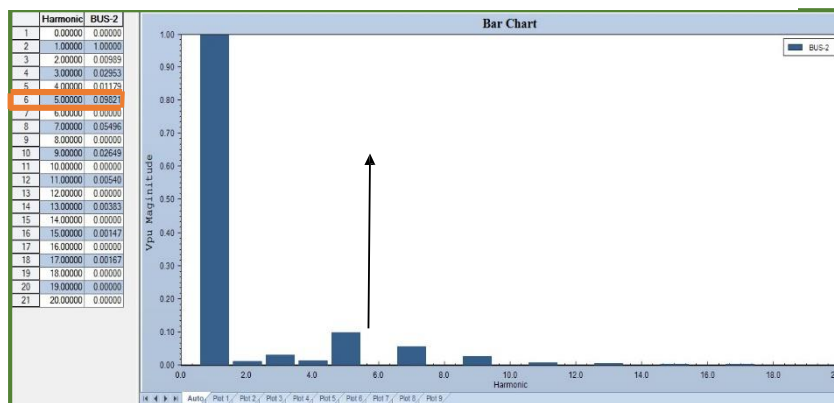
Fuente: Simulación EASY POWER

## Corrida de Flujo Armónico Inicial en el software EASY POWER

En los reportes obtenidos del software se observa que en las barras existe un THD de voltaje del 19,27% sobrepasando lo establecido por la norma. Se puede observar que el quinto armónico es el que afecta más al sistema. Coincidiendo con los datos obtenidos del analizador de carga. Se realiza la corrida de Armónicos y se detalla en el Anexo 16.

Se realiza un detalle de armónicos de voltaje en cada uno de los equipos que se ve detalladamente en el Anexo 17

Se realiza un detalle de armónicos de corriente en cada uno de los equipos que se ve detalladamente en el Anexo 18.



**Figura 4.1:** Simulación de los armónicos en EASY POWER  
**Fuente:** EASY POWER

Se muestra los valores de los armónicos individuales de voltaje donde el quinto armónico afecta en gran cantidad.

### 4.4. Propuesta para mitigar los armónicos

#### Diseño de filtro para disminuir armónicos

Un filtro de armónicos puede entenderse como un dispositivo que presenta una severa variación de su impedancia en función de la frecuencia. Lógicamente, la inserción de estos dispositivos en el sistema de potencia modifica la respuesta de

frecuencia, por tal motivo se puede alterar el camino de circulación de los armónicos de corriente y voltaje.

En base a los diferentes tipos de filtros expuestos en el capítulo 1, en comparación con el Anexo 16 de espectro armónico, se aprecia que la componente armónica de orden 5, es la que afecta al sistema eléctrico de distribución; por tal motivo se escoge el diseño de un filtro sintonizado simple, para mitigar el efecto de la quinta armónica.

### **Cálculo Para Diseño del Filtro Armónico del Sistema de Distribución:**

#### **Potencia consumida en el sistema de Distribución de la central = 23,57 kW**

Lo primero que se procede a realizar es el cálculo de los ángulos, utilizado como datos el valor medido del factor de potencia y como segundo dato el valor al cual deseo llevar el factor de potencia. Esto se realizara mediante la ecuación 1.15.

$$\begin{array}{ll} Fp = 0,85 & \theta_1 = 31,79 \\ Fp = 0,98 & \theta_2 = 11,48 \end{array}$$

Con los datos de los ángulos saco los kVAR efectivos  $Q_{eff}$  se aplicara la ecuación 1.17

$$Q_{eff} = 9,822 \text{ kVAR}$$

Este valor en KVAR es el que se deberá instalar en total del sistema en el punto de conexión del sistema de distribución para la central Latacunga CNT E.P., el siguiente paso es calcular la reactancia efectiva del filtro. Con la aplicación de la ecuación 1.18.

$$X_{eff} = 4,928 \Omega \text{ x fase}$$

Para calcular la armonica fundamental se aplicara la ecuación 1.20. con la cual tendremos .

$$h = 3 \qquad 3 * 6\% = 0,18 \qquad 3 - 0,18 = 2,82$$

### **Cálculo de la reactancia capacitiva.**

Deberemos calcular las fundamentales de cada uno de los componentes del filtro a diseñar para cumplir con los parámetros a disminuir, para ello debemos aplicar la ecuación 1.19 para el cálculo de la reactancia capacitiva y la ecuación 1.21 para el dimensionamiento del capacitor.

$$X_c = 5,62 \Omega$$

$$C = 0,47 \mu F$$

### **Cálculo de la reactancia inductiva.**

Debemos calcular las fundamentales, para ello debemos aplicar la ecuación 1.23 para el cálculo de la reactancia inductancia y la ecuación 1.24 para el dimensionamiento del circuito inductor.

$$X_L = 0,627 \Omega$$

$$L = 1,663 \text{ mH}$$

### **Cálculo de la Resistencia del Filtro**

Teniendo calculado cada uno de los componentes ahora debemos calcular la resistencia del filtro para eso debemos aplicar la ecuación 1.25

$$R = 0,088 \Omega$$

### **Cálculo de la Impedancia del Filtro**

Se debe calcular la impedancia total de diseño de filtro con lo cual podremos tener un buen diseño del filtro que vamos a poner en el diseño unifilar para luego realizar otra simulación en el cual veremos si podemos cumplir nuestro objetivo, para lo cual aplicaremos la ecuación 1.22.

$$Z = 0,088 \Omega - j(5,013)$$

## **Cálculo de los kVAR del Filtro**

También deberemos calcular la potencia con la cual deberá funcionar nuestro filtro por lo cual debemos tener muy en cuenta con que voltaje y corriente esta nuestro sistema de distribución, aplicaremos la ecuación 1.26.

$$k_{var\ filtro} = 9,655 \times 10^{-3} \text{ MVA}$$

## **COMPROBACIÓN**

Para que el filtro pasivo serie RLC se sintonice a la frecuencia requerida, se debe cumplir la condición en la cual deberá ser igual la reactancia capacitiva con la reactancia inductiva, con la cual deberemos descomponer la ecuación 1.23 y comprobar la ecuación 1.27.

$$X_C = 2 \qquad X_L = 1,77 \approx 2$$

**Corriente** El valor eficaz de la corriente en el filtro no debe sobrepasar los 135% de la corriente fundamental, para que se cumpla esto debemos calcular la corriente fundamental para esto deberemos aplicar la ecuación 1.28.

