



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

**Programa de Maestría en Gestión de Energías
Cohorte 2014**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“INCIDENCIA DE LA INSTALACIÓN MASIVA DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL NIVEL DE ARMÓNICOS DE LA RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR CENTRO DE LATACUNGA DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EL CALVARIO DE LA ELEPCO S.A. EN EL AÑO 2016. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA MANTENER UN NIVEL PERMISIBLE DE CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICOS”

Trabajo presentado como requisito en opción al Grado Académico de Magíster en Gestión de Energías.

AUTORA:

VÁSCONEZ Tovar, Julieta Nathalie

TUTOR:

Ing. M.Sc. LEÓN Segovia, Manuel Ángel

Latacunga – Ecuador

Junio – 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO


En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, la maestrante: Ing. Julieta Nathalie Vásconez Tovar, con el título de tesis: **“INCIDENCIA DE LA INSTALACIÓN MASIVA DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL NIVEL DE ARMÓNICOS DE LA RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR CENTRO DE LATACUNGA DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EL CALVARIO DE LA ELEPCO S.A. EN EL AÑO 2016. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA MANTENER UN NIVEL PERMISIBLE DE CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICOS”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

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


Latacunga, Junio 2017

Para constancia firman:


Ing. MSc. EDWIN HOMERO MOREANO MARTÍNEZ
CC 0502607500
PRESIDENTE


Ph.D. JUAN MATO TAMAYO
CC 1756944284
MIEMBRO


Ph.D. JUAN JOSE LA CALLE DOMINGUEZ
CC 1756604227
MIEMBRO


Ing. MSc. EDWIN MARCELO LEMA GUAMÁN
CC 0302241351
OPONENTE

CERTIFICACIÓN DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de la Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Honorable Consejo Académico de Posgrado.

CERTIFICO:

Que: Analizado el Proyecto de Tesis, presentado como requisito previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el grado de Magíster en Gestión de Energías.

El problema de la investigación se refiere a:

“INCIDENCIA DE LA INSTALACIÓN MASIVA DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL NIVEL DE ARMÓNICOS DE LA RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR CENTRO DE LATACUNGA DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EL CALVARIO DE LA ELEPCO S.A. EN EL AÑO 2016. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA MANTENER UN NIVEL PERMISIBLE DE CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICOS”

Presentado por la señora ingeniera Julieta Nathalie Vásquez Tovar con C.I.: 0502930308

Sugiero su aprobación y permita continuar con los trámites correspondientes.

Latacunga, Junio de 2017

Ing. MSc. León Segovia Manuel Ángel
C.I. 0502041353
TUTOR

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El proyecto de tesis de maestría denominado **“INCIDENCIA DE LA INSTALACIÓN MASIVA DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL NIVEL DE ARMÓNICOS DE LA RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR CENTRO DE LATACUNGA DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EL CALVARIO DE LA ELEPCO S.A. EN EL AÑO 2016. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA MANTENER UN NIVEL PERMISIBLE DE CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICOS”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Junio de 2017.

Ing. Julieta Nathalie Vásquez Tovar
C.I. 0502930308

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por la ventana que me abrió al mundo del conocimiento infinito, y por entregarme a través de cada maestro, de cada clase, de cada experiencia, las estrategias necesarias para sortear los desafíos que día a día presenta la vida profesional.

A mi tutor de investigación, Ángel León, por toda su colaboración para lograr que este trabajo cobre validez.

A mis padres, por haber inculcado en mí con su ejemplo, hábitos de estudio, perseverancia y dedicación.

Y principalmente a Alex Felipe, por confiar en mí desde el principio, por motivarme a comenzar y regalarme todo ese tiempo, apoyo y paciencia para llegar al final.

Julieta

DEDICATORIA

La debilidad y la derrota siempre son propias; sin embargo, cuando he logrado vencerme a mí misma gracias al impulso que me dan ustedes, mis amadas Victoria y Luciana, todos los esfuerzos y logros son siempre para ustedes.

Julieta

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	I
CERTIFICACIÓN DE VALIDACIÓN DEL TUTOR	II
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE ECUACIONES	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	1
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
OBJETO DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN	4
DETERMINACIÓN DE VARIABLES.....	4
OBJETIVO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
HIPÓTESIS.....	5
ENFOQUE EPISTEMOLÓGICO	6
CAPÍTULO 1	7
MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL	7
1.1. <i>Antecedentes</i>	8
1.2. <i>Normativa vigente para controlar las perturbaciones en las redes de baja tensión</i>	9
1.3. <i>Aspectos teóricos fundamentales</i>	10
1.3.1. <i>Redes de distribución</i>	10
1.3.2. <i>Componentes de una red de distribución</i>	11
1.3.3. <i>Perturbaciones en las redes de distribución</i>	11
1.3.4. <i>Pérdidas de energía por armónicos</i>	12
1.3.5. <i>Armónicos en sistemas eléctricos de potencia</i>	12
1.3.6. <i>Factor de distorsión armónica</i>	13
1.3.7. <i>Cocinas de inducción</i>	13
1.3.8. <i>Consumo de las cocinas de inducción</i>	14
1.3.9. <i>Armónicos en las cocinas de inducción</i>	14
1.3.10. <i>Efectos de los armónicos</i>	14
1.3.11. <i>Factor K de reducción de potencia de transformadores</i>	15
1.3.12. <i>Filtros de armónicos</i>	16
1.3.13. <i>Filtros pasivos</i>	16
1.3.14. <i>Filtros activos</i>	17
1.3.15. <i>Filtros híbridos</i>	17
1.3.16. <i>Comparación entre las soluciones para mitigar perturbaciones armónicas</i>	18
1.3.17. <i>Efectos de los armónicos en transformadores</i>	18
CONCLUSIONES	20
CAPÍTULO 2	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1. <i>Objeto de la Investigación</i>	21
2.2. <i>Área de influencia directa</i>	21

2.3.	<i>Modalidad de la investigación</i>	23
2.3.1.	Tipo de investigación	24
2.3.2.	Métodos de investigación.....	24
2.4.	<i>Técnicas e instrumentos</i>	24
2.4.1.	Observación	24
2.4.2.	Software	25
2.4.3.	Instrumento de medición.....	25
2.5.	<i>Operacionalización de las variables</i>	26
2.6.	<i>Estadística de instalación de cocinas de inducción</i>	27
2.7.	<i>Mediciones de calidad de energía en el año 2016</i>	28
2.7.1.	Metodología para análisis de distorsión armónica	28
2.8.	<i>Factores para dimensionamiento de filtros de armónicos</i>	29
2.8.1.	Filtro pasivo paralelo sintonizado (FPPS).....	29
2.8.2.	Filtro pasivo serie sintonizado (FPSS).....	30
2.8.3.	Filtro activo paralelo sintonizado (FAPS).....	30
2.8.4.	Filtro activo serie sintonizado (FASS).....	31
2.9.	<i>Ubicación de sistemas de filtrado</i>	32
2.10.	<i>Procedimiento para la implementación de filtros de armónicos</i>	32
2.11.	<i>Procedimiento de evaluación de instalación de filtros de armónicos</i>	32
2.12.	<i>Análisis de pérdidas en los transformadores</i>	33
	CONCLUSIONES	33
	CAPÍTULO 3	34
	ANÁLISIS DE RESULTADOS	34
3.1.	<i>El sistema eléctrico de ELEPCO S.A.</i>	34
3.1.1.	Suministro de energía del sistema.....	35
3.1.2.	Sistema de distribución.....	36
3.1.2.1.	Subestación El Calvario	36
3.2.	<i>Instalación de cocinas de inducción como cargas en ELEPCO S.A.</i>	37
3.2.1.	Instalación de cocinas de inducción en el alimentador 0601CV0T04.....	41
3.2.2.	Transformadores con cocinas de inducción en el alimentador 0601CV0T04.....	43
3.3.	<i>Análisis de mediciones de calidad de energía en el año 2016</i>	43
3.3.1.	Mediciones dentro de límites permitidos por norma	43
3.3.2.	Mediciones fuera de límites permitidos por norma	43
3.3.3.	Porcentaje de pérdidas por armónicos	44
3.4.	<i>Evaluación de instalación de filtros</i>	44
	CONCLUSIONES	46
	CAPÍTULO 4	48
	PROPUESTA	48
4.1.	<i>Título de la propuesta</i>	48
4.2.	<i>Justificación de la propuesta</i>	48
4.3.	<i>Objetivo de la propuesta</i>	48
4.4.	<i>Estructura de la propuesta</i>	48
4.5.	<i>Desarrollo de la propuesta</i>	48
4.5.1.	Priorización de redes por incrementos considerables de cargas no lineales.....	48
4.5.2.	Procedimiento de diagnóstico de niveles de contaminación de armónicos	49
4.5.3.	Selección del sistema de filtrado.....	49
4.5.3.1.	Características del sistema de filtrado.....	50
4.5.3.2.	Costos del sistema de filtrado.....	51
4.5.4.	Valoración socioeconómica y ambiental de la propuesta	51
4.5.4.1.	Valoración económica	51
4.5.4.2.	Valoración social	52
4.5.5.	Valoración ambiental.....	53
	CONCLUSIONES GENERALES	54
	RECOMENDACIONES GENERALES	55
	BIBLIOGRAFÍA	56

ANEXOS	58
ANEXO 1. FICHAS DE OBSERVACIÓN	59
ANEXO 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MEDICIONES EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN	60
ANEXO 3. PROFORMA DE COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA DEL SISTEMA DE BLOQUEO DEL TERCER ARMÓNICO	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I.1 Diagrama de causas de ineficiencia energética	3
Gráfico 2. 1 Curva de demanda semanal del alimentador 0601CV0T04	22
Gráfico 2. 2 Curva de carga diario en día laborable alimentador 0601CV0T04	22
Gráfico 2. 3 Diagrama de conexión FPPS	29
Gráfico 2. 4 Estructura y esquema de conexión del filtro pasivo sintonizado	30
Gráfico 2. 5 Estructura y esquema de conexión del filtro activo paralelo	31
Gráfico 2. 6 Estructura y esquema de conexión del filtro activo serie sintonizado	31
Gráfico 3. 1 Área de concesión de ELEPCO S.A.	35
Gráfico 3. 2 Evolución de la instalación de cocinas de inducción en ELEPCO S.A.	39
Gráfico 3. 3 Porcentajes de cocinas de inducción instaladas en los alimentadores de ELEPCO S.A.	41
Gráfico 3. 4 Modelación circuito de transformador con perturbaciones armónicas	45
Gráfico 3. 5 Análisis de THDV en circuito de transformador	45
Gráfico 3. 6 Circuito de transformador con sistema de filtrado	46
Gráfico 3. 7 Resultados análisis de espectro de frecuencias con sistema de bloqueo de tercer armónico ..	46
Gráfico 4. 1 Esquema de instalación del sistema de filtrado FB3T	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Comparación entre soluciones de mitigación de perturbaciones por armónicos.....	18
Tabla 2. 1 Cuadro de operacionalización de la variable independiente	26
Tabla 2. 2 Cuadro de operacionalización de la variable dependiente	27
Tabla 3. 1 Área de concesión de ELEPCO S.A.	34
Tabla 3. 2 Centrales hidroeléctricas de ELEPCO S.A.	35
Tabla 3. 3 Subestaciones de distribución de ELEPCO S.A.	36
Tabla 3. 4 Alimentadores en la subestación El Calvario	37
Tabla 3. 5 Evolución de la instalación de cocinas de inducción en ELEPCO S.A.	38
Tabla 3. 6 Porcentaje de cocinas de inducción instaladas por clientes en alimentadores de ELEPCO S.A.	40
Tabla 3. 7 Porcentaje de pérdidas por armónicos en transformadores	45
Tabla 4. 1 Características técnicas filtro FB3T marca CIRCUITOR.....	50
Tabla 4. 2 Materiales para instalación del sistema de filtrado	51
Tabla 4. 3 Costos de implementación del filtro FB3T	51
Tabla 4. 4 Flujos netos anuales del proyecto de instalación del filtro FB3T.....	52

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. 1 Pérdidas en el cobre.....	15
Ecuación 1. 2 Pérdidas en el hierro por histéresis	15
Ecuación 1. 3 Pérdidas en el hierro por corrientes de Foucault.....	15
Ecuación 1. 4 Pérdidas totales en el hierro	15
Ecuación 1. 5 Factor K en transformadores.....	16
Ecuación 1. 6 Pérdidas por corrientes de Foucault ANSI/IEEE.....	19
Ecuación 1. 7 Pérdidas adicionales en el transformador	20
Ecuación 2. 1 THD de voltaje	26
Ecuación 2. 2 THD de corriente.....	26
Ecuación 3. 1 Tendencia de comportamiento variabe dependiente	38

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

“Incidencia de la instalación masiva de cocinas de inducción en el nivel de armónicos de la red secundaria de distribución en el alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución el calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016. Propuesta de un plan de acción para mantener un nivel permisible de contaminación por armónicos”

Autora: Vásquez Tovar Julieta Nathalie
Tutor: MSc. Ing. León Segovia Manuel Ángel

RESUMEN

Esta investigación trata sobre el problema producido por la instalación masiva de cocinas de inducción en las redes de distribución de bajo voltaje de consumo residencial sobre el nivel de perturbaciones por armónicos que presenta la energía que se suministra al usuario final, el cual específicamente corresponde al incremento de la componente del tercer armónico en porcentajes de aproximadamente el 9% del valor de la componente fundamental de 60 Hz.

En el apartado del marco teórico y contextual se presentan los aspectos legales que regulan los niveles de perturbaciones por armónicos permitidos y conceptualizaciones teóricas fundamentales de los elementos de la red de distribución, las cocinas de inducción y los sistemas de filtrado.

El trabajo realizado en base a la modalidad de investigación de proyecto factible, describe la relación de dependencia entre las dos variables, que corresponden a la instalación masiva de cocinas de inducción en las redes de distribución de bajo voltaje de consumo residencial y el nivel de perturbaciones por armónicos, a través de un análisis pormenorizado de sus características basado en una investigación de campo observando datos de la realidad del fenómeno, desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo. Adicionalmente se presenta una descripción de los aspectos metodológicos que enmarcan el proyecto de investigación, que se define como una de tipo explicativa, apoyada en la aplicación de los métodos inductivo y deductivo y en el uso de técnicas como la observación, y el uso de software de análisis matemático e instrumentos de medición de calidad de energía.

Finalmente con base en los análisis de los resultados de la investigación se presenta una propuesta de implementación de filtros de armónicos para mantener el valor de la componente del tercer armónico en un porcentaje menos al 5% de la componente fundamental, que es la tolerancia fijada para este parámetro de acuerdo a la normativa regulatoria de aplicación en Ecuador.

Palabras clave: Cocinas de inducción, armónicos, filtros, cargas no lineales.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
UNIT OF POSTGRADUATES
MASTERS IN ENERGY MANAGEMENT**

“Incidence of induction cookers massive installation in the harmonic level of the secondary distribution network in the feeder Latacunga center of the distribution substation El Calvario of ELEPCO S.A. in 2016. Proposal for an action plan to maintain an allowable level of harmonic pollution”

**Author: Vásconez Tovar Julieta Nathalie
Tutor: Msc. Ing. León Segovia Manuel Ángel**

ABSTRACT

This research deals with the problem produced by the massive installation of induction cookers in residential, low voltage distribution networks on the harmonic disturbances level presented by the energy supplied to the final user, which specifically corresponds to the increase of the third harmonic component in approximately 9% of the 60 Hz fundamental component.

In the section of the theoretical and contextual framework the legal aspects that regulate the levels of perturbations by allowed harmonics and fundamental theoretical conceptualizations of the distribution network elements, induction cookers and filtration systems.

This work, based on the feasible project research modality, describes the relationship of dependence between two variables. They are the massive installation of induction cookers in residential, low voltage distribution networks and the level of disturbances by harmonics, through a detailed analysis of its characteristics, based on a field research, observing data of the phenomenon reality, from a qualitative and quantitative point of view. In addition, a description of the methodological aspects that frame the research project is presented, which is defined as an explanatory type, supported by the application of inductive and deductive methods and through the use of techniques such as observation, mathematical analysis software and energy quality measurement instruments.

Finally, based on the analysis of the research results, a proposal is presented for the implementation of harmonic filters to maintain the third harmonic component value in a percentage less than 5% of the fundamental component, which is the tolerance set for this parameter, according to the regulations of application in Ecuador..