## **CORRIENTE FUNDAMENTAL**

$$I_{fund} = 25,44 \text{ A}$$

## **CORRIENTES ARMÓNICAS**

Se deberá calcular la corriente para cada fundamental impar armónica menos la 5 ya que es la que afecta a nuestro sistema de distribución por lo cual se calculara la 3, 7, 11 y 13 armónica con la aplicación de la ecuación 1.29

$$I_3 = 12,97 \text{ A} \qquad I_7 = 0,92 \text{ A} \qquad I_{11} = 0,99 \text{ A} \qquad I_{13} = 0,84 \text{ A}$$

Se debe realizar la sumatoria de todas estas componentes armónica para tener el valor de corriente total rms, para ello se aplicara la ecuación 1.30.

$$I_{total\ rms} = 28,59\ A$$

## VERIFICACIÓN DE LA NORMA

Se verifica que el cumplimiento de la norma mediante la ecuación 1.31 en la cual nos pide que se calcule la corriente fundamental del sistema de distribución con lo deberemos aplicar la ecuación antes dada

$$\%_{total\ rms} = 112,38\% \leq 135\% \quad \text{SE ENCUENTRA DENTRO DE LA NORMA}$$

El valor de voltaje pico del filtro no debe sobrepasar el 120% del voltaje pico del sistema, esto se lo calcula con la aplicación de la ecuación 1.32, con la cual podremos calcular los voltajes para cada una de las fundamentales armónicas de voltaje haciendo uso la aplicación de la ecuación 1.33.

$$V_c = 142,97\ V$$

$$V_c(3) = 14,57 \quad V_c(7) = 0,73 \quad V_c(11) = 0,47 \quad V_c(13) = 0,36$$

Estas deberemos sumarlas para saber el voltaje total de la fundamental armónica.

$$V_c(h) = 16,13\ V$$

Para conocer el voltaje pico del sistema debemos aplicar la ecuación 1.35, con la cual debemos tener en cuenta que es necesario calcular el  $V_{CL-N\ total\ pico}$  y el  $V_{L-N\ sistema}$  mediante la aplicación de la ecuación 1.34.

$$V_{CL-N\ total\ pico} = 159,10\ V$$

$$V_{L-N\ sistema} = 127,02\ V$$

$$V_{CL-N \text{ pico sistema}} = 179,63 \text{ V}$$

## VERIFICACIÓN DE LA NORMA

Se deberá verificar la norma técnica para saber el cumplimiento de los parámetros y que estos se encuentren dentro de los valores normales, por lo cual deberemos calcular mediante la ecuación 1.37.

$$88.57\% \leq 120\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

El valor eficaz del voltaje del filtro no debe sobrepasar el 110% del voltaje eficaz del sistema, con los cálculos anteriores de los voltajes fundamentales de cada armónica deberemos aplica en la ecuación 1.38.

$$V_{CL-N \text{ total rms}} = 143,71 \text{ V}$$

$$V_{CL-N \text{ rms Sistema}} = 127,02 \text{ V}$$

## VERIFICACIÓN DE LA NORMA

$$\% \text{margen de voltaje} = 113,14\% \leq 110\% V_{L-N \text{ rms Sistema}}$$

## SE CUMPLE\_ DENTRO DE LA NORMA

El último factor evalúa el calentamiento del dieléctrico del filtro, se utilizara la ecuación 1.40, como también deberemos cumplir con el porcentaje de voltaje para que no exista el sobrecalentamiento del filtro calculando con la ecuación 1.41.

$$Q_{3\phi} = 11,02 \text{ kVAR}$$

$$\% \text{margen de voltaje} = 112,21\% \leq 135\% \quad \text{SI CUMPLE}$$

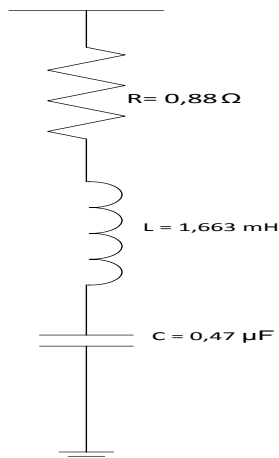
## CALENTAMIENTO DEL DIELECTRICO.

También deberemos calcular el dimensionamiento correcto del dieléctrico y que este no sufra de calentamiento por lo cual debemos utilizar la ecuación 1.42.

$$11,48 \leq 14,88 \quad \text{SI CUMPLE}$$

Todos los limites se cumple por un margen sustancial por lo tanto el diseño propuesto es satisfactorio.

Por lo tanto el diseño del filtro que se va a colocar en la empresa es el siguiente:



**Figura 4.2:** Diseño del Filtro  
**Fuente:** Diego Terán

## Comprobación del filtro calculado en el software

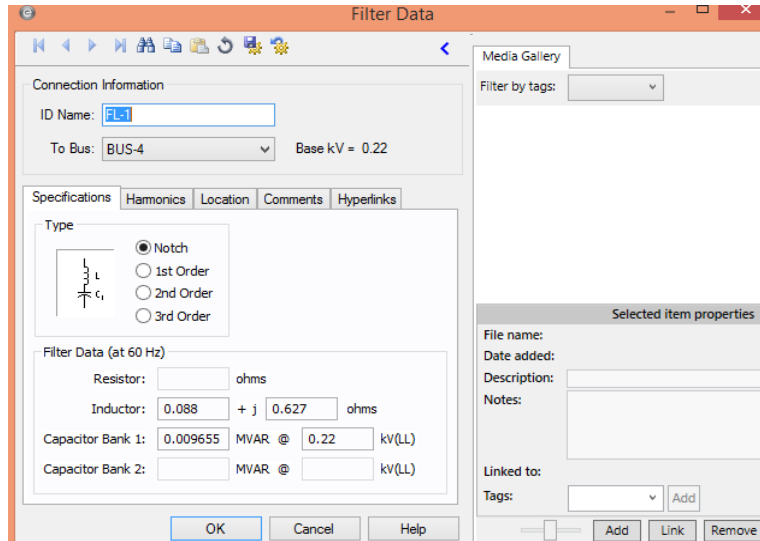
Una vez ya calculado el filtro se procede a ingresar los datos del sistema:

$$\text{Inductor} = 0,088 + j0,627 \Omega$$

$$\text{Capacidad en MVAR} = 0,009655 \text{ MVAR}$$

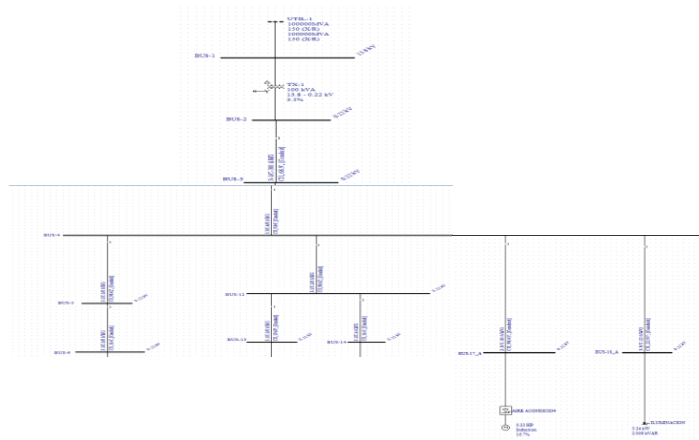
$$\text{Voltaje de línea a línea} = 0,22 \text{ kV}$$





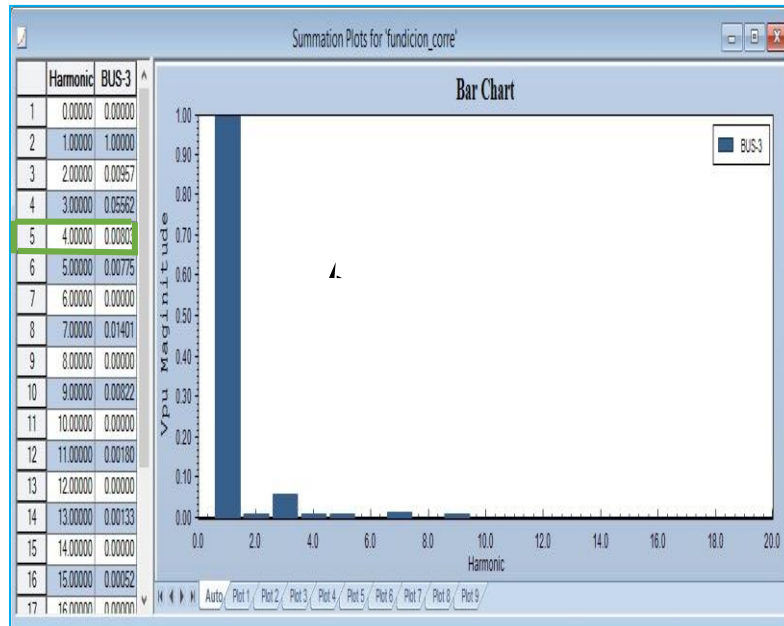
**Figura 4.3:** Dimensionamiento del filtro en EASY POWER  
**Fuente:** Easy Power

Una vez ingresado los datos del filtro en el simulador se realizar una corrida de flujos de carga armónica y comprobamos que el THD de voltaje disminuye de un 19.27% a un 0.50%; observamos que ya está dentro de las normas.



**Figura 4.4:** Corrección de armónicos con instalación de filtro  
**Fuente:** EASY POWER

Mediante una nueva simulación en el software tenemos que se logra disminuir el porcentaje del nivel de armónico en especial del 3 y 5 armónico, que son los que mayor daño producen en un sistema eléctrico de distribución y más teniendo en cuenta que nuestro sistema de distribución es para el área de telecomunicaciones el cual inyecta a los servicios frecuencia no deseadas las cuales perjudican en los servicios que oferta la Corporación nacional de Telecomunicaciones.



**Figura 4.5:** Reducción del nivel de armónicos  
**Fuente:** EASY POWER

En la figura 4.6 observamos cómo se encuentran los armónicos de voltaje luego de la colocación de un filtro de armónicos con lo cual se redujo significativamente la presencia del 5 armónico.

#### **Análisis de los armónicos de voltaje:**

Se realiza un detalle de armónicos de voltaje en cada uno de los equipos que se ve detalladamente en el Anexo 19 y se podremos ver en cada una de las barras en el Anexo 20.

Los niveles de armónicos de voltaje disminuyeron considerablemente, en especial el quinto armónico bajo el nivel del 4,837 al 1,169 el mismo que está dentro de la regulación. El THD de voltaje disminuye al 5.783% el mismo que está dentro de los parámetros normales de la normativa aplicada.