Keywords: Induction cookers, harmonics, filters, non-lineal loads.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más comunes que afectan la calidad de la energía eléctrica en los sistemas de distribución es la contaminación por armónicos, fenómeno que corresponde a la formación de voltajes y corrientes sinusoidales de frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, como respuesta de cargas específicas denominadas no lineales. Este fenómeno causa problemas tanto al consumidor de la energía eléctrica como a la empresa encargada de su suministro; dentro de los cuales se pueden destacar el aumento de pérdidas, la sobrecarga de equipos instalados, el sobredimensionamiento de equipo y los errores de medición en instrumentos, todos estos relacionados con su equivalente impacto económico.

El propósito fundamental de esta investigación está orientado a implementar paulatinamente filtros para compensación de activos en el alimentador Latacunga centro de la subestación El Calvario de la Empresa Eléctrica provincial Cotopaxi S.A. que pueden originarse en la energía de suministro a los usuarios de estas redes debido a la introducción masiva de cocinas de inducción como cargas en los transformadores de distribución, con la finalidad de reducir pérdidas técnicas de energía y mejorar la calidad de producto entregada a los clientes.

A continuación se detallan los componentes del proyecto con un breve resumen de cada uno:

En la introducción se hace referencia al problema de la investigación, contextualizándolo desde la problemática global hasta la local, estableciendo el objeto de estudio, la justificación de la investigación y el campo de acción de la misma.

En el Capítulo 1, se describe el marco teórico que sustenta la investigación, la argumentación legal que norma la calidad de energía a suministrar por las empresas distribuidoras, antecedentes de estudios relacionados a la presente investigación, y fundamentación teórica básica y en detalle de los aspectos relacionados a la investigación de las perturbaciones armónicas originadas por la instalación masiva de cocinas de inducción como cargas en la red de consumo residencial.

En el Capítulo 2, se describe la metodología de investigación, el enfoque metodológico, modalidad, tipo y nivel de investigación, así como las técnicas e instrumentos utilizados. Se mencionan también las regulaciones existentes para la realización de mediciones para determinar la calidad de energía en los transformadores de distribución.

En el Capítulo 3, se presenta un análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones disponibles, previo a una caracterización del objeto de estudio mediante análisis estadísticos de tendencias basados en tablas y gráficos.

En el Capítulo 4, se plantea un plan de acción para realizar el montaje paulatino de filtros de armónicos en las redes afectadas por perturbaciones armónicas representativas, basado en un análisis técnico económico de la propuesta considerando la relación costo beneficio.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación generadas con el desarrollo de la investigación en base al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Delimitación del problema

En la actualidad el avance de la tecnología permite mejorar las condiciones de vida de las personas, brindando principalmente comodidades y seguridad en las actividades de la vida diaria, todo esto por medio de la instalación de equipos electrónicos modernos, lo cual adicionalmente de aumentar el consumo de energía eléctrica produce un incremento de los niveles de armónicos en la energía que circula en la red eléctrica.

En la mayoría de países del mundo, actualmente no existe ningún concepto en la tarifa de la energía eléctrica para penalizar el consumo de armónicos. No obstante, dada la magnitud del problema, son muchos los países que están en vías de estudio de algún tipo de recargo en caso de que dichos consumos sobrepasen los límites permitidos por norma.

Con la finalidad de establecer responsabilidades entre las partes, 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, a nivel de Latino América, 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.

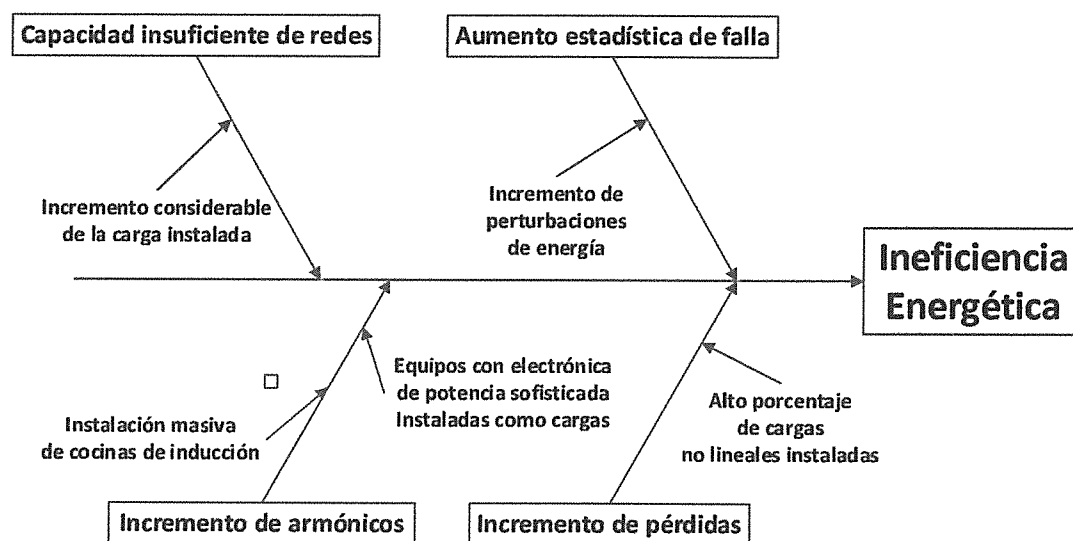
En Ecuador, concordante con el cambio de la matriz energética previsto a implementarse en el país, debe tomar impulso con la puesta en marcha de la central de generación hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, en funcionamiento ya desde noviembre del año 2016; se está ejecutando el Programa de eficiencia energética para cocción a inducción y calentamiento de agua con electricidad en sustitución del gas licuado de petróleo en el sector residencial (PEC), con el cual se pretende instalar 3 millones de cocinas eléctricas

de inducción en igual número de hogares desde agosto de 2014 hasta finales del 2018(Ministerio de Electricidad y Energía Renovable).

A pesar de que todas las cocinas de inducción que se comercializan en el Ecuador deben obligatoriamente cumplir con las disposiciones del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101, que determina las características mínimas de seguridad, eficiencia y operación de estos artefactos, se puede predecir que existirán problemas de generación de distorsión armónica generado por la masiva instalación de estas cargas no lineales en la red eléctrica destinada para el consumo residencial, lo que a la vez desencadenará en ineficiencia energética en el sistema. Se estima que este fenómeno ocurra en las redes de distribución de bajo voltaje de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, especialmente en aquellas que alimentan a los consumidores residenciales ubicados en zonas de alta densidad poblacional, que es la población objeto hacia quienes está orientado el cambio de cocinas a gas por inducción.

En el siguiente diagrama de causa efecto se representa gráficamente la incidencia de las causas y subcausas que provocan ineficiencia energética, de las cuales la presente investigación se enfoca en la causa de incremento de armónicos provocada por la instalación masiva de cocinas de inducción, y la relación entre estas dos variables.

Gráfico I.1 Diagrama de causas de ineficiencia energética



Fuente: (Vásconez J., 2017)

Las causas de esta ineficiencia energética ocasionada por la introducción al sistema eléctrico de cocinas de inducción, principalmente son el incremento del consumo

energético por sobrecalentamiento y la introducción de un mayor nivel de armónicos en la red; las mismas que pudieran ocasionar el acortamiento de la vida útil de los elementos de la red y los equipos instalados de propiedad de los consumidores, así como el incremento de pérdidas técnicas energéticas y de fallas en la red eléctrica.

De las consecuencias anotadas, se destaca la relacionada al incremento del nivel de armónicos en la red, ya que afecta a la calidad de energía suministrada al consumidor y esto puede ocasionar daños en sus equipos.

El no proveer una alternativa de solución para mitigar el incremento previsto del nivel de armónicos en la red, pudiese ocasionar una afectación a los indicadores de gestión de las empresas distribuidoras y el desaprovechamiento de los recursos invertidos en la generación de la energía perdida.

Por lo expuesto anteriormente, con base en la necesidad de la empresa distribuidora y del consumidor se pretende plantear un plan de acción para mantener un nivel permitido de contaminación por armónicos en la red, que determine las medidas a tomar en correspondencia a las variaciones de estas distorsiones.

Formulación del problema

¿Cómo influye la instalación masiva de cocinas de inducción en el nivel de armónicos en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016?

Objeto de estudio de la investigación

El objeto de estudio son las redes de distribución de energía en bajo voltaje para consumo residencial de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi.

Determinación de variables

Para la investigación se han establecido las siguientes variables; la primera definida como variable independiente, por ser la causa principal de la situación problemática, que es la instalación de cocinas de inducción; y la segunda como variable dependiente, que es el efecto más importante del problema, que son los armónicos en la red secundaria de distribución.

Objetivo general de la investigación

Diseñar un plan de acción para el montaje paulatino de filtros de armónicos producidos por la instalación masiva de cocinas de inducción para mejorar la eficiencia energética en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el nivel de contaminación por armónicos en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016.
2. Pronosticar la variación en el nivel de contaminación por armónicos en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016 originada por la instalación masiva de cocinas de inducción.
3. Determinar las acciones para mantener un nivel permitido de armónicos en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016.
4. Predecir la calidad de energía en la red de distribución de bajo voltaje en función de las acciones previstas.
5. Evaluar los beneficios de implementación de medidas para el mantenimiento del nivel de armónicos en parámetros permitidos en la red de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016.

Campo de acción de la investigación

El campo de acción de la investigación son los planes de acción para mantener un nivel permitido de armónicos en la red secundaria de distribución.

Hipótesis

La aplicación de un plan de acción para el montaje paulatino de filtros de armónicos en la red secundaria de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016 permitirá mantener la distorsión por contaminación de armónicos dentro de los rangos permitidos por norma.

Enfoque epistemológico

Para el trabajo de investigación se pretende aplicar el paradigma de investigación cualicuantitativo, ya que dentro de la planificación a ejecutar en el desarrollo, de acuerdo al enfoque cuantitativo, se incluyen el recoger, procesar y analizar datos cuantitativos (numéricos) sobre las variables previamente determinadas, con mediciones, a los que se les dará una connotación más allá de un listado de datos organizados como resultado; pues la información que se muestre en el informe final, estará relacionada con las variables y su relación de dependencia. Como producto de la investigación se obtendrá un informe que muestre los resultados, así como las conclusiones y recomendaciones, para lo cual se aplicó el enfoque cualitativo.

Además de lo antes expuesto, vale decir que en la investigación se aplica el enfoque cualicuantitativo porque estudia la asociación o relación entre las variables que serán cuantificadas, lo que ayuda aún más en la interpretación de los resultados, que expresan la relación o asociación entre ellas.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO Y CONTEXTUAL

A diario la tecnología avanza en el mundo, creando soluciones a los problemas que enfrenta el ser humano, haciendo más fácil su vida y al mismo tiempo haciéndolo más dependiente de la energía eléctrica que alimenta esta tecnología.

El Ecuador no escapa a esta realidad, tal es así que se ha encaminado el desarrollo del país con un alto grado de atención en el suministro de energía eléctrica, incluso al grado de elevar este concepto a política de Estado, a través del cambio de la matriz energética, tomando como punto de partida el uso de energías renovables amigables con el ambiente.

Dentro de las estrategias del cambio de la matriz energética del Ecuador, se encuentra la construcción de nuevas hidroeléctricas y la repotenciación de las existentes, elevando la capacidad de generación de energía eléctrica en el país; atado a lo cual se han diseñado planes como el de la eliminación del uso gas licuado de petróleo en la cocción y calentamiento de agua de los clientes residenciales, usando la energía eléctrica producida tanto para cocinas de inducción como para calentadores de agua.

En Ecuador para incentivar el cambio de calentadores de agua a gas por calentadores eléctricos y las cocinas de gas por las de inducción, existe un incentivo tarifario que subsidia parte de la energía consumida en estos procesos.

Las cocinas de inducción están siendo usadas en muchos hogares del Ecuador, y por ende en la ciudad de Latacunga; sin embargo de los beneficios previstos en referencia al uso eficiente de la energía; por ser estos equipos cargas de tipo no lineal se podría estimar que por su naturaleza contribuyan a la generación de perturbaciones (armónicos) en las redes de distribución por encima de los valores permitidos por la normativa.

Debido al posible incremento masivo en el uso de cocinas de inducción, además de implementar el reforzamiento de las redes de distribución para soportar la demanda incrementada, se deben tomar previsiones con respecto a la calidad de energía suministrada al cliente, debido a un posible incremento del nivel de armónicos en la red, con el fin de brindar un eficiente servicio a los clientes.

En el presente capítulo se presenta un análisis de las redes de distribución, describiendo su caracterización desde el punto de vista técnico, los aspectos principales a analizar en

la calidad de la energía eléctrica suministrada en función de la normativa legal aplicable y los rangos tolerables en razón de estas regulaciones, así como los efectos que se producen en las redes a consecuencia del incremento del nivel de armónicos, y las posibles estrategias de mitigación de estos efectos negativos.

1.1. Antecedentes

En el Ecuador desde hace varios años atrás, se han venido introduciendo nuevos usos de fuentes de calor, para la cocción de alimentos, se ha pasado desde el uso de leña, carbón, kérex, GLP, hasta llegar a la energía eléctrica.

Cada una de estas fuentes ha sido apreciada en sus tiempos, por las diferentes prestaciones, por ejemplo la leña, dependiendo de qué árbol se haya obtenido, aportaba un sabor especial a la comida, el carbón por su constitución aportaba un sabor ahumado a la comida, el kérex por ser un elemento, en su tiempo de fácil obtención para el usuario final fue rápidamente aceptado en los hogares del Ecuador, el GLP vino a revolucionar la cocción, ya que desde que empezó su distribución, el gobierno ha subsidiado el uso de esta fuente de energía hasta el día de hoy.

A pesar de aquello, este subsidio no ha llegado a los sectores más pobres del Ecuador, sino que los mayores beneficiarios han sido los contrabandistas, que venden en las fronteras el GLP subsidiado a mayores precios; además no se debe olvidar a grandes empresas que usan GLP doméstico, para sus industrias, generando un gran perjuicio al estado ecuatoriano, incluso se ha llegado estimar que la cantidad de gas licuado de petróleo que sale del Ecuador, es mayor que el que llega a los hogares ecuatorianos. Según la ARCH, Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, en el 2011 reportó que el consumo de GLP del sector doméstico fue de 929.505 toneladas, con la premisa de que el 80%, 743.604 toneladas de GLP se destina para cocción de alimentos (CONELEC, 2013).

Además de lo mencionado anteriormente, no se debe olvidar que todas estas fuentes de calor, tal como la leña, el carbón el kérex y el GLP, transmiten su calor a las ollas por medio de una llama viva, la misma que es ineficiente, termodinámicamente hablando, ya que solo se aprovecharía en el mejor de los casos un 50% de su poder calorífico, sin dejar a un lado el riesgo de tener llama en la cocina y mucho peor aún tener un contenedor de combustible en nuestros hogares, los cuales por falta de conciencia y cultura de seguridad ha cobrado muchas vidas en los hogares

Por todo lo expuesto el Gobierno ecuatoriano, ha implementado desde el año 2015 un programa de cocción eficiente, el cual tiene como objetivo principal disminuir al mínimo el uso del GLP como fuente calor para la cocción, introduciendo de forma masiva el uso de cocinas de inducción; cuyo funcionamiento según varios estudios, es más eficiente en el uso de recursos energéticos, ya que aprovecha el 84% de la energía que consume, los tiempos de cocción de los alimentos son más cortos y fundamentalmente su uso es mucho más seguro que cualquier cocina que use GLP.

Por la premura de implementar este proyecto, no se ejecutaron estudios en detalle a largo plazo sobre el impacto que éste tiene en la calidad de energía en las redes de suministro eléctrico, ya que el uso masivo de cocinas de inducción, equipos que por su naturaleza generan perturbaciones en las redes, debido a que no son cargas lineales. Estas perturbaciones generan pérdidas, que posiblemente no están bien dimensionadas, dentro de los estudios del plan de cocción eficiente, pudiendo después de varios años generar pérdidas considerables para el Estado.

1.2. Normativa vigente para controlar las perturbaciones en las redes de baja tensión

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, a nivel de Latino América, 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 se han implantado regulaciones que han permitido entregar un suministro de energía eléctrica de calidad para los abonados y a la vez mitigar los impactos ambientales de la operación de estas empresas, ya sea por la transmisión o su transmisión de la energía eléctrica o su distribución al usuario final

La constitución (Constitución de la Republica del Ecuador , 2008), garantiza el uso de la energía alternativa en el Artículo 15 que dice *“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.”*

El Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, en la regulación N° CONELEC-004/01 (Consejo Nacional de Electricidad, 2001) señala los índices de calidad que la empresas

eléctricas deben cumplir en el suministro de energía eléctrica a los clientes, además determina muy claramente los límites entre los cuales las perturbaciones son aceptables, los métodos de medición, periodicidad y límites.