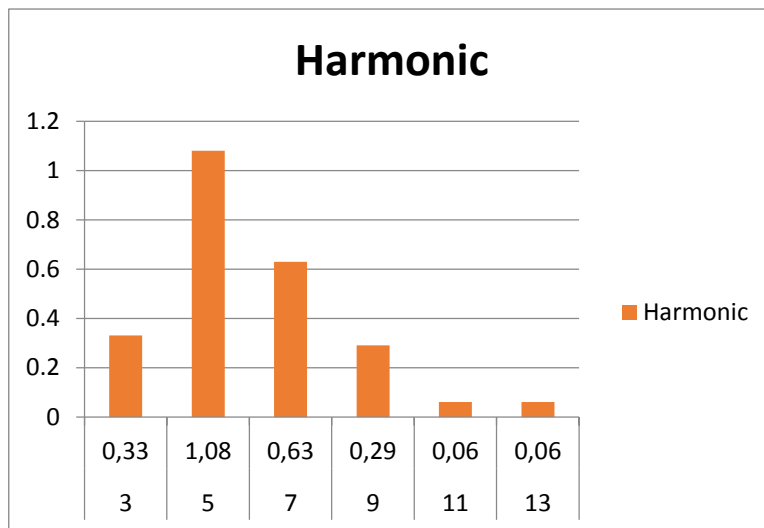
Se realiza una simulación de detalle de armónicos de corriente en cada uno de los equipos con lo cual veremos la afectación o la disminución hacia estos para ello analizamos detalladamente en el Anexo 21.

## Análisis de los armónicos de corriente:

**Tabla 4.5:** Magnitudes de los Armónicos de Corriente

<b>Individual Harmonic Magnitude</b>	
<b>Harmonic</b>	<b>I(pu)</b>
3,00	0,33
5,00	1,08
7,00	0,63
9,00	0,29
11,00	0,06
13,00	0,06

**Fuente:** EASY POWER



**Figura 4.6:** Contenido de armónicos de corriente con el filtro

**Fuente:** EASY POWER

En la figura 4.7 observamos cómo se encuentran los armónicos de corriente luego de la colocación de un filtro de armónicos con lo cual existe la reducción significativa del 5 armónico.

Nuevo cálculo del TDD del sistema

$$TDD = \frac{\sqrt{(0,33)^2 + (1,08)^2 + (0,63)^2 + (0,29)^2 + (0,06)^2 + (0,06)^2}}{242,43 A} * 100$$

$$TDD = 0,50\%$$

Se verifica que el nuevo valor del TDD está debajo del 8%, cumple lo estipulado por la norma.

**Factor de Potencia:**

Con la corrección de los armónicos también existe la inyección de potencia reactiva con la cual corregimos el factor de potencia por la cual la ELEPCO S.A. se encuentra facturando una penalización mensual por bajo factor de potencia. Teniendo como resultados de la simulación de corrección la tabla 4.7.

**Tabla 4.6:** Reducción del factor de potencia en la carga

Bus		Solution						
Name	Base kV	kV	Vpu	Deg	MW	MVAR	MVA	Pf
BUS-1	13.800	13.800	1.000	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-2	0.220	0.218	0.990	-1.09	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-3	0.220	0.217	0.988	-1.15	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-4	0.220	0.217	0.987	-1.16	-0.000	-0.011	0.011	0.000
BUS-5	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-6	0.220	0.216	0.982	-1.18	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-7	0.220	0.216	0.982	-1.18	0.000	0.000	0.000	0.981
BUS-8	0.220	0.215	0.978	-1.14	0.006	0.001	0.006	0.980
BUS-9	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.003	0.001	0.003	0.980
BUS-10	0.220	0.215	0.978	-1.14	0.009	0.004	0.009	0.980
BUS-11	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-12	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.000	0.000	0.000	0.000
BUS-13	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.003	0.001	0.003	0.980
BUS-14	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.003	0.001	0.003	0.980
BUS-15	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-16	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000
BUS-17	0.220	0.216	0.982	-1.18	0.000	0.000	0.000	0.980
BUS-17_A	0.220	0.217	0.987	-1.15	0.000	0.000	0.000	0.980
BUS-18	0.220	0.216	0.982	-1.18	0.000	0.000	0.000	0.980
BUS-18_A	0.220	0.217	0.986	-1.15	0.003	0.001	0.003	0.980
BUS-19	0.220	0.217	0.987	-1.16	0.000	0.000	0.000	0.981
BUS-20	0.220	0.215	0.978	-1.14	0.009	0.004	0.009	0.980
BUS-21	0.220	0.216	0.982	-1.18	0.003	0.001	0.003	0.980
BUS-22	0.220	0.220	1.000	-0.00	0.003	0.000	0.003	1.000

Fuente: EASY POWER

Por lo tanto el nivel del factor de potencia subió de un 0.886 a un 0.98, la regulación CONELEC 004/01 estipula un factor de potencia mínimo de 0.92 por lo que se cumple con la norma y no es necesario colocar un banco de capacitores

### Resultados de la Corrida de Flujos final

Después de haber realizado las correcciones propuestas se realiza una nueva corrida de flujos y se observa que ya no existen fallas y el sistema funciona correctamente, los parámetros eléctricos se encuentran dentro de los niveles permitidos. El transformador de 100 kVA abastece la potencia requerida sin sobrecarga al igual que el conductor, teniendo una reserva del 27% para el transformador y del 25.8% para el conductor, con la que se asegura un buen suministro de energía eléctrica y disminuye el costo de la planilla eléctrica. Anexo 22.