Adicionalmente por lo dispuesto en la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica -LOSPEE, publicada en Registro Oficial No. 418 de enero 16 de 2015, a través de su artículo 12 “Atribuciones y deberes”, se le delega al MEER, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, como el encargado de la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE), en el cual se manifiesta la implementación de la cocción por inducción en los hogares, de manera voluntaria con el único afán de eliminar el uso del GLP.

En lo referente a las cocinas de inducción que se comercializan en el Ecuador, éstas deben obligatoriamente cumplir con las disposiciones del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 101, que es la norma que regula todos los aspectos constructivos y operacionales de las cocinas de inducción.

En cuanto al uso de energía eléctrica para cocción por inducción, como incentivo para extender el uso de este portador energético para cocción en los hogares ecuatorianos, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad en el Pliego Tarifario del año 2016 (ARCONEL, 2016), incluye en el artículo 4.2, un incentivo tarifario para las personas que utilicen una cocina de inducción en su hogar, de hasta 80kW/h.

1.3.Aspectos teóricos fundamentales

1.3.1. Redes de distribución

La energía eléctrica producida no es susceptible de almacenarse, por ello es necesario transportarla desde el centro de producción hasta el lugar de consumo de un modo rápido y eficiente, para esto se han diseñado redes de transmisión y distribución de energía eléctrica mediante las cuales la energía llega al consumidor final.

De acuerdo a la conceptualización dada por (Terol, Gonzalez, & Pareja, 2013) se define el sistema eléctrico como *“el conjunto de centrales generadoras de energía, estaciones, subestaciones, redes de transporte y distribución que permiten el suministro de energía eléctrica, desde la generación hasta los puntos de consumo, en condiciones adecuadas de tensión, frecuencia y disponibilidad.”*(pág. 25).

Dentro de este sistema las redes de distribución constituyen el último paso del suministro eléctrico y lo componen las redes que conectan a los abonados con las estaciones transformadoras reductoras, estas redes pueden ser primarias o secundarias.

La red de distribución primaria, de reparto o red de distribución en alta tensión, enlaza una subestación transformadora con estaciones transformadoras de distribución situadas en los grandes núcleos de población o industriales.

La red de distribución secundaria o red de distribución en media tensión parte de las estaciones transformadoras de distribución hasta los centros de transformación.

Desde los centros de transformación, la red de distribución en baja tensión conecta los usuarios al sistema eléctrico.

1.3.2. Componentes de una red de distribución

Según estos autores (Terol, Gonzalez, & Pareja, 2013), los principales componentes de la red de distribución son los siguientes elementos:

- Centro de reparto. Lugar donde una o más líneas de alta tensión se derivan en otra de la misma tensión. Es necesario, además, que aloje los dispositivos de protección necesarios de las líneas derivadas.
- Líneas de distribución en media tensión. Líneas de media tensión que, partiendo de la subestación o centro de reparto, alimentan a los centros de transformación.
- Centros de transformación. Incluye la instalación con toda la aparenta necesaria para la reducción de las líneas de media tensión a líneas de baja tensión. Alojará un transformador cuya entrada será de media tensión y salida de baja tensión, así como toda la aparenta necesaria para maniobra y protección.
- Líneas de distribución en baja tensión. Líneas de baja tensión que partiendo del centro de transformación, alimentan a los usuarios o abonados.

En todos los componentes de las redes de distribución, las pérdidas de energía sin duda son una parte más de este sistema, que se presentan en cada uno de los componentes, y deben su origen a diferentes causas.

1.3.3. Perturbaciones en las redes de distribución

Según (Autonell, Balcells, Barra, Brossa, Fornieles, Garcia & Ros, 2012), *“los problemas de “no calidad” son un factor más dentro del coste de la energía eléctrica y como tal*

deben ser considerados dentro del concepto de eficiencia y uso racional de la energía”.
(pág. 56)

Un sistema ideal de distribución de energía eléctrica tiene ondas senoidales de entrada y salida, pero en la realidad no sucede esto, ya que existen perturbaciones o desviaciones en la red, las mismas que según (Autonell, y otros, 2012) se clasifican en: desviaciones de frecuencia, amplitud y simetría.

Las perturbaciones mencionadas son generadas por los elementos conectados a la red, tales como son: dispositivos ferromagnéticos, convertidores estáticos de potencia y dispositivos que generan arcos eléctricos.

Las perturbaciones generan pérdidas ocultas en las redes de distribución, por lo que hay perjuicio para las entidades distribuidoras en energía eléctrica, debiéndosele poner mucha atención a la corrección de dichas perturbaciones.

1.3.4. Pérdidas de energía por armónicos

Según (Vásquez, 2010) las pérdidas asociadas a los armónicos son debidas principalmente a la energía que se disipa en forma de calor y en algunos casos pueden llegar a ser muy importantes, aunque según el estudio realizado, se establece un porcentaje promedio correspondiente al 0.24%. Este hecho nos indica que para el consumidor las pérdidas no serían considerables, sin embargo para las empresas distribuidoras de energía, este valor porcentual incide de manera importante en los índices de pérdidas generales y en los costos que la energía no facturada representa para su situación económica.

1.3.5. 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, EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS, 2012).

Actualmente en una vivienda residencial promedio, puede encontrarse un número importante de cargas no lineales como: televisores, computadoras personales, videograbadoras, equipos de audio, hornos a microondas, lámparas fluorescentes

compactas, las cuales son las causantes de la introducción un elevado contenido armónico en la red de distribución.

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 J. , Di Mauro, Anaut, & Agüero, 2005).

Con este aumento en el uso 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, que no se contemplaban anteriormente. Entre estos están el sobrecalentamiento de cables, transformadores y motores, corrientes excesivas en el neutro, fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito y en general la calidad en el suministro de energía eléctrica se ha ido deteriorando por la distorsión presente en los voltajes y corrientes.

1.3.6. Factor de distorsión armónica

Uno de los índices más utilizados es la denominada distorsión armónica total, citada en la literatura anglosajona como THD (*Total Harmonic Distortion*), y aplicable tanto para corriente como para tensión. Según (Suárez J. , Di Mauro , Anaut, & Agüero , 2005) este índice se define como la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental. Este valor es usualmente expresado como un porcentaje de la onda fundamental.

1.3.7. Cocinas de inducción

Las cocinas de inducción domésticas calientan los materiales ferromagnéticos debido a la aplicación de un campo magnético variable creado por una bobina. Dicha bobina está alimentada por un inversor resonante que genera una corriente alterna como se expresa en (Burdio , y otros, 2013). Este proceso tiene menos pérdidas de energía, el material se agita magnéticamente, la energía absorbida se desprende en forma de calor, calentando el recipiente.

Todos los sistemas de calentamiento inductivo son desarrollados usando el principio de inducción electromagnética, el cual fue descubierto por Michael Faraday y Joseph Henry en 1831. La inducción electromagnética refiere al fenómeno por el cual se genera

corriente eléctrica en un circuito cerrado a causa del campo magnético producido por la fluctuación de corriente en otro circuito cercano.

El calentamiento por inducción es un proceso que se usa para unir, endurecer o ablandar metales u otros materiales conductores. Para muchos procesos industriales modernos, el calentamiento por inducción ofrece una combinación atractiva de velocidad, consistencia y mando.

1.3.8. Consumo de las cocinas de inducción

En el auge actual de la utilización de este tipo de cocinas, mucho se ha hablado sobre el consumo de la energía que éstas necesitan para funcionar, según el autor (Romero, 2014) el consumo mensual promedio de este artefacto, bajo parámetros típicos de factor de potencia, factor de simultaneidad y factor de utilización, corresponde a 268.67 kWh/mes.

1.3.9. Armónicos en las cocinas de inducción

Según la investigación de (Tapia & Vilcacundo, 2014) de acuerdo a las pruebas realizadas con un analizador de energía en cocinas de inducción de dos tipos, Kalley y Dunxtop, se concluye que los armónicos más críticos originados por el funcionamiento de estos artefactos son el tercero y quinto, los cuales afectan principalmente al neutro del circuito, debido al aumento de circulación de corriente que producen.

1.3.10. Efectos de los armónicos

Según lo descrito por (Autonell, y otros, 2012) en su obra:

“Los principales efectos de los armónicos sobre la red pueden resumirse diciendo que éstos aumentan innecesariamente la potencia que hay que transportar y por consiguiente empeora el factor de potencia. Los armónicos son los responsables de que los cables y los transformadores de las redes de distribución resulten insuficientes para transportar un determinada potencia útil y de que se produzcan en ellos pérdidas innecesarias, que se traducen además en calentamiento de los cables, transformadores, interruptores y otros medios de distribución, disparo indebido en interruptores, esto debido a dos tipos de pérdidas: en el cobre y en el hierro” (pág. 68).

De lo anterior se observa que la falta de control sobre este aspecto de perturbación de la energía repercute sobre un aspecto importante que son pérdidas económicas por

sobredimensionamiento de redes, incremento de número de fallas. A continuación se analizan los tipos de pérdidas, en cobre y en hierro.

Pérdidas en cobre: según (Autonell, y otros, 2012) las pérdidas que se generan en las redes de cobre, afectan todos los elementos resistivos que se encuentran en la red, es decir, cables, contactores, interruptores, incluso los devanados de los transformadores. Las pérdidas en los elementos de cobre se calculan según la ecuación 1:

$$P = R \cdot I = R \cdot \sqrt{\sum I_n^2} \quad (\text{Ecuación 1. 1})$$

En la práctica la existencia de armónicos en las redes afecta directamente al valor eficaz total de la corriente, factor que influye claramente en el momento de dimensionar el cable y elementos resistivos de una red eléctrica.

Pérdidas en hierro: según (Autonell, y otros, 2012) las pérdidas en hierro son dos, las pérdidas por histéresis P_H , y pérdidas por corrientes inducidas de Foucault P_F . Estas pérdidas se calculan según las ecuaciones 1.2 y 1.3:

$$P_H = k_h \cdot \sum n \cdot I_n^2 \quad (\text{Ecuación 1. 2})$$

$$P_F = k_F \cdot \sum n^2 \cdot I_n^2 \quad (\text{Ecuación 1. 3})$$

Donde las pérdidas totales en el hierro de acuerdo a la ecuación 1.4 son:

$$P_{Fe} = k_{Fe} \cdot \sum n^q \cdot I_n^2 \quad (\text{Ecuación 1. 4})$$

1.3.11. Factor K de reducción de potencia de transformadores

Según (Bacells, 2001) la presencia de armónicos en las redes eléctricas, genera un calentamiento en los transformadores, generando un factor de reducción de la potencia de los mismos, conocido como factor K , que calcula mediante la ecuación 1.5:

$$K = \sqrt{1 + \frac{e}{1+e} \left(\frac{I_1}{I_{ef}}\right)^2 \cdot \sum_{n=2}^{40} n^q \cdot \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 1. 5})$$

“Donde e es un factor que representa la relación entre pérdidas en el cobre y pérdidas en el hierro del transformador. Este factor se puede obtener de los datos de ensayo del transformador, o en su defecto puede tomarse como valor aproximado $e=0,3$ y el exponente q suele tomarse de 1,7 a 1,8”

1.3.12. Filtros de armónicos

El efecto de las corrientes armónicas superpuestas en la red de alimentación se puede reducir a niveles insignificantes conectando circuitos de filtrado directamente a la parte de baja tensión. Dichos circuitos en resonancia emplean reactancias en serie con los condensadores. Según (Nieto & Alvarado, 1998) los circuitos en resonancia deben estar sintonizados de tal forma que presenten una impedancia para las corrientes armónicas individuales que se aproxime a cero y que sea muy reducida en comparación con la impedancia del sistema de suministro de energía. Las corrientes armónicas de los convertidores son absorbidas de esta forma en gran medida por los circuitos de filtrado. Solamente un pequeño resto entra en el sistema de forma que el voltaje se distorsiona en menor grado y las interferencias con otras cargas se evitan en gran medida. Puesto que los circuitos de filtrado representan una carga capacitiva para la frecuencia básica del sistema toman además de las corrientes armónicas también una corriente capacitiva a la frecuencia de la corriente básica, como resultado contribuyen a compensar la potencia reactiva de los convertidores y de otras cargas del sistema.

1.3.13. Filtros pasivos

Según (Autonell, y otros, 2012), estos filtros son similares a los de rechazo, están formados por varias ramas L – C, de tal manera que solo pueden filtrar un grupo determinado de armónicos. Los valores que tomen L – C dependerán de los armónicos que se deseen absorber. Estos filtros regularmente están contruidos por condensadores sobredimensionados, normalmente conectados en estrella, dotándolos de un gran margen de absorción de corriente.

1.3.14. Filtros activos

Según (Autonell, y otros, 2012) estos filtros están basados en *“convertidores de potencia conmutados, con modulación de ancho de pulso PWM y que tienen como misión la de cancelar los armónicos de tensión y/o corriente presentes de una determinada línea”* (pág. 72), pudiendo ser de dos tipos.

- Filtros serie, *“tienen como objetivo mejorar el suministro de tensión que recibe la carga, corrigiendo perturbaciones del lado de la red”* (pág. 72). Estos filtros corrigen bajas tensiones, oscilaciones de tensión y cierto grupo de armónicos. Su funcionamiento se basa en sumar o restar tensión en la red para corregir las perturbaciones.
- Filtros paralelo, este filtro tiene como objetivo *“disminuir los armónicos de corriente que se vierten en la red de alimentación debidos a cargas no lineales. Su principio de funcionamiento se basa en inyectar a la red una corriente tal que sumada a la carga produzca un total en la red, libre de perturbaciones y en fase con la tensión.”* (pág. 73).

1.3.15. Filtros híbridos

Según (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012), este tipo de filtro nació con el propósito de disminuir el sobredimensionamiento y por ende gastos innecesarios abaratando soluciones a costo de una reducción en el espectro de atenuación del filtro. De acuerdo a los autores estos filtros se definen como:

“Una combinación de filtros activos y pasivos. Teóricamente, los filtros pasivos son empleados para mitigar armónicas dominantes de baja frecuencia. Los filtros activos actúan sobre las armónicas de alta frecuencia, permitiendo con ello disminuir el sobredimensionamiento. De hecho, se está liberando al o a los filtros activos de la tarea de mitigar una gran cantidad de corrientes armónicas, orientando a su acción a una mitigación complementaria.

Hablando de las aplicaciones prácticas de las soluciones híbridas, suele ocurrir que los filtros pasivos se piensen para la compensación de potencia reactiva, y los filtros activos, para la mitigación de armónicas. De ser así, los filtros pasivos se sacan de sintonía y los activos siguen siendo sujetos al sobredimensionamiento.”(pág. 81).

1.3.16. Comparación entre las soluciones para mitigar perturbaciones armónicas

Según lo descrito por (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012) de acuerdo a su análisis las ventajas y desventajas entre las diferentes soluciones disponibles en el mercado para la mitigación de armónicos se resumen en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Comparación entre soluciones de mitigación de perturbaciones por armónicos

	Reactor de línea	Transformadores con convertidores multipulsos	Filtros pasivos	Filtro activo paralelo	Filtros híbridos
Mitigación del grupo de armónicas	Pobre, porque sólo aborda armónicas de alta frecuencia	Buena	Regular	Excelente. Mitiga un rango amplio de armónicas	Excelente. Mitiga un rango amplio de armónicas
Niveles típicos de distorsión en la corriente	De 35 a 45% de THD	De 5 a 15 % (mejora si se agregan convertidores y transformadores extras)	El mejor es de 5 a 8%	De 5% del THD o menor	De 5% del THD o menor
Mitigación ante cambios en el espectro de la carga y/o configuración del sistema	Solo si son armónicas de alta frecuencia	Defectuosa	Defectuosa	Buena, presenta esta cualidad	Buena, presenta esta cualidad
Compensación de potencia reactiva	No	No	Si	Opcional	Si
Fenómeno de resonancia	Posible	No	Posible	No	No
Costo	Bajo	Alto	Alto	Alto	Alto
Pérdidas	Considerables	Bajas	Bajas	Altas	Altas
Mantenimiento	No (se opta por reemplazo)	Poco frecuente, pero laborioso y costoso	Simple	Frecuente, laborioso y costoso	Frecuente, laborioso y costoso

Fuente: (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2012)

1.3.17. Efectos de los armónicos en transformadores

Los transformadores disponibles en las redes de distribución en Ecuador están diseñados para operar con corrientes alternas a una frecuencia fundamental de 60 Hz, lo que implica que operando en condiciones de carga nominal y con una temperatura no mayor a la

temperatura ambiente especificada, el transformador debe ser capaz de disipar el calor producido por sus pérdidas sin sobrecalentarse ni deteriorar su vida útil.

Las pérdidas en los transformadores consisten en pérdidas sin carga o de núcleo y pérdidas con carga, que incluyen las pérdidas I^2R , pérdidas por corrientes de Eddy y pérdidas adicionales en el tanque, sujetadores u otras partes de hierro.