**Los reportes obtenidos a partir de la corrida de flujos con las correcciones ya hechas son los siguientes:** El transformador de 100 kVA soporta la carga que consume la empresa de telecomunicaciones y tiene una reserva del 27%

**Tabla 4.7:** Reducción de la sobrecarga del transformador

Line				Load			
From Bus Name	To Bus Name	Branch Name	Rated Amps	Load Amps	Loaded %	OverLoaded %	Comment
BUS-2	BUS-3	C-1	262,4	191,6	73.0%	-27.0%	

Fuente: EASY POWER

El transformador y la carga total tienen un factor de potencia que se eleva para el transformador a 0,99 y para la carga total 0,98

**Tabla 4.8:** Factor de Potencia de la carga

Total	MW	MVAR	MVA	PF
Generation in System	0,072	0,003	0,072	0,999
Load in System	0,071	0,012	0,072	0,986
Shunt Load in System	-0,000	-0,011		
Losses in System	0,001	0,001		
Check of Balance	-0,000	-0,000		

Fuente: Simulación EASY POWER

#### 4.5. Análisis Técnico económico de la implementación del Proyecto

##### Ahorro energético al implementar las soluciones propuestas

##### Cálculo de Pérdidas:

Pérdidas Iniciales=0,071 MW

**Tabla 4.9:** Pérdidas Iniciales

Bus		To Bus		Losses	
Name	Base kV	Name	Base kV	MW	MVAR
BUS-1	13.800	BUS-2	0,220	0,000	0,000
BUS-2	0,22	BUS-3	0,220	0,000	0,000
BUS-3	0,22	BUS-4	0,220	0,000	0,000
BUS-4	0,22	BUS-5	0,220	0,000	0,000
BUS-5	0,22	BUS-6	0,220	0,000	0,000
BUS-6	0,22	BUS-7	0,220	0,000	0,000
BUS-7	0,22	BUS-8	0,220	0,006	0,004
BUS-8	0,22	BUS-9	0,220	0,003	0,002
BUS-9	0,22	BUS-10	0,220	0,019	0,012
BUS-10	0,22	BUS-11	0,220	0,003	0,000
BUS-11	0,22	BUS-12	0,220	0,000	0,000
BUS-12	0,22	BUS-13	0,220	0,003	0,002
BUS-13	0,22	BUS-14	0,220	0,003	0,002
BUS-14	0,22	BUS-15	0,220	0,003	0,000
BUS-15	0,22	BUS-16	0,220	0,003	0,000
BUS-16	0,22	BUS-17	0,220	0,000	0,000
BUS-17	0,22	BUS-17_A	0,220	0,000	0,000
BUS-17_A	0,22	BUS-18	0,220	0,000	0,000
BUS-18	0,22	BUS-18_A	0,220	0,003	0,002
BUS-18_A	0,22	BUS-19	0,220	0,000	0,000
BUS-19	0,22	BUS-20	0,220	0,019	0,012
BUS-20	0,22	BUS-21	0,220	0,003	0,002
BUS-21	0,22	BUS-22	0,220	0,003	0,000
BUS-22	0,22	Total System Losses		0,071	0,038

**Fuente:** EASY POWER

Pérdidas finales=0,051 MW

**Tabla 4.10:** Pérdidas Finales

Bus		To Bus		Losses	
Name	Base Kv	Name	Base kV	MW	MVAR
BUS-1	13.800	BUS-2	0,220	0,000	0,000
BUS-2	0,22	BUS-3	0,220	0,000	0,000
BUS-3	0,22	BUS-4	0,220	0,000	-0,011
BUS-4	0,22	BUS-5	0,220	0,000	0,000
BUS-5	0,22	BUS-6	0,220	0,000	0,000
BUS-6	0,22	BUS-7	0,220	0,000	0,000
BUS-7	0,22	BUS-8	0,220	0,006	0,001
BUS-8	0,22	BUS-9	0,220	0,003	0,001
BUS-9	0,22	BUS-10	0,220	0,009	0,004
BUS-10	0,22	BUS-11	0,220	0,003	0,000
BUS-11	0,22	BUS-12	0,220	0,000	0,000
BUS-12	0,22	BUS-13	0,220	0,003	0,001
BUS-13	0,22	BUS-14	0,220	0,003	0,001
BUS-14	0,22	BUS-15	0,220	0,003	0,000
BUS-15	0,22	BUS-16	0,220	0,003	0,000
BUS-16	0,22	BUS-17	0,220	0,000	0,000
BUS-17	0,22	BUS-17_A	0,220	0,000	0,000
BUS-17_A	0,22	BUS-18	0,220	0,000	0,000
BUS-18	0,22	BUS-18_A	0,220	0,003	0,001
BUS-18_A	0,22	BUS-19	0,220	0,000	0,000
BUS-19	0,22	BUS-20	0,220	0,009	0,004
BUS-20	0,22	BUS-21	0,220	0,003	0,001
BUS-21	0,22	BUS-22	0,220	0,003	0,000
BUS-22	0,22	Total System Losses		0,051	0,003

**Fuente:** EASY POWER

$$0,071 \times 10^6 W * \frac{1 kW}{1000 W} = 71 kW$$

$$0,051 \times 10^6 W * \frac{1 kW}{1000 W} = 51 kW$$

*Perdidas Iniciales en hora pico = 71 kW*

*Perdidas Finales en hora pico = 51 kW*

$$\text{Perdidas totales} = \text{Perdidas Iniciales} - \text{Perdidas Finales}$$

$$\text{Perdidas totales} = 71 \text{ kW} - 51 \text{ kW}$$

$$\text{Perdidas totales} = 20 \text{ kW}$$

### Calculo de las pérdidas de energía.

$$\text{Perdidas de Energía} = \text{Perdidas en valor kW} * \text{dias} * \text{horas}$$

$$\# \text{ de horas de carga equivalentes (EH)} = \frac{\text{Energía total consumidas en un periodo (kWh)}}{\text{Carga máxima (kW)}}$$

$$\text{Carga máxima} = 3,43 \text{ kW}$$

$$\text{Energía total consumida en un periodo (kWh)} = 203,03 \text{ kWh}$$

$$EH = \frac{243,03 \text{ kWh}}{3,43 \text{ kW}}$$

$$EH = 70,85 \text{ h}$$

$$\text{Perdidas de energía} = \text{Perdidas totales en kW} * \text{semanas} * \text{horas}$$

$$\text{Perdidas de energía} = 20 \text{ kW} * 4 \text{ semanas} * 70,85 \text{ horas}$$

$$\text{Perdidas de energía} = 5668 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

**Se multiplica la Energía por el costo del kWh este valor es tomado del pliego tarifario**

**Tabla 4.11:** Pliego Tarifario. Valor Industrial



BAJA TENSIÓN CON DEMANDA			
	COMERCIALES E INDUSTRIALES		
	4,790	0,090	1,414
	ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO, AUTOCONSUMO Y ABONADOS ESPECIALES		
	4,790	0,080	1,414
	BOMBEO DE AGUA		
	4,790	0,070	1,414
BAJA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA			
	COMERCIALES E INDUSTRIALES		
07h00 hasta 22H00 22H00 hasta 07H00	4,790	0,090 0,072	1,414
	ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO, AUTOCONSUMO Y ABONADOS ESPECIALES		
07h00 hasta 22H00 22H00 hasta 07H00	4,790	0,080 0,066	1,414
	BOMBEO DE AGUA, SERVICIO PUBLICO DE AGUA POTABLE		
L-D 08h00 hasta 18H00 L-V 18h00 hasta 22H00 L-D 22h00 hasta 08H00 S-D 18h00 hasta 22H00	2,620	0,056 0,095 0,045 0,056	1,414
	VEHICULOS ELÉCTRICOS		
L-V 08h00 hasta 18H00 L-D 18h00 hasta 22H00 L-D 22h00 hasta 08H00 S-D 08h00 hasta 18H00	4,050	0,080 0,100 0,050 0,050	1,414

Fuente: Pliego Tarifario

$$\text{Costo por perdidas}_{07H00-22H00} = 5668 \frac{kWh}{mes} * 0,080 \frac{USD}{kWh}$$

$$\text{Costo por perdidas}_{07H00-22H00} = 453,44 \frac{USD}{mes} * \frac{12 meses}{1 Año}$$

$$\text{Costo por perdidas}_{07H00-22H00} = 5441,28 \frac{USD}{Año}$$

$$\text{Costo por perdidas}_{22H00-07H00} = 5668 \frac{kWh}{mes} * 0,066 \frac{USD}{kWh}$$

$$\text{Costo por perdidas}_{22H00-07H00} = 374,09 \frac{USD}{mes} * \frac{12 meses}{1 Año}$$

$$\text{Costo por perdidas}_{22H00-07H00} = 4489,08 \frac{USD}{Año}$$

$$\text{Costo por pérdidas}_{07H00-22H00} = \text{Costo por pérdidas}_{07H00-22H00} + \text{Costo por pérdidas}_{22H00-07H00}$$

$$\text{Costo por pérdidas}_{07H00-22H00} = 5441,28 + 4489,08$$

$$\text{Costo por pérdidas}_{07H00-22H00} = 9930,36 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$$

### Pago de penalización por bajo factor de potencia

El siguiente recuadro muestra la cantidad que debe pagar cada mes la empresa CNT E.P. por la Central Latacunga por concepto de penalización por bajo factor de potencia que presentan:

**Tabla 4.12:** Penalización anual por bajo factor de potencia

MES	VALOR	Penalización de fp	Consumo sin
	CONSUMO		Penalización
<b>JULIO 2016</b>	\$ 4.113,30	\$ 334,20	\$ 3.779,10
<b>AGOSTO 2016</b>	\$ 4.232,51	\$ 337,13	\$ 3.895,38
<b>SEPTIEMBRE 2016</b>	\$ 4.416,96	\$ 504,19	\$ 3.912,77
<b>OCTUBRE 2016</b>	\$ 3.035,13	\$ 372,28	\$ 2.662,85
<b>NOVIEMBRE 2016</b>	\$ 3.206,62	\$ 369,35	\$ 2.837,27
<b>DICIEMBRE 2016</b>	\$ 3.471,67	\$ 430,91	\$ 3.040,76
<b>ENERO 2017</b>	\$ 2.997,89	\$ 439,72	\$ 2.558,17
<b>FEBRERO 2017</b>	\$ 2.753,06	\$ 357,63	\$ 2.395,43
<b>MARZO 2017</b>	\$ 3.002,64	\$ 310,72	\$ 2.691,92
<b>ABRIL 2017</b>	\$ 3.020,08	\$ 304,88	\$ 2.715,20
<b>MAYO 2017</b>	\$ 2.915,39	\$ 304,88	\$ 2.610,51
<b>JUNIO 2017</b>	\$ 3.145,58	\$ 378,13	\$ 2.767,45
<b>MULTA ANUAL</b>		<b>\$ 4.444,02</b>	

Fuente: Diego Terán

$$\text{Ahorro económico} = \text{Costo por pérdidas anuales} + \text{Multas anuales por bajo factor de potencia}$$

$$\text{Ahorro económico} = 9930,36 + 4444,02$$

$$\text{Ahorro económico} = 14374,38\text{USD}$$

## **4.6. Factibilidad económica, técnica y ambiental para la implementación de la oportunidad de mejora de calidad de energía**

### **4.6.1. Factibilidad Técnica**

Desde el punto de vista operativo el estudio es factible debido a que las propuestas de solución ayudarán a reducir cualquier anomalía presente en la red de la Central Latacunga de CNT E.P y principalmente permitirá mejorar el funcionamiento de los procesos y equipos de telecomunicaciones con la cual existirá un mejor desarrollo de los servicios que presta la empresa y también se reducirá un consumo de energía de un 25% de lo que se a estado facturando en los anteriores meses y también el mejoramiento del 70% de los servicios por la no presencia de frecuencias parasitas en los equipos de telecomunicaciones.