Pérdidas de núcleo: Producidas por el voltaje de excitación en el núcleo (Pierce, 1996). La forma de onda de voltaje en el primario es considerada sinusoidal independientemente de la corriente de carga, por lo que no se considera que aumentan para corrientes de carga no sinusoidales. Aunque la corriente de magnetización contiene armónicas, éstas son muy pequeñas comparadas con las de la corriente de carga, por lo que sus efectos en las pérdidas totales son mínimos.

Pérdidas I^2R : Si la corriente de carga contiene componentes armónicas, entonces estas pérdidas también aumentarán por el efecto piel (Tejada & Llamas, 2007).

Pérdidas por corrientes de Foucault: Estas pérdidas a frecuencia fundamental son proporcionales al cuadrado de la corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia (Pierce, 1996), razón por la cual se puede tener un aumento excesivo de éstas en los devanados que conducen corrientes de carga no sinusoidal y por lo tanto en también en su temperatura (American National Standard ANSI/IEEE C57.110-1986, 1988). Estas pérdidas se pueden expresar como se muestra en la ecuación 1.6:

$$P_F = P_{F,R} \sum_{h=1}^{h=MAX} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h^2 \quad (\text{Ecuación 1.6})$$

Donde:

h = Número de armónica

I_h = Corriente de la armónica h, en amperes

I_R = Corriente nominal, en amperes

$P_{F,R}$ = Pérdidas de Foucault a corriente y frecuencia nominal

Pérdidas adicionales: Estas pérdidas aumentan la temperatura en las partes estructurales del transformador (Pierce, 1996). Se considera que varían con el cuadrado de la corriente y la frecuencia, como se muestra en la ecuación 1.7 (American National Standard ANSI/IEEE C57.110-1986, 1988):

$$P_{AD} = P_{AD,R} \sum_{h=1}^{h=MAX} \left[\frac{I_h}{I_R} \right]^2 h \quad (\text{Ecuación 1. 7})$$

Donde:

$P_{AD,R}$ = Pérdidas adicionales a corriente y frecuencia nominal

CONCLUSIONES

1. En el Capítulo 1 se realizó un análisis de la normativa vigente que se aplica para establecer los límites permitidos en los niveles de perturbaciones que afectan a la energía suministrada al consumidor, específicamente enfocada en la relacionada con las perturbaciones por la presencia de armónicos de voltaje, que es el parámetro evaluado por el organismo regulador en Ecuador.
2. En este capítulo además se generalizó la situación actual de incremento masivo de cocinas de inducción como cargas en los transformadores de distribución de las redes de bajo voltaje residenciales debido a la ejecución del Programa de eficiencia energética para cocción a inducción y calentamiento de agua con electricidad en sustitución del gas licuado de petróleo en el sector residencial (PEC).
3. Como parte fundamental del desarrollo del Capítulo 1, se puntualizaron los aspectos teóricos fundamentales que caracterizan la redes eléctricas de distribución y perturbaciones en la energía suministrada, se caracterizó el tipo de carga que representa una cocina de inducción, la problemática ocasionada por la presencia de armónicos en la red y una comparación entre las alternativas de solución al problema, teorías que más adelante servirán para definir metodologías de análisis, mejora y evaluación de la calidad de energía en las redes de distribución.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Capítulo 2 se expone la metodología que viabilizó la realización de la investigación, se presentan descripciones de los aspectos metodológicos de los análisis en el estudio, el objeto, modalidad, tipo y métodos de la investigación. Contiene además definiciones de las generalidades y particularidades de los instrumentos y técnicas utilizados en el desarrollo de la investigación, de los parámetros analizados de la energía suministrada en los reportes estadísticos.

Para el desarrollo de la investigación se han determinado las variables dependiente e independiente, los indicadores procedimientos para su evaluación.

Se presentan además las particularidades a tomar en cuenta para la selección de los sistemas de filtrado disponibles en el mercado, con la finalidad de realizar su dimensionamiento, implementación y evaluación.

2.1. Objeto de la Investigación

El objeto de estudio son las redes de distribución de energía en bajo voltaje para consumo residencial de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, en específico el estudio se realizó en el alimentador denominado centro de Latacunga, que es codificado como 0601CV0T04 y corresponde a la salida 4 de la subestación El Calvario que tiene una potencia media de los clientes de 2.447 kW con un factor de potencia medido de 0.93 y una longitud de red eléctrica de medio y bajo voltaje de 3758 m.

2.2. Área de influencia directa

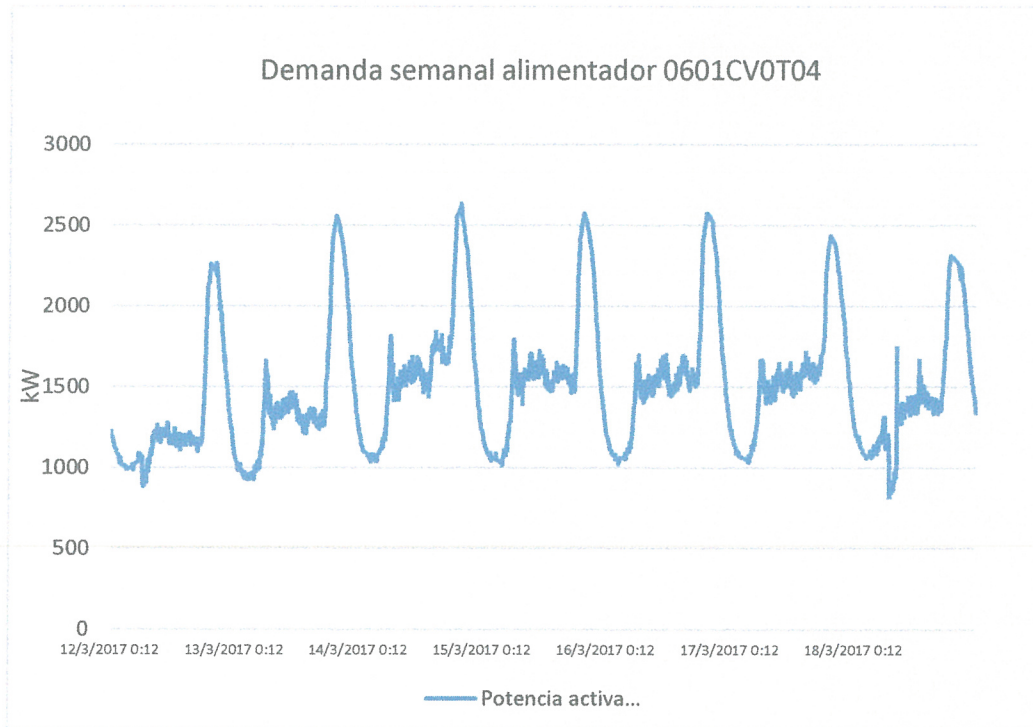
El alimentador 0601CV0T04 que corresponde como se dijo ya a la salida 4 de la subestación El Calvario, y a través de un voltaje en media tensión de 13.8 kV se extiende desde a subestación ubicada en las calles Oriente e Isla San Cristóbal hasta los ramales finales en el sector del El Niágara, en donde se encuentra instalada una carga residencial representativa del cantón Latacunga.

En el gráfico 2.1 se representa la curva de demanda del alimentador durante una semana de operación, que como se aprecia existe un consumo similar a largo de los días de la semana, con una pequeña disminución de demanda en el fin de semana.

Durante un día típico de funcionamiento de trabajo, correspondiente a un día laborable de la semana de trabajo (miércoles, día en el que se registran valores máximos de potencia

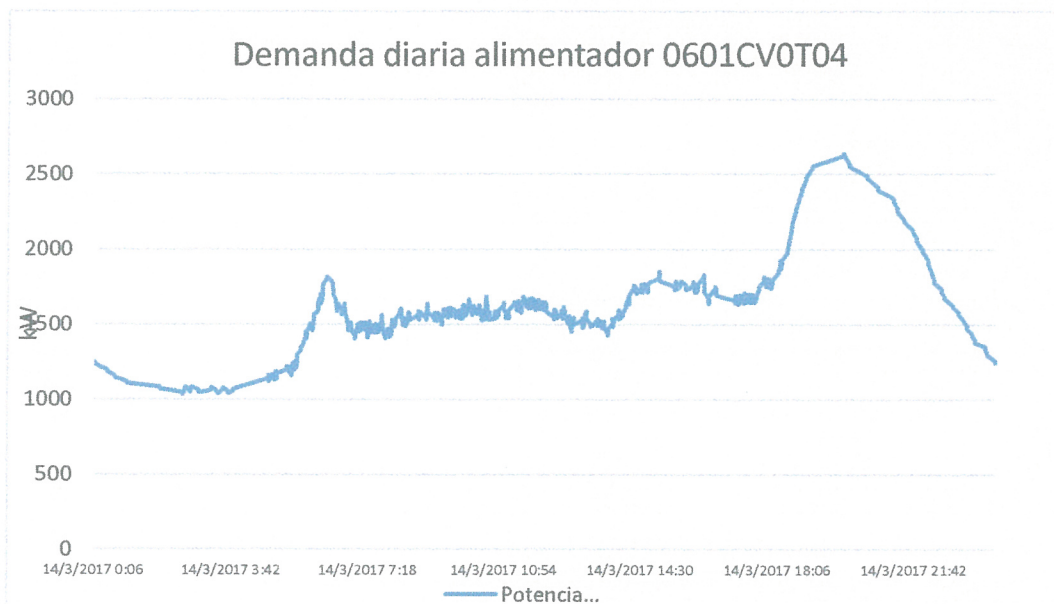
activa), el alimentador presenta una curva de carga caracterizada como se muestra en el gráfico 2.2.

Gráfico 2. 1 Curva de demanda semanal del alimentador 0601CV0T04



Fuente: (Vásconez J., 2017)

Gráfico 2. 2 Curva de carga diario en día laborable alimentador 0601CV0T04



Fuente: (Vásconez J., 2017)

2.3.Modalidad de la investigación

Es preciso definir el tipo y modalidad de investigación realizada, en relación a lo mencionado el presente estudio, esta se enfoca 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.” (p.16)

Se confirma que la investigación se desarrolló bajo la modalidad de proyecto factible, ya que se enfoca en la presentación de una propuesta de un sistema de filtrado de armónicos para la red de distribución de bajo voltaje, en este caso de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, que de una manera técnica y económica factible, que solucione el problema del incremento del nivel de armónicos a causa de la instalación de cocinas de inducción como cargas en la red.

Adicionalmente, este trabajo se apoya en una investigación de campo, que según (Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2005) 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.” (p. 14)

Por tanto, en la investigación se observaron los datos de la realidad, sin que hayan sido manipulados en ningún momento, se verifican 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.

La modalidad de investigación bibliográfica, que según (Alvarado & García, 2008) es el sustento de la investigación en base a informaciones actualizadas e investigaciones

similares desarrolladas; se empleó para el estudio de trabajos antecedentes y el soporte de la fundamentación teórica.

2.3.1. Tipo de investigación

En lo relacionado al tipo de investigación desarrollada, el trabajo llega al tipo de investigación explicativa, la misma que de acuerdo a (Fidias, 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. (p. 26)

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 el incremento del nivel de armónicos y la instalación de cocinas de inducción en la red de distribución de bajo voltaje; y llegar a la comprobación de la hipótesis planteada, asimismo los resultados de la investigación se enmarcarán en proponer un plan de acción para controlar el incremento del nivel de armónicos en la red.

2.3.2. Métodos de investigación

Para desarrollar la investigación se emplearon los métodos deductivo e inductivo, el primero aplicado para determinar por medio de la aplicación de conceptos generales los rangos de variación aceptables de las variables determinadas en la investigación, su comportamiento regular y espontáneo, y mediante el segundo, concluir a través de la comprobación de la hipótesis propuesta en la investigación, que el plan de acción diseñado se puede aplicar como una alternativa de solución para problemas análogos.

2.4. Técnicas e instrumentos

2.4.1. Observación

La técnica de observación a pesar de ser una técnica en su mayoría utilizada en investigaciones de tipo social, se utilizó en el presente estudio para determinar las características específicas de varios filtros disponibles en el mercado, a través de la cual se realizó una operación de clasificación y estructuración de datos que permitieron la selección del equipo adecuado para el diseño de la propuesta. Las fichas de observación se presentan en el Anexo 1.

2.4.2. Software

Para la evaluación de la efectividad de la solución presentada en la propuesta de esta investigación, se utilizó el software denominado Simulink, que funciona bajo la plataforma de MATLAB como una herramienta para modelar, simular y analizar sistemas físicos y de control, lineales y no lineales. Permite realizar estudios en el dominio del tiempo y de la frecuencia, expresar funciones de transferencia en diferentes formas. Es una interfaz gráfica, en la cual se realizan diagramas de bloques que efectúan operaciones matemáticas para dar la solución de un modelo, facilitando su visualización y análisis. Es una herramienta muy utilizada en la ingeniería de control por su versatilidad en simulación.

2.4.3. Instrumento de medición

Para las mediciones de calidad de energía se trabajó con el registrador de calidad de potencia marca FLUKE 1744 configurable a través de una interfaz de computador (Software PQ Log) para medir valores de una serie de parámetros eléctricos a lo largo de un periodo de tiempo definido por el usuario.

Los parámetros de registro disponibles son:

- Tensión eficaz de cada fase (media, mínima, máxima)
- Corriente eficaz de cada fase y neutra (media, mínima, máxima)
- Eventos de tensión (caídas, subidas, interrupciones)
- Potencia (kW, kVA, kVAR, factor de potencia PF, tangente de potencia)
- Energía, energía total
- Flicker (Pst, Plt)
- THD de la tensión
- THD de la corriente
- FC de la corriente
- Armónicos de tensión hasta el orden 50
- Interarmónicos de tensión
- Tensión de señalización de la red eléctrica
- Desequilibrio
- Frecuencia

El instrumento presenta dos funciones de registro denominadas A y P, la función A registra cada armónico de manera individual, tanto de corriente como de voltaje hasta el orden 50, de donde el cálculo de THD y THDI se obtienen con las ecuaciones 2.1 y 2.2:

THD de voltaje

$$THDV = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} V_n^2}}{V_1} \quad (\text{Ecuación 2. 1})$$

V_n : valor eficaz de la frecuencia armónica número n.

V_1 : valor eficaz de la frecuencia fundamental.

THDV: contenido total de armónicos de la tensión de línea como porcentaje de la fundamental.

Este algoritmo es según la norma EN 61000-4-7.

THD de corriente

$$THDI = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{50} I_n^2}}{I_1} \quad (\text{Ecuación 2. 2})$$

I_n : valor eficaz de la frecuencia armónica número n.

I_1 : valor eficaz de la frecuencia fundamental.

THDI: contenido total de armónicos de la corriente como porcentaje de la fundamental.

Este algoritmo es según la norma EN 61000-4-7.

2.5.Operacionalización de las variables

Se presentan las matrices de operacionalización de las dos variables consideradas para la investigación:

Tabla 2. 1 Cuadro de operacionalización de la variable independiente

Variable independiente: Instalación de cocinas de inducción					
Concepto	Categoría/Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Número de cocinas de inducción instaladas en la red de distribución de consumo residencial del alimentador centro de Latacunga de la subestación El Calvario de ELEPCO S.A.	Cargas eléctricas no lineales	Nivel de distorsión armónica permitido por norma en su operación	%		Analizador de energía
	Consumidores energéticos	Cantidad de cocinas de inducción instaladas en la red de distribución del alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario	Unidades	Observación Medición	Ficha de observación Sistema comercial de ELEPCO S.A. Anexo 2
	Energía requerida	Potencia instalada por cocinas de inducción	Wattios	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: (Vásconez J., 2017)

Tabla 2. 2 Cuadro de operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente: Armónicos originados por la instalación de cocinas de inducción					
Concepto	Categoría/Dimensión	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Nivel de distorsión armónica introducida a la red de distribución de baja tensión para uso residencial, por la instalación de cargas no lineales como las cocinas de inducción	Calidad de energía (Perturbaciones)	Factor de distorsión armónica individual de voltaje	%	Medición	Analizador de energía Ficha de medición Anexo 1
		Factor de distorsión total por armónicos	%	Medición	Analizador de energía Ficha de medición Anexo 1
	Energía perdida	Energía perdida en distorsión armónica causada por la instalación cocinas de inducción	Wattios	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costo del filtro de armónicos para la red de distribución de bajo voltaje	Dólares	Observación	Ficha de observación Catálogos fabricantes Anexo 2

Fuente: (Vásquez J., 2017)

2.6. Estadística de instalación de cocinas de inducción

El registro de la instalación de cocinas de inducción se realiza en el aplicativo web denominado SIPEC, que es el sistema informático del programa PEC, en el cual se registra la venta e instalación de cocinas de inducción y circuitos expresos, con la asignación del código eléctrico de referencia, potencia de los equipos y demás datos para la comercialización de energía así como el registro para el subsidio de energía que otorga el programa. De esta base de datos nacional se seleccionó la información correspondiente a los datos de la provincia de Cotopaxi.