### **4.6.2. Factibilidad Económica**

Las propuesta planteada tienen factibilidad económica, puesto que es una inversión a corto plazo, donde el principal beneficio económico será eliminar el pago de penalizaciones por bajo factor de potencia, rubro que pasará a formar parte de los ingresos a favor de la empresa, gracias al nivel de calidad de energía eléctrica. Los fenómenos que afectan a los equipos son controlados, garantizando confiabilidad en las instalaciones eléctricas de la empresa, puesto que al contar con un buen suministro de energía eléctrica se podrá invertir en equipos, manteniendo la vida útil de los mismos.

### **Cálculo del TIR y el TMAR:**

Para el cálculo de estos parámetros tomamos en consideración los siguientes datos:

- Inversión del Proyecto: 21291,20 USD
- Ahorro económico por energía consumida anual y multas por penalización por bajo factor de potencia: 14374,38 USD/Año
- Instalación de los equipos recomendados: 1800,00 USD

- Mantenimiento de los equipos: 300,00 USD
- Además se tomara en cuenta una tasa de inflación del 8%

**Tabla 4.13:** Flujo Neto de Inversión

<b>CUENTAS:</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
INVERSIÓN	21291,20					
AHORRO ECONOMICO		14374,38	16818,02	18399,21	19117,93	20699,11
<b>GASTOS:</b>						
INSTALACIÓN		1800,00				
MANTENIMIENTO		300,00	500,00	505,93	511,92	518,00
<b>FLUJO NETO</b>	<b>21291,20</b>	<b>12274,38</b>	<b>16318,02</b>	<b>17893,28</b>	<b>18606,00</b>	<b>20181,11</b>

Fuente: Diego Terán

**Cálculo del TIR:** 20,99 %

**Tiempo de recuperación:** 2 años

El proyecto es rentable puesto que el período de recuperación de la inversión de capital se da en un tiempo razonable de dos años ya que el tiempo de vida útil de los equipos es de diez años, además de esto se debe considerar los beneficios que generan como el ahorro de energía y la maquinaria funciona adecuadamente.

#### **4.6.3. Factibilidad Ambiental**

Las propuestas planteadas tienen factibilidad ambiental, puesto que con dicha propuesta estaríamos bajando el consumo energético y así disminuimos la contaminación ambiental, gracias al nivel de calidad de energía eléctrica, como también cumplimos las normativas que nos ayudan para las certificaciones ambientales que cada año tiene que pasar la empresa.

En la actualidad la Corporación Nacional de Telecomunicaciones se encuentra ejecutando proyectos para la reducción de consumo de carbón para lo cual con esta propuesta podríamos plantear una baja de consumo de un 30% y así ayudar a bajar el uso de combustibles en la generación de electricidad.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Según el análisis sobre los parámetros eléctricos realizado en la central Latacunga CNT E.P se puede percatar que el transformador de 100 kVA no se encuentra sobrecargado, por lo que se tiene una reserva del 27%.
- El conductor que se encuentra instalado en la empresa es de calibre es de  $3 \times 1/0 + 1 \times 2/0$  por fase que equivale a un conductor de 750 MCM a través de las simulaciones se observó que dicho conductor está bien dimensionado para la carga que se encuentra instalada con una reserva en un 74,86% los mismos que presentan mayor reserva que los instalados y una menor posibilidad de presentar en el futuro caídas de voltaje si es que existiera un incremento de carga.
- Las propuestas dadas en el presente proyecto para mejorar la calidad del suministro de energía eléctrica tiene una factibilidad tanto técnica como económica debido a que la inversión inicial que se tendrá al implementar las mejoras es menor al ingreso que se obtendrá mensualmente al mitigar los problemas en el sistema eléctrico y eliminar el rubro por pago de penalización por bajo factor de potencia.

## RECOMENDACIONES GENERALES

- Se deberá primero realizar el cálculo y las simulaciones del filtro pasivo sintonizado, el mismo que proporcionara la potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia, donde se observara a que nivel mejoró, luego y si el caso lo amerita se deberá instalar un banco de capacitores para llevar al factor de potencia a niveles que estén dentro de la regulación del CONELEC.
- Se debe realizar un mantenimiento a las instalaciones eléctricas de la empresa y así se podrá incrementar la vida útil de los equipos, además de reducir considerablemente las pérdidas en cada uno de los elementos del sistema eléctrico como: conductores, transformadores, protecciones, etc.
- La inversión en el proyecto es factible técnicamente, y económicamente de acuerdo a los datos medidos, por lo cual la recuperación de los costos se realizara en un tiempo razonable, gracias a que se evitara los recargos por penalizaciones por bajo factor de potencia y además disminuirá las pérdidas de energía eléctrica.

## BIBLIOGRAFIA

Aguirre, L., & Herrera, G. (2010). Análisis de carga del Hospital San Vicente de Paúl de la Ciudad de Ibarra y propuesta para el cumplimiento de la Calidad de Energía (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/357/3/fecyt%20933%20tesis%20final.pdf>

A-Eberle GmbH y Co. KG. Analizador de redes PQbox-100. [Consulta enero de 2017]. Disponible en world wide web: [www.a-eberle.de](http://www.a-eberle.de)

ARCONEL. (2016). Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas. Coordinación Nacional de Regulación.

ARCONEL. Calidad del servicio eléctrico de Distribución. REGULACION ARCONEL – 004/01. Quito. 23 de mayo de 2001.