Posteriormente para determinar el total de cocinas de inducción instaladas en el alimentador de estudio, se procedió a cotejar los datos obtenidos del SIPEC con la información registrada en la base de datos georreferenciada de la ELEPCO S.A.

Todas las consultas de información se realizaron con corte al 31 de marzo de 2017, sin embargo el periodo de estudio se enfoca en el año 2016, lo mencionado se realiza para determinar variaciones con referencia al primer trimestre del 2017.

De la información recopilada se realizó un análisis de tendencia con relación al tiempo, obteniendo la ecuación matemática que representa el comportamiento de esta variable en el transcurso de ejecución del programa en la provincia de Cotopaxi. Asimismo se determinaron las zonas por alimentadores primarios de todas las subestaciones de ELEPCO S.A. para escoger el alimentador en estudio.

Para realizar un análisis de calidad de energía se utilizaron las mediciones de estos parámetros realizadas por transformador de distribución, por lo cual fue necesario en primer lugar determinar los transformadores del alimentador en estudio que poseen cocinas de inducción como cargas.

2.7. Mediciones de calidad de energía en el año 2016

En cumplimiento de la metodología dispuesta por la Regulación No. CONELEC – 004/01, Calidad del servicio eléctrico de distribución (Consejo Nacional de Electricidad, 2001), con referencia las mediciones de nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia que de acuerdo a la norma deben durar 7 días continuos con mediciones cada periodo de diez minutos; en el 2016 se realizó la medición de 32 transformadores en el alimentador 0601CV0T04 que tienen instaladas cocinas de inducción como cargas. De estas mediciones se encontraron 2 mediciones que no han sido tomadas en cuenta para el análisis ya que se realizaron antes de la instalación de las cocinas de inducción como cargas del transformador medido. Por lo anotado, se dispone de 30 mediciones realizadas en el 2016.

Para la recolección de información se realizarán mediciones de análisis de energía en los transformadores de distribución de acuerdo a lo estipulado en la Regulación No. CONELEC - 004/01 (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.” (pág. 8).

2.7.1. Metodología para análisis de distorsión armónica

Para los análisis a realizar en la presente investigación, de las mediciones disponibles se estudiaron los valores registrados en los periodos de medición de THDV máximo, THDV medio y los porcentajes de relación del valor de voltaje de las componentes de los armónicos impares, 3, 5, y 7 versus el voltaje nominal fundamental. Los resultados de las mediciones se registran en la tabla del Anexo 2, y su análisis se presenta en el Capítulo 3.

Con respecto a los armónicos de corriente medidos, debido a que no se establecen límites en la Regulación antes mencionada, analizando los valores de THDI máximo, THDI medio y los porcentajes de relación del valor de corriente de las componentes de los armónicos impares, 3, 5, y 7 versus la corriente nominal fundamental estos valores se utilizan para realizar cálculos de pérdidas y como datos para el diseño de la solución.

2.8. Factores para dimensionamiento de filtros de armónicos

Para trabajar en el dimensionamiento de los filtros que se usaron para la mitigación de los armónicos en las redes de distribución se deben entender los diferentes modelos disponibles en el mercado y sus prestaciones.

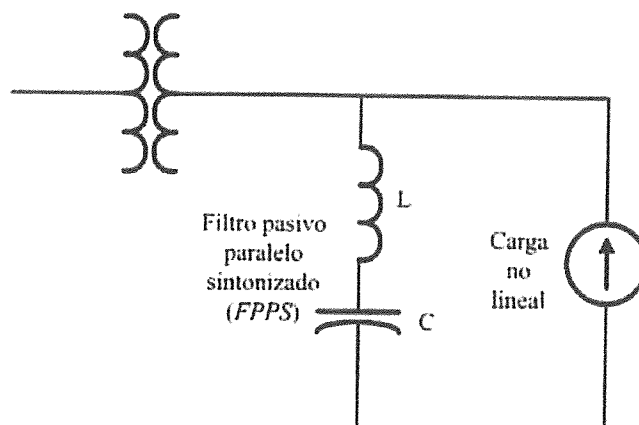
Según la clasificación descrita por (Autonell, y otros, 2012) se presentan los siguientes filtros:

2.8.1. Filtro pasivo paralelo sintonizado (FPPS)

Este filtro es un arreglo de capacitores (C) y un reactor (L). Los FPPS son los filtros más comunes en las instalaciones comerciales e industriales

“Este filtro realiza su función mediante una acción de drenado, ya que presenta una trayectoria de baja impedancia a la corriente armónica por mitigar, evitando así que se propague al resto del sistema.”(pág. 85).

Gráfico 2. 3 Diagrama de conexión FPPS



Fuente: (Autonell, y otros, 2012)

“La trayectoria de baja impedancia se habilita porque C y L entran en resonancia serie, es decir, el FPPS opone una impedancia mucho menor a la armónica particular que la que representa la red de suministro. Esto se

consigue seleccionando valores de C y L de tal manera que cumplan con la siguiente expresión:

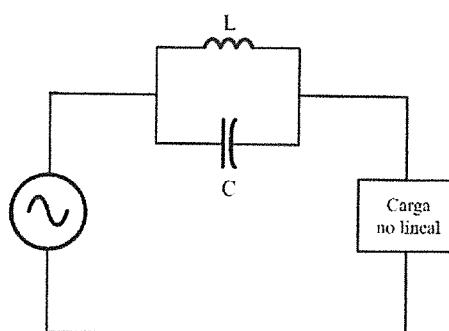
$$f_s = f_{res_serie} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} [Hz]$$

Donde f_s es la frecuencia de la armónica a mitigar, también denominada para esta aplicación frecuencia de sintonía.”

2.8.2. Filtro pasivo serie sintonizado (FPSS)

Según (Autonell, y otros, 2012), como ya lo dice su nombre va conectado en serie con la fuente de alimentación y con la carga que genera la distorsión de la corriente.

Gráfico 2. 4 Estructura y esquema de conexión del filtro pasivo sintonizado



Fuente: (Autonell, y otros, 2012)

Este filtro genera una resonancia en paralelo a la carga no lineal, evitando la propagación de armónicos en la red de distribución

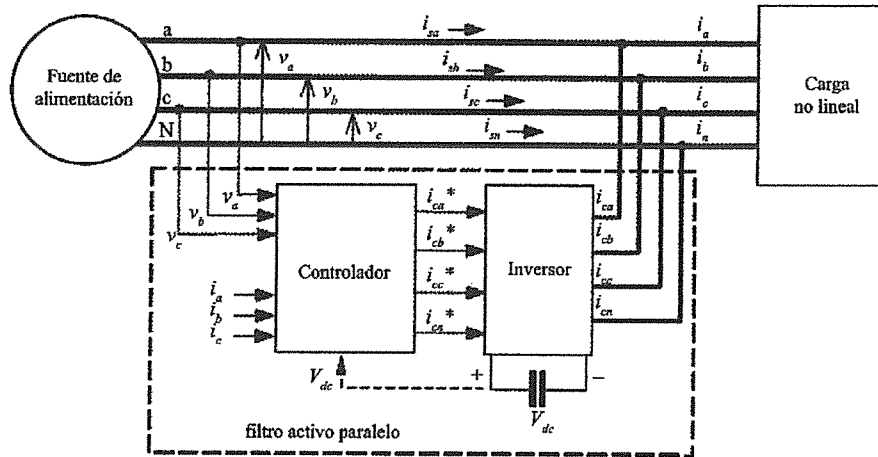
2.8.3. Filtro activo paralelo sintonizado (FAPS)

Según (Autonell, y otros, 2012) este filtro está constituido por un inversor y un esquema de control electrónico (controlador), que monitorea el orden del armónico que se está generando en la red e inyecta una corriente invertida de la misma frecuencia y magnitud que la del armónico generado por la carga, todo con el fin de cancelarla, impidiendo que fluya dentro de la red.

“El controlador, por su parte, determina la referencia de la corriente armónica que se debe inyectar. Esta tarea es específica, selectiva, adaptable y robusta. Para hacerla de esta manera, se realiza un monitoreo de las variables del sistema, que, al compararlas con la referencia programada,

realiza los ajustes necesarios, concluyendo la acción de control con la inyección de la corriente armónica deseada.”(pág. 86)

Gráfico 2. 5 Estructura y esquema de conexión del filtro activo paralelo



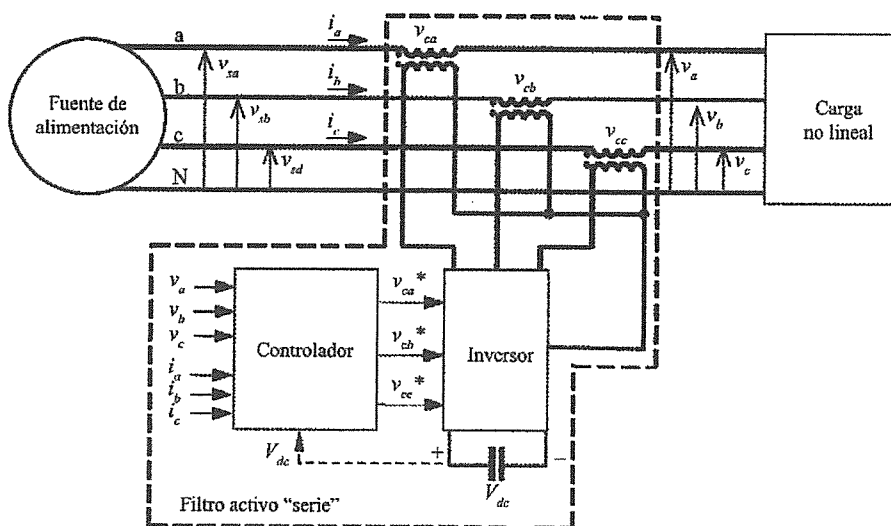
Fuente: (Autonell, y otros, 2012)

2.8.4. Filtro activo serie sintonizado (FASS)

De acuerdo con lo descrito por (Autonell, y otros, 2012), este filtro cuenta con un inversor, que funciona como una fuente controlada de tensión. Además se cuenta con un transformador de tensión, cuyo devanado está conectado en serie con la línea.

Los FASS, todavía se encuentran en fase de desarrollo y se espera que pronto se comercialicen, ya que tienen muy buenas prestaciones.

Gráfico 2. 6 Estructura y esquema de conexión del filtro activo serie sintonizado



Fuente: (Autonell, y otros, 2012)

2.9. Ubicación de sistemas de filtrado

Los filtros pueden ser utilizados en conjunto con otros equipos de corrección de calidad de energía los cuales deben ser determinados previo un estudio cuidadoso de selección.

Los filtros utilizados para compensaciones en el presente estudio pueden ser instalados en varios puntos dentro de la red eléctrica, conectando hasta diez unidades en paralelo para proporcionar una compensación elevada de corriente y satisfacer niveles de estándares por norma.

En cargas representativas se pueden instalar filtros individuales para evitar contaminación a cargas sensibles conectadas en paralelo.

Se pueden instalar en la cabecera del alimentador para cumplir con reglamentaciones establecidas por normas y eliminar pérdidas en el transformador generadas por los armónicos.

Junto con la aplicación del sistema de filtrado, y como requisito antes de su puesta en marcha se requiere la instalación de reactores de impedancia de línea.

2.10. Procedimiento para la implementación de filtros de armónicos

La metodología utilizada en la selección del sistema de filtrado es la definida por la intensidad de la corriente del sistemas de filtrado, que de acuerdo a la composición del filtro, en base a la información suministrada por el usuario del valor de la corriente de filtrado requerida. Los materiales utilizados para la instalación del sistema de filtrado previsto se describen en el capítulo 4 en donde se presenta la propuesta de la presente investigación.

2.11. Procedimiento de evaluación de instalación de filtros de armónicos

Para la evaluación de los sistemas de filtrado propuestos en el presente trabajo, se han tomado en cuenta parámetros para determinar el software que permita realizar esta tarea, siendo el principal la capacidad de mostrar en un entorno simulado el comportamiento de los filtros ante diferentes niveles de perturbaciones en la red.

El análisis ha sido realizado a través del software MATLAB, con la herramienta Simulink, definida como un entorno de simulación a través de diagramas de bloques gestionados mediante un editor gráfico, que adicionalmente posee bibliotecas personalizables de estos bloques y soluciones para modelar y simular sistemas dinámicos. Su interacción con MATLAB además permite incorporar algoritmos de modelación y exportar resultados de simulación a MATLAB para su posterior análisis.

Específicamente para el caso de evaluación de los sistemas de filtrado de armónicos, se procedió a simular una fuente de voltaje alterno sinusoidal de 220 V a 60 Hz, con perturbaciones de armónicos de acuerdo a las encontradas en las mediciones y con múltiplos impares de la frecuencia fundamental en el orden del tercero, quinto y séptimo armónico.

Una vez generada la señal se procede a utilizar la herramienta denominada FFT, Transformada rápida de Fourier, que permite visualizar el análisis de las componentes armónicas de las señales de entrada en porcentajes con relación a la fundamental en el dominio discreto de la frecuencia. Adicionalmente devuelve al valor en porcentaje del THD de las entradas.

A esta simulación con perturbaciones se aplica el equivalente del sistema de filtrado seleccionados para evaluar su funcionamiento.

2.12. Análisis de pérdidas en los transformadores

De los registros de medición de los análisis de energía realizados en los transformadores de distribución con valores de THDV fuera de límite, se tomaron los valores de la potencia correspondiente al primer armónico o fundamental y la potencia total registrada, y mediante cálculos se obtuvieron los valores promedio, máximo y mínimo de la potencia en los armónicos restantes.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló una particularización de los aspectos metodológicos utilizados para el desarrollo del proyecto de investigación, delimitando el objeto y área de estudio de la investigación, describiendo además la modalidad, tipo y métodos de investigación empleados.
2. Asimismo en el desarrollo del Capítulo 2 se describieron las técnicas e instrumentos que permitieron el desarrollo de la investigación, y se conceptualizaron las variables independiente y dependiente, determinando indicadores para evaluación con sus respectivas técnicas e instrumentos, lo que adicionalmente permitió una descripción de los procedimientos utilizados para la evaluación de las variables.
3. Para finalizar en el Capítulo 2 se expusieron los procedimientos para el dimensionamiento, implementación y evaluación de los filtros presentados en la propuesta, en base a la característica constitutiva de cada tipo de filtro.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo describe las relaciones encontradas entre las variables de estudio en la investigación, para lo cual se partió de la descripción del objeto de estudio, en este caso el alimentador Latacunga centro de la subestación El Calvario de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, particularizando sus características desde un análisis del sistema eléctrico en general.

En lo posterior se muestran los resultados de la caracterización de la variable independiente, los valores de los indicadores determinados en su operacionalización; basada en el análisis estadístico de la información disponible en las bases de datos empresariales. De igual forma se procede con la variable independiente, se realiza un análisis de las mediciones de calidad de energía para asignar valores a los indicadores y determinar una relación entre estas dos variables. Un importante aspecto también analizado en este capítulo es el porcentaje de pérdidas de potencia que estas perturbaciones por armónicos generan principalmente en los transformadores de distribución, dato que nos servirá en adelante para definir la viabilidad económica de aplicación de la propuesta del estudio.

3.1.El sistema eléctrico de ELEPCO S.A.

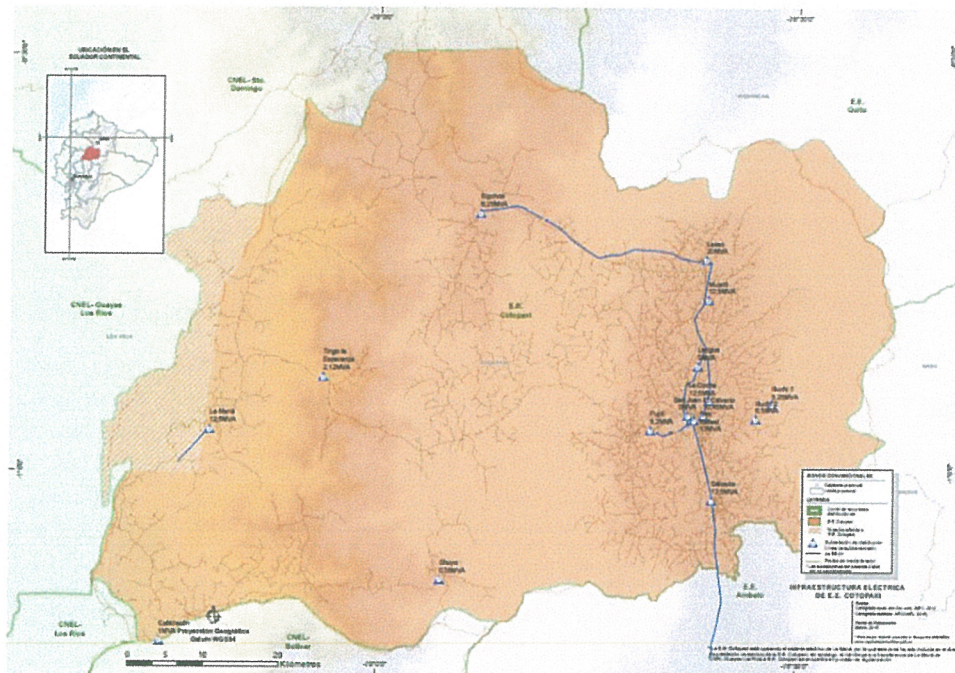
La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., en cumplimiento del contrato de concesión para el suministro de energía eléctrica es la responsable de proveer este servicio público bajo los estándares dictados por el organismo regulador ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) en el área de concesión, mostrada en figura 3.1; la cual corresponde a 5.880.139 km² en la que se incluyen seis provincias del país: Cotopaxi, Bolívar, Los Ríos, Napo, Pichincha y Tungurahua, de acuerdo a la distribución que se observa en la tabla 3.1 como lo menciona (Maldonado & Valladares, 2017).

Tabla 3. 1 Área de concesión de ELEPCO S.A.

Provincia	Área de prestación de servicio	
	km ²	%
Bolívar	3,829	0,07
Cotopaxi	5.703,511	97,00
Los Ríos	126,751	2,16
Napo	6,654	0,11
Pichincha	36,703	0,62
Tungurahua	2,691	0,05
TOTAL	5.880,139	100,00

Fuente: (Vásconez J., 2017)

Gráfico 3.1 Área de concesión de ELEPCO S.A.



Fuente: (CONELEC, 2013)

Con corte al año 2016, la cobertura del servicio eléctrico en el área de concesión de la ELEPCO S.A alcanza al 97,22%, sin embargo el lograr cubrir esta diferencia para llegar a la totalidad de la población beneficiaria constituye un gran esfuerzo debido a la dispersión de los consumidores en la complicada geografía de la provincia.

3.1.1. Suministro de energía del sistema

Para el abastecimiento de energía del sistema de la ELEPCO S.A se cuenta con dos puntos de enlace al Sistema Nacional Interconectado a nivel de 69 kV, el primero en la subestación Mulaló y el segundo en la subestación Ambato, de los cuales se toma la mayor parte de la energía utilizada.

A nivel de generación local, se cuenta con cinco centrales de generación hidroeléctrica, distribuidas de acuerdo a lo descrito en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Centrales hidroeléctricas de ELEPCO S.A.

CENTRAL DE GENERACIÓN	CAPACIDAD EN (kVA)	VOLTAJE EN (V)
Iluchi 1	5244	2400
Iluchi 2	6500	2400
El Estado	2125	4160
Catazación	1000	440
Angamarca	375	4160

Fuente: (Vásconez J., 2017)

3.1.2. Sistema de distribución

De acuerdo a lo señalado por (Maldonado & Valladares, 2017) el sistema de distribución de ELEPCO S.A. está constituido por 31 alimentadores primarios con un voltaje en media tensión de 13,8 kV, ordenados en una configuración de tipo radial, con aproximadamente 7,65 km de extensión en redes, 8.348 transformadores de distribución en servicio con una capacidad instalada de 227,11 MVA, destinados al suministro de energía en bajo voltaje para los consumidores.

Conjuntamente con las redes antes descritas, en el sistema de distribución de ELEPCO S.A. se cuenta con 9 subestaciones de distribución, de acuerdo a lo descrito en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3 Subestaciones de distribución de ELEPCO S.A.

SUBESTACION	CAPACIDAD EN (MVA)	VOLTAJE EN (kV)
Salcedo	10/12,5	69/13,8
San Rafael	10/13	69/13,8
El Calvario	4/5,2	23/13,8
La Cocha	10/12,5	69/13,8
Lasso	20,00	69/13,8
Mulaló	10/12,5	69/13,8
Sigchos	5,00	4,16/13,8
La Maná	5,00	69/13,8
Pujilí	5,00	69/13,8

Fuente: (Vásconez J., 2017)

Del análisis de la evolución de la instalación de cocinas de inducción en las redes de distribución de ELEPCO S.A., se ha escogido para objeto de esta investigación los circuitos correspondientes al alimentador primario de la subestación El Calvario denominado Latacunga Sur, el cual suministra energía a un área de la ciudad de Latacunga en donde las cargas instaladas son en su mayoría del tipo residencial, en donde se produce el caso de estudio.

3.1.2.1. Subestación El Calvario

La subestación El Calvario funciona con un transformador de 4/5.2 MVA a un voltaje de entrada de 22kV y de salida de 13.8 kV. Al ingreso de la subestación, en el sistema de barras de voltaje exteriores, se tienen dos líneas conectadas desde las centrales de generación, la primera a 22 kV que llega de la central Illuchi 1 y la segunda proveniente de la central Illuchi 2 a un voltaje de 13.8 kV. Adicionalmente a nivel de 13.8 kV, se encuentran las interconexiones con las subestaciones La Cocha y San Rafael. En la barra

interior de la subestación, a nivel de 13.8 kV, se encuentran los alimentadores de distribución, de acuerdo a como se detalla en la tabla 3.4

Tabla 3. 4 Alimentadores en la subestación El Calvario

Nombre	Código	Sectores importantes con servicio
11-Oriental	0601CV0T01	Sectores El Calvario, Gualundún, Locoá, Santán, Pusuchisí, Saragosín, Salbiapamba, La Vicentina, Toalivi, Palopo, Jilingua, Culaguango, Illagua, El Guango, Tanque de Presión Central Colegio "Luis Fernando Ruiz", Colegio Técnico "Trajano Naranjo", Quinta del Centro Agrícola, Antenas de radios, Clínica Provida
12-Industrial	0601CV0T02	Fábricas: CEDAL, MOLINOS POULTIER, HOSPITAL IESS, Sectores: El Calvario tras la virgen
13-Redes subterráneas	0601CV0T03	San Francisco, S.R.I, CACPECO, Banco de Guayaquil, Gobernación, Banco del Pichincha, Parqueadero CC.Sindicato de Chóferes, Corte Justicia; San Agustín, Hospital General de Cotopaxi, Corte Suprema de Justicia, Plaza Sucre, ESPE
14-Latacunga Sur	0601CV0T04	Urbanizaciones: Rincón del Cotopaxi, San Carlos, El Loreto, El Remanzo, El Bosque, La Laguna, Barrio Económico, Bethlemitas, Miraflores, Nintinicazo, San Francisco, 11 de Noviembre, Sigsicalle Sur, Pillig, Tapalán, Tiobamba, Illuchi, Clínica Latacunga, Av. Atahualpa, Av Rumifiahui, Calle 2 Mayo desde el Hospital General hasta Av. Rumifiahui. Talleres Concejo Provincial, Coliseo Mayor de Latacunga, Miraflores Alto, AKI Sur, ESPE Producción, OOPP GAD Latacunga, Contraloría, Parque NÁUTICO. GASOLINERAS: Fogón, Zambrano. Industrias: JUANCHOS SPORTS, PRODICEREAL, BROCANDES, ENVAPAC, Bebidas Naranjo

Fuente: (Vásconez J., 2017)

El alimentador denominado Latacunga Sur, codificado como 0604CV0T04 tiene una capacidad disponible de 7520 kVA con 237 transformadores de distribución instalados en su configuración.

3.2.Instalación de cocinas de inducción como cargas en ELEPCO S.A.

Como parte de la ejecución del programa PEC, desde el inicio del mismo en noviembre del 2014 con corte al 31 de marzo de 2017, se han instalado en el área de concesión de ELEPCO S.A. 3.121 cocinas de inducción con una potencia correspondiente a 19991 kW. Específicamente en el periodo de estudio de esta investigación, de enero a diciembre del año 2016 se han instalado 778 cocinas de inducción con una carga correspondiente a 4727,30 kW, incrementando este tipo de cargas de 2236 a 3014. En el 2017, al 31 de marzo, el incremento de estas cargas corresponde a 107 cocinas de inducción con una potencia de 677,84 kW, estas se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5 Evolución de la instalación de cocinas de inducción en ELEPCO S.A.

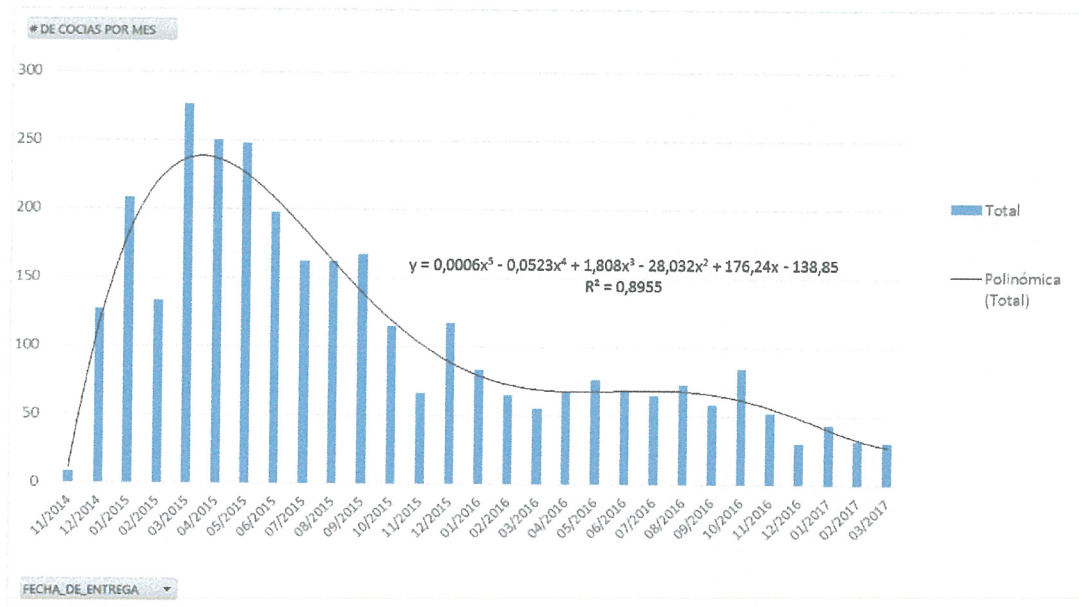
MES DE INSTALACIÓN	COCINAS INSTALADAS POR MES	TOTAL COCINAS INSTALADAS	TOTAL POTENCIA INSTALADA (kW)
11/2014	8	8	37
12/2014	127	135	636
01/2015	208	343	1704
02/2015	133	476	2418
03/2015	276	752	3889
04/2015	250	1002	5532
05/2015	248	1250	7406
06/2015	197	1447	8857
07/2015	162	1609	10124
08/2015	162	1771	11306
09/2015	167	1938	12563
10/2015	115	2053	13343
11/2015	66	2119	13791
12/2015	117	2236	14586
01/2016	83	2319	15058
02/2016	65	2384	15459
03/2016	55	2439	15779
04/2016	68	2507	16209
05/2016	76	2583	16666
06/2016	69	2652	17078
07/2016	65	2717	17468
08/2016	73	2790	17900
09/2016	58	2848	18265
10/2016	84	2932	18831
11/2016	52	2984	19147
12/2016	30	3014	19313
01/2017	44	3058	19601
02/2017	32	3090	19799
03/2017	31	3121	19991

Fuente: (Vásconez J., 2017)

En el gráfico 3.2, se muestra la evolución de instalación de cocinas de inducción en ELEPCO S.A durante la ejecución del programa PEC, notando que la tendencia de comportamiento de esta variable en el tiempo corresponde a la ecuación 3.1:

$$y = 0,0006x^5 - 0,0523x^4 + 1,808x^3 - 28,032x^2 + 176,24x - 138,85 \quad (\text{Ecuación 3. 1})$$

Gráfico 3.2 Evolución de la instalación de cocinas de inducción en ELEPCO S.A.



Fuente: (Vásconez J., 2017)

Como se aprecia en la gráfica 3.2, ha existido un decrecimiento en la cantidad de cocinas instaladas por mes, a pesar de las estrategias que se han implementado como políticas para incentivar su uso, de un promedio de 175 cocinas instaladas por mes en el 2015, para el año siguiente esta cifra promedio mensual se ve reducida a 65 unidades. Lo descrito puede atribuirse al hecho de que el subsidio para el GLP de uso doméstico aún se mantiene y principalmente a que el precio de la energía eléctrica todavía es relativamente elevado, pese a las cuantiosas inversiones realizadas por el Estado para incrementar su generación, no se ha conseguido abaratar estos costos.

En un análisis de la cantidad de cocinas instaladas por cada uno de los alimentadores de las subestaciones de ELEPCO S.A. con respecto al total de clientes a los cuales suministra este circuito primario, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 3.6.

Del análisis de la tabla 3.6 se desprende que el mayor porcentaje de cocinas de inducción instaladas versus la cantidad de clientes por alimentador de cada subestación de ELEPCO S.A. se presenta en los alimentadores 0608MA0T04 y 0608MA0T04 que corresponden a las salida número 4 y 3 de la subestación La Maná respectivamente, situaciones en las cuales por la diferencia de comportamiento de los perfiles de carga de un usuario del tipo residencial de la Costa con respecto a uno de la Sierra, se considera realizar un estudio singularizado.

Tabla 3. 6 Porcentaje de cocinas de inducción instaladas por clientes en alimentadores de ELEPCO S.A.

Nº	ALIMENTADOR	# DE CLIENTES	# DE COCINAS	% COCINAS INSTALADAS
1	0608MA0T04	2478	169	6,82
2	0608MA0T03	5927	263	4,44
3	0605LA0T02	3522	150	4,26
4	0601CV0T04	5127	188	3,67
5	0609PJ0T02	5529	191	3,45
6	0602SR0T04	5642	193	3,42
7	0604ML0T01	2482	83	3,34
8	0603SA0T01	1660	52	3,13
9	0601CV0T02	368	11	2,99
10	0605LA0T03	1697	50	2,95
11	0606CH0T05	5329	157	2,95
12	0605LA0T01	4162	108	2,59
13	0603SA0T02	4163	101	2,43
14	0604ML0T02	8767	206	2,35
15	0601CV0T03	1071	24	2,24
16	0602SR0T01	5626	123	2,19
17	0606CH0T01	3900	83	2,13
18	0603SA0T03	10465	218	2,08
19	0601CV0T01	4323	87	2,01
20	0608MA0T02	4635	93	2,01
21	0608MA0T01	4894	97	1,98
22	0604ML0T04	308	6	1,95
23	0602SR0T02	16585	304	1,83
24	0606CH0T03	3441	49	1,42
25	0605LA0T04	461	6	1,30
26	0607SG0T01	4416	57	1,29
27	0602SR0T03	1182	12	1,02
28	0607SG0T02	1382	13	0,94
29	0603SA0T04	4802	27	0,56

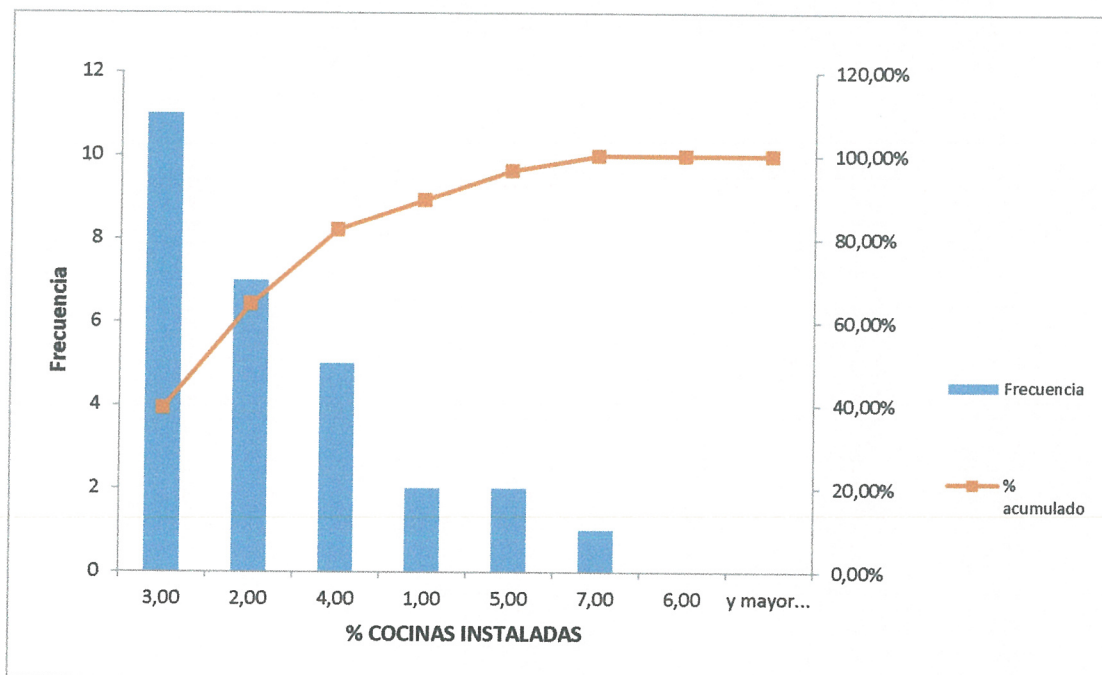
Fuente: (Vásquez J., 2017)

Con la finalidad de determinar el alimentador más adecuado para realizar la investigación, se ha utilizado un diagrama de Pareto, el cual permitió priorizar el tipo de alimentador, por el porcentaje de cocinas de inducción en el cual se debe centrar el estudio, como se muestra en el gráfico 3.3.