Armónicos en las redes eléctricas. [en línea]. Capítulo 2. [Consultado marzo de 2017]. Disponible en World wide web: [https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/2/EL5203/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=384495](https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/2/EL5203/1/material_docente/bajar?id_material=384495)

Bruel y Kjaer [en línea]. Factor de Cresta. 1985. [consultado 21 febrero 2017]. Disponible en world wide web: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1875/4/03%20Analisis%20de%20armonicos%20y20fp.pdf>

Cables Eléctricos. (2010). Selección del conductor eléctrico apropiado para cada proyecto. Recuperado de <http://cableselectricos.cl/articulos/como-seleccionar-el-conductor-electrico-apropiado-para-cada-proyecto/>

Camacho, J. (2015). Estudio de Factibilidad para el mejoramiento de la calidad de energía eléctrica en la planta Industrial INDUCUERDAS (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3801>

CONELEC. (2011). Regulación del Servicio Eléctrico de Distribución CONELEC N° 004/01. Directorio del Consejo Nacional de Electricidad, 4-10.

Direct Industry. (2017). Filtro electrónico de paso bajo pasivo trifásico de armónico. Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/schaffner-group/product-15134-1773554.html>

EMPRESA ELECTRICA COTOPAXI S.A. Programa “PEC”. Latacunga; Septiembre 2014.

EN 50160. Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. NORMA Europea. 2001.

Enríquez, H. (2012). Manual de Instalaciones Eléctricas Residenciales e Industriales. México: Limusa

Fluke. Analizadores de red de distribución eléctrica Memobox (LEM). [Consulta enero de 2017]. Disponible en world wide web: <http://www.fluke.com/fluke/eces/medidores-de-calidad-de-la-energielectrica/logging-power-meters/memobox.htm?pid=56391>

Gers,J. (2008). Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos. TECSUP, volumen (17), 2-3.

IEEE. (2003). Norma IEEE – 1531 - 2003. Coordinación Nacional de Regulación. Recuperado de <http://www.powerqualityworld.com/2011/08/harmonic-filter-design-ieee-531.html>

IEEE. Control de Armónicos. NORMA IEEE-519. First edition. Published by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA. April 12, 2013.



IEEE. Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia. NORMA IEEE-519-2014. Septiembre 11, 2014.

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2004). Transformadores de Distribución y Valores nominales de Potencias Aparentes. Ecuador: INEN. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nfe.2131.2004.pdf>

L. W, Pierce. Transformer Design and Application Consideration for Nonsinusoidal Load Currents. IEEE Transactions on Industry Applications.2016. vol. 32. NO. 3. pp. 633-645.

La calidad del servicio eléctrico en redes públicas de baja y media tensión. PINDADO, Rafael. n° 1. Dialnet. 2002. ISSN: 0300-3787

LLAMAS, A. TEJADA, A. Transformador Delta Estrella con Cargas No Lineales Monofásicas. Artículo de divulgación del Programa de Graduados en Ingeniería, Maestría en Ingeniería Eléctrica, ITESM, 2016.

LLAMAS, A. TEJADA, A. Efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos. [consultado marzo de 2016]. Disponible en World wide web: <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/07Efectarm.PDF>

Mora, J., & Cevallos, Y. (2014). Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora Holcim Ecuador Planta Guayaquil. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6848/1/UPS-GT000654.pdf>

Plan Nacional del Buen Vivir. [en línea]. Quito: junio 2013. [citado Febrero 2017]. Disponible en World Wide Web: <http://www.buenvivir.gob.ec>

Schneider. (2008). Manual de Compensación de energía reactiva. Recuperado de [http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo02\\_1907.pdf](http://www.schneider-electric.com.ar/documents/recursos/myce/capitulo02_1907.pdf)

SCHNEIDER, Electric. Detección y Filtrado de armónicos. [citado febrero de 2017]. Biblioteca Schneider. Área de Ingeniería técnica industrial de Zaragoza. Disponible en world wide web: [http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/BT/Guia/5\\_Armonicos](http://automata.cps.unizar.es/bibliotecaschneider/BT/Guia/5_Armonicos)

Terán, D. (2012). Propuesta de mejora en base al análisis de la calidad de energía de los alimentadores N° 5 y 6 de la Subestación de la Empresa Eléctrica Cotopaxi S.A. usando la regulación del CONELEC N° 004/01 (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5925>

Yokogawa Meters and Instruments Corporation. Power analyzer cw240. [Consulta marzo de 2017]. Disponible en world wide web: [www.yokogawa.com](http://www.yokogawa.com)

# ANEXOS

**Anexo 1 Regulación No.  
CONELEC – 00401**

# **Anexo 2 Certificado de calibración del equipo**

# **Anexo 3 Características Fluke Amperflex**

# **Anexo 4 Transformador CNT E.P**

# **Anexo 5 Diagrama Unifilar CNT E.P**



# **Anexo 6 Datos Analizador CNT**

# **Anexo 7 ARMONICOS DE VOLTAJE THD (V)**

# **Anexo 8 ARMONICOS DE CORRIENTE THD (I)**

# **Anexo 9 FACTOR DE POTENCIA**

# **Anexo 10 POTENCIA ACTIVA**

# **Anexo 11 POTENCIA APARENTE**

# **Anexo 12 POTENCIA REACTIVA**

# **Anexo 13 Informe**



# **Anexo 14 Diagrama Unifilar CNT E.P Corrida de Flujos**

# **Anexo 15 Diagrama Unifilar CNT E.P Simulación**

# **Anexo 16 Diagrama Unifilar CNT E.P Corrida de Armónicos**

# **Anexo 17 Corrida de Armónicos Voltaje**

# **Anexo 18 Corrida de Armónicos Corriente**

# **Anexo 19 Corrida de Armónicos Voltaje**

**Anexo 20 Diagrama  
Unifilar CNT E.P Corrida  
de Armónicos Final**

# **Anexo 21 Corrida de Armónicos Corriente**



**Anexo 22 Diagrama  
Unifilar CNT E.P  
Simulación de Flujos con  
Filtro**

# **Anexo 23 Certificado de Adaptación de Tema de Tesis**

# **Anexo 24 Validaciones**