Del análisis del diagrama de Pareto se determina que existen 11 de los 29 alimentadores con un porcentaje de cocinas de inducción instaladas versus la cantidad de clientes por alimentador que corresponde a un rango del 3%, de los cuales el mayor porcentaje

corresponde al alimentador 0601CV0T04 que corresponde a la salida 4 de la subestación El Calvario con un valor de 3,67%.

Gráfico 3.3 Porcentajes de cocinas de inducción instaladas en los alimentadores de ELEPCO S.A.



Fuente: (Vásconez J., 2017)

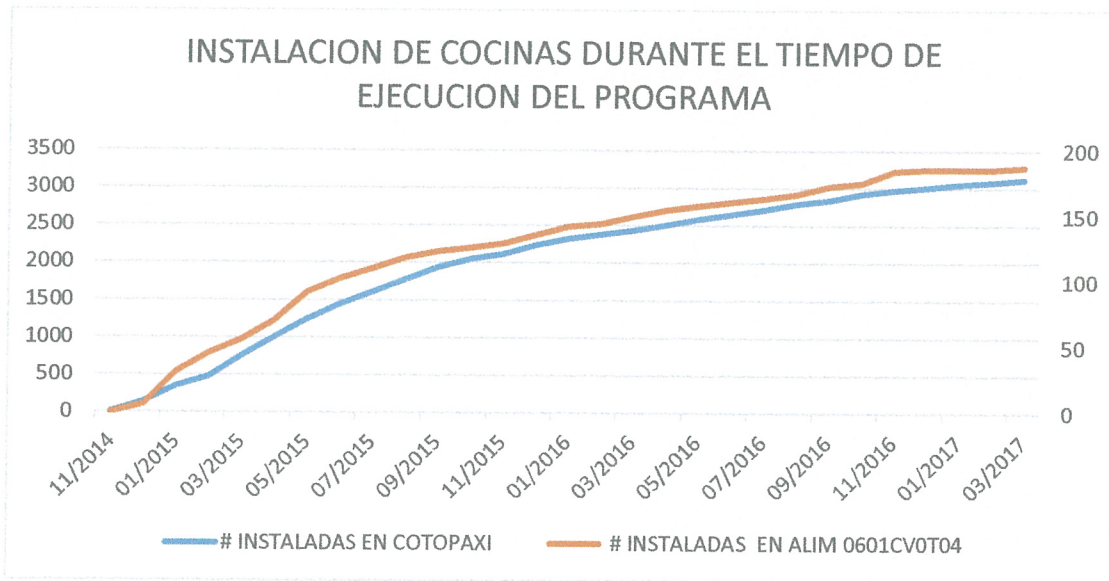
Por lo expuesto en el párrafo anterior y tomando en cuenta el principio de análisis de los diagramas de Pareto de 80/20, este alimentador ha sido considerado para la presente investigación, con la finalidad de que los resultados sean aplicables a los alimentadores con iguales características que de acuerdo a lo presentado en el gráfico 3.3 corresponden a la mayoría de los casos.

3.2.1. Instalación de cocinas de inducción en el alimentador 0601CV0T04

Con corte a diciembre de 2015 se encontraban instaladas en el alimentador 0601CV0T04, 136 cocinas de inducción con una potencia instalada de 805 kW. Durante el año 2016, se incrementaron 50 cocinas de inducción en todo el alimentador equivalentes a una potencia de 284 kW.

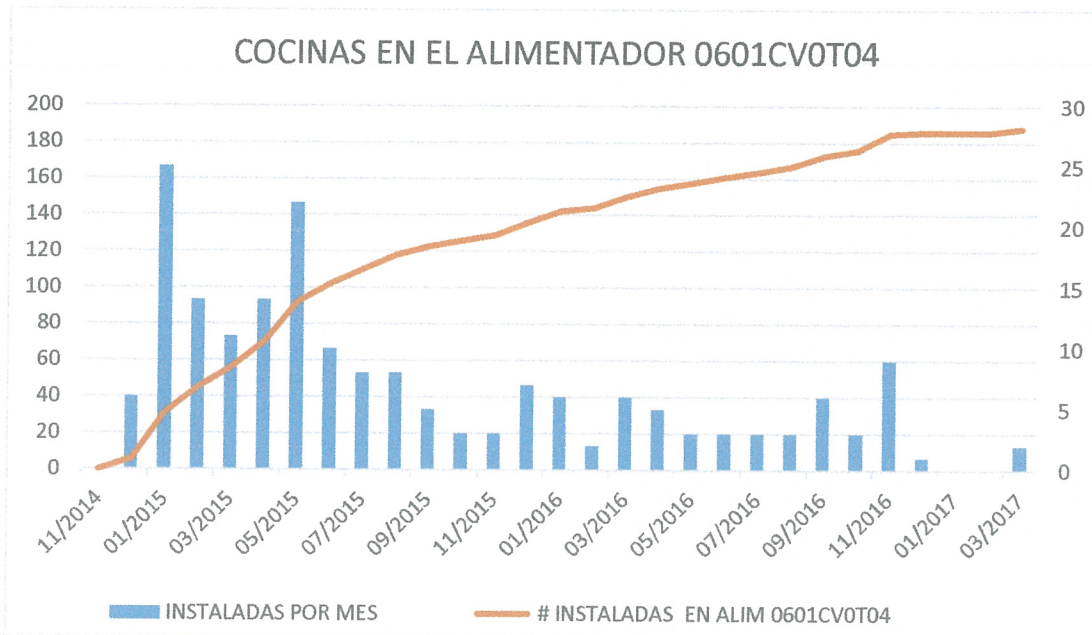
Con respecto a la tendencia de incremento de cocinas en el área de concesión de ELEPCO S.A. el crecimiento de la carga instalada por cocinas de inducción en el alimentador de estudio tiene la misma evolución en el tiempo, como se observa en el gráfico 3.4 y 3.5.

Gráfico 3.4 Tendencia de la instalación de cocinas en el año 2016



Fuente: (Vásconez J., 2017)

Gráfico 3.5 Evolución de instalación de cocinas de inducción en el alimentador 0601CV0T04



Fuente: (Vásconez J., 2017)

En el gráfico 3.5 sin embargo del incremento de cocinas en el alimentador 0601CV0T04 se observa un decrecimiento en la cantidad de cocinas instaladas por mes en el año 2016 con relación a las cantidades instaladas en el año 2015, observando inclusive que en los primeros meses del 2017 no se han incrementado el número de cocinas instaladas.

3.2.2. Transformadores con cocinas de inducción en el alimentador 0601CV0T04

En el alimentador de estudio con corte a diciembre de 2016 se encontraron instalados 236 transformadores con una potencia instalada disponible de 7520 kVA, de los cuales 99 tenían cocinas de inducción como cargas instaladas, la capacidad de estos transformadores que suministran energía a estas cargas no lineales corresponden a una potencia instalada de 3110 kVA, que corresponden al 41.35% de la capacidad instalada.

3.3. Análisis de mediciones de calidad de energía en el año 2016

De análisis de las mediciones registradas en el Anexo 2, se obtuvieron los resultados presentados a continuación, vale la pena indicar que si bien las mediciones analizadas corresponden a las tomadas después de la instalación de cocinas de inducción en cada transformador, no se aplicó un procedimiento para determinar específicamente las cargas instaladas responsables de la contaminación por armónicos, sin embargo, por la cantidad prevista a instalarse de cocinas de inducción un usuarios de consumo residencial, el estudio se enfoca en este tipo de cargas, sin obviar el hecho de que existen una variedad de cargas de uso residencial como computadores y demás artefactos con electrónica de potencia que afectan este parámetro. Es importante resaltar también que a lo largo del alimentador de estudio, no existen cargas representativas del tipo industrial y comercial, sin embargo no se descarta la existencia de pequeñas cargas no lineales del tipo comercial que afecten el factor de distorsión armónica.

3.3.1. Mediciones dentro de límites permitidos por norma

De las 29 mediciones válidas, se encontró que con referencia a los parámetros analizados para determinar perturbaciones por armónicos en la energía, 22 de ellas se encuentran dentro de los límites permitidos por norma, con un promedio de 3.75% de THD máximo, valores que se registran en horas pico de consumo. Con referencia a valores de THD medio, se registra un promedio de 3.61% en horas de consumo pico.

En relación al porcentaje de voltaje de la tercera componente armónica, este valor se encontró en un promedio de 3.26% del voltaje nominal, la quinta componente en un promedio de 1.49% y la séptima componente armónica en un valor de 1.01% del voltaje nominal.

3.3.2. Mediciones fuera de límites permitidos por norma

Del total de transformadores medidos, se encontró que 7 de ellos presentan valores de THD máximo en horas pico por un valor promedio de 10.37%, sin embargo también se encontraron valores instantáneos máximos producidos fuera del horario pico de consumo,

los cuales se podrían atribuir al arranque de cargas significativas no lineales conectadas al transformado a fallos en las conexiones del analizador de energía, por lo cual, ante su condición de instantáneas y por su probable origen, han sido despreciadas para las soluciones de calidad de energía.

En lo relacionado a los valores de THD medio, se encontró que 7 transformadores tienen desviaciones en un valor promedio de 11.08% que ocurren en horas de consumo pico.

Con relación a los porcentajes del voltaje nominal correspondientes a las componentes armónicas impares fuera de norma, la tercera componente en 7 transformadores de los analizados, presentan un valor promedio de 9.44% ocurridos en horas de consumo pico.

Con relación a los valores de la componente del quinto armónico, se encontró un transformador que presenta valores fuera de límite y corresponde a un valor de 6.70% del valor del voltaje nominal.

Con referencia a la componente del séptimo armónico no se encontraron transformadores con valores fuera de norma.

3.3.3. Porcentaje de pérdidas por armónicos

De las 7 mediciones válidas y con valores de perturbaciones por armónicos fuera de norma, mediante cálculos en base a los valores medidos de potencia de la componente fundamental y la potencia total del transformador, se encontraron porcentajes de pérdidas en los transformadores de acuerdo a lo descrito en la tabla 3.7.

Del análisis de los datos calculados, se obtiene que en promedio las pérdidas de potencia producidas por los armónicos presentes en el transformador que tiene cocinas de inducción instaladas en el alimentador 0601CV0T04 corresponden a valores comprendidos en el rango del 9 a 13% aproximadamente, porcentaje que llega a ser representativo si se traduce en una visión macro del valor total de la energía que ELEPCO S.A. suministra al año para usuarios del tipo de consumo residencial.

3.4. Evaluación de instalación de filtros

Para evaluar las ventajas que se obtienen con la instalación del filtro de bloqueo del tercer armónico, se procedió a modelar en MATLAB el circuito de un transformador con contaminación por armónicos, como se muestra el gráfico 3.4, para realizar una primera simulación de operación en el tiempo antes de la instalación del filtro. Con base en la herramienta *CONTINUOUS POWERGUI*, que presenta un análisis de Fourier que muestra un desglose de las componentes armónicas en el dominio de la frecuencia, con

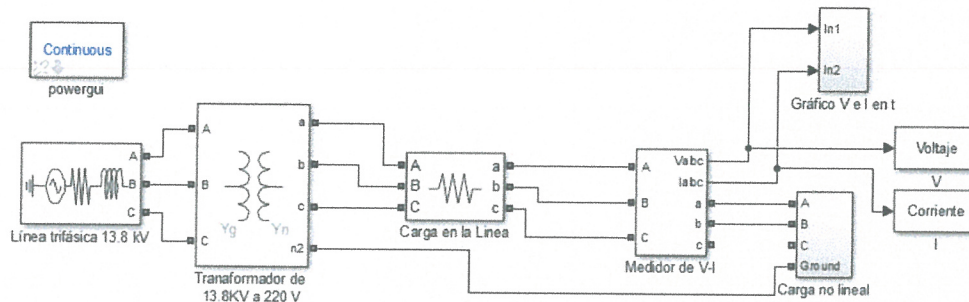
la cual se analizan los niveles de THDV que coinciden con los de las mediciones de un transformador tomado como ejemplo, como se muestra en el gráfico 3.5, con un porcentaje de THDV de 11.27% y un porcentaje del voltaje nominal de la componente del tercer armónico de 10% aproximadamente.

Tabla 3. 7 Porcentaje de pérdidas por armónicos en transformadores

Nº DE TRANSFORMADOR	Nº de cocinas instaladas	Potencia transformador kVA	% Vh3/Vn Límite 5%	% Vh5/Vn Límite 6%	% Vh7/Vn Límite 5%	% PERDIDAS POR ARMONICOS
488	2	37,5	8,70%	3,90%	1,86%	10,23%
5292	2	25	7,87%	4,50%	2,00%	9,23%
5500	1	15	9,78%	4,50%	2,00%	11,96%
6051	1	15	8,50%	4,30%	2,00%	10,74%
7539	1	10	10,90%	6,70%	2,60%	13,32%
8867	1	10	10,10%	5,25%	1,85%	12,95%
10408	1	15	10,20%	4,00%	1,65%	12,56%

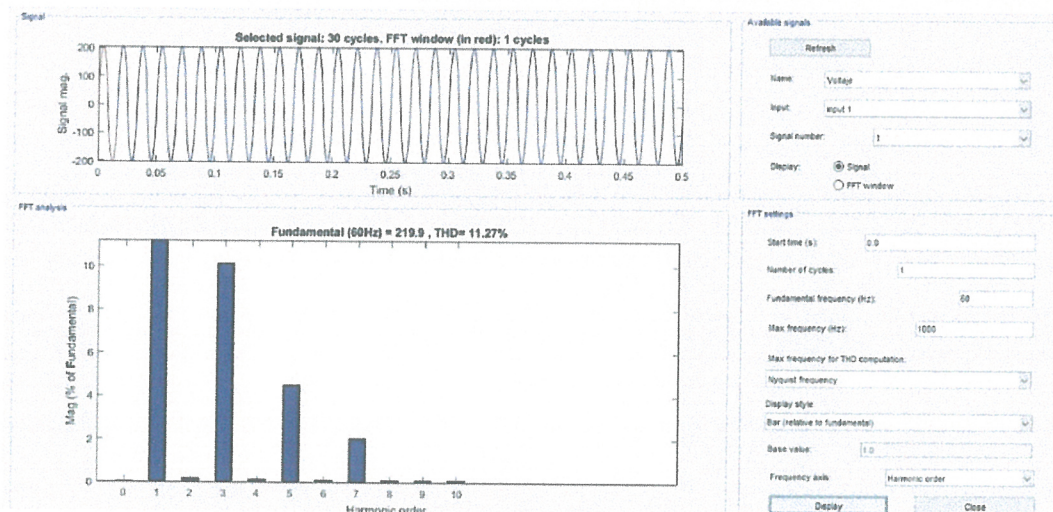
Fuente: (Vásconez J., 2017)

Gráfico 3. 4 Modelación circuito de transformador con perturbaciones armónicas



Fuente: (Vásconez J., 2017)

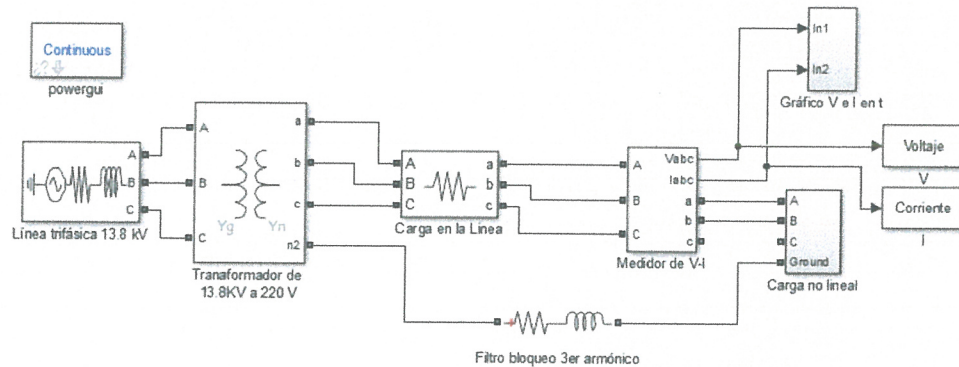
Gráfico 3. 5 Análisis de THDV en circuito de transformador



Fuente: (Vásconez J., 2017)

Posteriormente se procedió a modelar el circuito del transformador con la instalación del filtro, como se presenta en la gráfica 3.6.

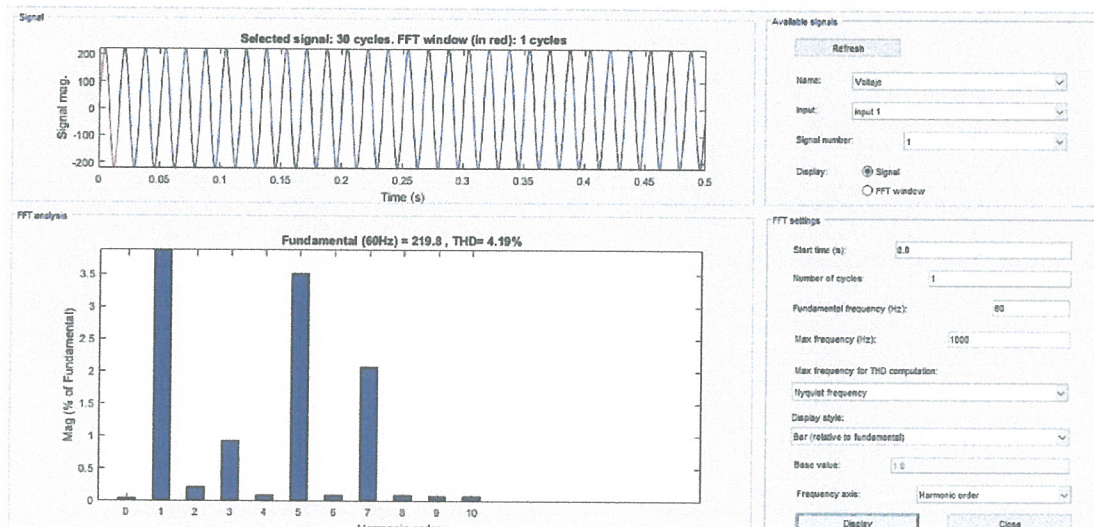
Gráfico 3. 6 Circuito de transformador con sistema de filtrado



Fuente: (Vásconez J., 2017)

De la simulación, a través de la herramienta *CONTINUOUS POWERGUI* se obtienen los resultados mostrados en el gráfico 3.7, obteniendo una reducción del THDV al 4.19%, que como se muestra corresponde a los armónicos impares superiores a 3, ya que se logra un bloqueo de la componente del tercer armónico a un nivel de 1% aproximadamente.

Gráfico 3. 7 Resultados análisis de espectro de frecuencias con sistema de bloqueo de tercer armónico



Fuente: (Vásconez J., 2017)

CONCLUSIONES

1. Los resultados de la aplicación de las técnicas de estudio para determinar los indicadores que caracterizan a la variable independiente, determinando de acuerdo a la estadística consultada que con corte al 2016 estuvieron instaladas 3.121

cocinas de inducción en el área de concesión de ELEPCO S.A. de las cuales 188 ubicadas en el área del alimentador de estudio.

2. De igual forma mediante la determinación de particularidades de estos aspectos en el alimentador de estudio existen 99 de los 236 transformadores de distribución en los cuales se han instalado cocinas de inducción.
3. Dentro del Capítulo 3 se muestra un análisis de los indicadores de la variable dependiente, en este caso los armónicos de voltaje generados por la instalación de cocinas de inducción, que con relación a la normativa aplicable en Ecuador el 24% de los transformadores analizados presentan valores de THDV por encima del 8% del valor de la componente fundamental.
4. Para finalizar se cuantificó la energía perdida por las perturbaciones ocasionadas por la generación de armónicos en la red, en porcentajes de la potencia entregada por la Empresa encontrando que en los transformadores con perturbaciones fuera de norma estas pérdidas se encuentran en un rango del 9 al 13%.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA

4.1. Título de la propuesta

Plan de acción para controlar la contaminación por armónicos en redes de distribución.

4.2. Justificación de la propuesta

Planificar las estrategias para controlar el nivel de armónicos en las redes de distribución de ELEPCO S.A. se hace necesario debido a la obligación legal que posee la Empresa de entregar un producto, en este caso la energía eléctrica, dentro de los límites dispuestos por la normativa, Regulación N° CONELEC – 004/01, Calidad de servicio eléctrico de distribución (Consejo Nacional de Electricidad, 2001).

4.3. Objetivo de la propuesta

Controlar la contaminación de armónicos en las redes de distribución de ELEPCO S.A. para mantenerlos en niveles permitidos por norma.

4.4. Estructura de la propuesta

La propuesta de un Plan de acción para controlar la contaminación por armónicos en redes de distribución, está compuesta por: priorización de redes por incrementos considerables de cargas no lineales, procedimiento de diagnóstico de niveles de contaminación de armónicos, procedimiento de selección del sistema de filtrado, análisis económico, social y ambiental.

4.5. Desarrollo de la propuesta

4.5.1. Priorización de redes por incrementos considerables de cargas no lineales

Para determinar los alimentadores o circuitos de las redes de distribución en los cuales se deberán realizar análisis específicos de los niveles de contaminación por armónicos, el departamento de Calidad de energía de ELEPCO S.A., deberá realizar de forma mensual, un análisis de la tendencia de incremento de cocinas de inducción en el sistema, y de continuar con la tendencia actual de decrecimiento, de 1% aproximadamente por mes; la conciliación de la información de las bases de datos del SIPEC con las de los datos georreferenciados de las redes de distribución de la Empresa se realizarán cada tres meses, para obtener la densidad en porcentaje de incremento de cocinas en los alimentadores de cada subestación, de los cuales se seleccionarán los alimentadores con los valores mayores de esta relación y por el tipo de carga representativa en cada uno: residencial, comercial o industrial.

Si el índice de crecimiento de cocinas de inducción se modifica, los intervalos entre los análisis de este índice y la conciliación entre las bases de datos referidas se realizarán en concordancia con estas variaciones.

4.5.2. Procedimiento de diagnóstico de niveles de contaminación de armónicos

Para determinar si la instalación de cocinas de inducción como cargas en los transformadores de distribución afecta los niveles de contaminación por armónicos en las redes, se deben realizar mediciones en los transformadores priorizados de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente.

Estas mediciones de acuerdo a lo dispuesto por la metodología en la Regulación N° CONELEC – 004/01, Calidad del servicio eléctrico de distribución (Consejo Nacional de Electricidad, 2001), hacen referencia a registros de nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia, y de acuerdo a la norma deben durar 7 días continuos con mediciones cada periodo de diez 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.

Si el valor de contaminación por armónicos supera los niveles permitidos por la Regulación mencionada, como siguiente paso se procede a la selección del sistema de filtrado para controlarlos y cumplir con lo dispuesto por la norma.

4.5.3. Selección del sistema de filtrado

Para la propuesta que se presenta en este estudio, se ha seleccionado un sistema de filtrado pasivo de la marca CIRCUITOR del tipo FB3T, que son filtros de bloqueo de armónicos múltiplos de tres, diseñados para la reducción de corriente del tercer armónico, usados comúnmente en circuitos que presentan cargas monofásicas no lineales conectadas entre fase y neutro. Estos sistemas de filtrado se comercializan con las siguientes características presentadas en la tabla 4.1.

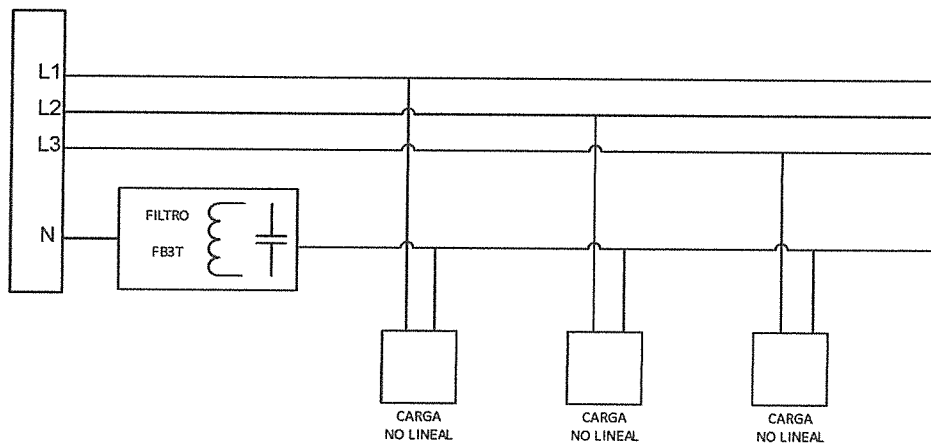
Para la elección del sistema a instalarse en cada transformador de distribución con perturbaciones se seleccionará la corriente de filtrado de acuerdo a las mediciones realizadas según los acápites anteriores y el esquema de conexión se describe en el gráfico 4.1.

Tabla 4. 1 Características técnicas filtro FB3T marca CIRCUITOR

Tensión: Fase - Neutro	Hasta 750 V
Frecuencia	FB3T-5-xx , 50Hz FB3T-6-xx , 60Hz
Corrientes nominales estándar	IR 6, 10, 16, 25, 32, 50, 63, 100 A
Corriente máxima transitoria	1,5 IR (1 minuto cada 10 minutos)
Bornes (Insertar en serie con conductor neutro)	N1 – N2
Condiciones ambientales	Temperatura de trabajo -10º a +50 ºC Humedad relativa máxima sin condensación 95 %.
Grado de protección IP	IP 00 IP 21

Fuente: (Vásconez J., 2017)

Gráfico 4. 1 Esquema de instalación del sistema de filtrado FB3T



Fuente: (Vásconez J., 2017)

4.5.3.1. Características del sistema de filtrado

El sistema de filtrado está compuesto principalmente por el equipo FB3T, cuyas características ya fueron explicadas anteriormente, y para su instalación en las redes áreas de bajo voltaje por cada transformador de distribución afectado, se necesita de un tablero para fijación y materiales para instalación, de acuerdo a lo descrito en la tabla 4.2.

Tabla 4. 2 Materiales para instalación del sistema de filtrado

MATERIALES	CANTIDAD
Filtro FB3T CIRCUITOR	1 U
Tablero protección NEMA 4X	1 U
Abrazadera	1 U
Cables	25 m

Fuente: (Vásconez J., 2017)

4.5.3.2. Costos del sistema de filtrado

Para la instalación del sistema de bloqueo del tercer armónico en base de los materiales y mano de obra de la implementación mediante cotización con proveedores de los equipos y materiales se obtuvieron los costos referenciales de la tabla 4.3.

Tabla 4. 3 Costos de implementación del filtro FB3T

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Filtro FB3T CIRCUITOR	1	U	900,00	900,00
Tablero protección NEMA 4X	1	U	120,00	120,00
Abrazadera	1	U	12,00	12,00
Cables	25	m	5,40	135,00
Mano de obra	1	U	33,00	33,00
				1.200,00

Fuente: (Vásconez J., 2017)

4.5.4. Valoración socioeconómica y ambiental de la propuesta

4.5.4.1. Valoración económica

Como se ha descrito en el acápite anterior, se ha seleccionado un filtro en baja tensión como solución para los transformadores de distribución que presentan contaminación por armónicos, esta solución fue basada principalmente en el costo de la implementación de los filtros, ya que a nivel de media tensión en la cabecera del alimentador la instalación del sistema de filtrado es muy costosa, y la relación costo beneficio de esta solución no la justifica. De igual forma se consideraron sistemas de filtrado pasivo de mayor espectro

y activo, sin embargo, por los costos que justifican la viabilidad de la propuesta se seleccionó el sistema indicado

Para realizar una valoración económica de la solución, que contribuya a definir la presente propuesta como proyecto factible, se considera el costo de la instalación en función de materiales y mano de obra necesarios para la instalación de los sistemas de filtrado.

En la tabla 4.3 se representa los flujos netos anuales del proyecto y los indicadores financieros del proyecto, basados en la inversión inicial y los ahorros por reducción de pérdidas que el sistema presenta.

Tabla 4. 4 Flujos netos anuales del proyecto de instalación del filtro FB3T

PERIODO	FLUJO NETO ANUAL	VALOR ACTUALIZADO
0	-1.200,00	-1.200,00
1	232,47	211,34
2	232,47	192,13
3	232,47	174,66
4	232,47	158,78
5	232,47	144,35
6	232,47	131,23
7	232,47	119,30
8	232,47	108,45
9	232,47	98,59
10	232,47	89,63
	VAN	228,46
	TIR	11%

Fuente: (Vásconez J., 2017)

Del análisis de los indicadores financieros se obtiene que la instalación de sistemas de bloqueo de armónicos múltiples de tres, es económicamente viable, logrando la recuperación de la inversión en un periodo de 10 años, equivalente de la vida útil del filtro, consiguiendo valores de VAN de US\$228.46 y TIR de 11%.

En el aspecto de pérdidas técnicas energéticas, la implementación de estos sistemas en los transformadores con problemas representará un beneficio económico a la Empresa de ahorros en costos por su reducción.

4.5.4.2. Valoración social

Adicionalmente de la viabilidad económica del proyecto se considera el aspecto social de su implementación, lo cual está directamente relacionado con la mejora del servicio de

energía eléctrica a los usuarios finales, mejorando los índices de fallas por desconexión y de daños en los equipos de electrónica sensible a la actuación de perturbaciones armónicas; lo cual mejora la imagen institucional de la Empresa.

De igual forma la reducción de pérdidas a causa de la implementación de este sistema de bloqueo de armónicos, beneficia la percepción de la Empresa a nivel de las demás empresas de distribución y entes de regulación, por la consecuente reducción de índices de pérdidas técnicas en el suministro de energía a los clientes.

4.5.5. Valoración ambiental

Una de las consecuencias de una excesiva contaminación por armónicos en las redes de distribución, está relacionada con la disminución de la vida útil de los componentes de la red y de las cargas a ella conectadas, por lo tanto la generación de desechos, en muchos casos peligrosos, como en el caso de los transformadores a causa de su componente dieléctrico, se incrementa; por tanto el suministrar energía con niveles de perturbaciones controladas disminuye la cantidad de desechos generados en el tiempo.

CONCLUSIONES GENERALES

1. De la realización de la investigación, se ha determinado que de los 236 transformadores instalados en el alimentador 0601CV0T04, 99 tienen instaladas cocinas de inducción como cargas, de los cuales el 24,13% presentan perturbaciones por armónicos fuera de los límites permitidos por norma.
2. En los transformadores del alimentador 0601CV0T04 analizados que poseen tasas de distorsión por armónicos fuera de límite permitido por norma, se encontró que estas desviaciones se presentan en la componente del tercer armónico, que corresponde a los 180 Hz en un porcentaje promedio del 9.44% del valor de la componente fundamental.
3. Se encontró que la afectación a las perturbaciones por armónicos en la cabecera del alimentador a nivel de 13.800 V corresponde a un valor de 11.08% del voltaje de la componente fundamental.
4. Se establece que es imprescindible definir los sectores prioritarios del sistema eléctrico de ELEPCO S.A. en los cuales se realizarán análisis de calidad de energía, con base al aumento de cargas no lineales como las cocinas de inducción, indicador que se tiene disponible en las bases de datos empresariales.
5. Se concluye que la propuesta de implementación de los sistemas de filtrado de armónicos en las redes de distribución con perturbaciones fuera de límites, con base en la relación costo beneficio, la valoración económica, social y ambiental resulta ventajosa para ELEPCO S.A. como responsable de la calidad de producto entregado, y principalmente para el consumidor por la mejora en la calidad de servicio recibida por parte de la empresa distribuidora energía eléctrica.

RECOMENDACIONES GENERALES

1. A la Dirección de Planificación de ELEPCO S.A.

Elaborar programas de extensión de redes en función del crecimiento de las cargas instaladas en los alimentadores del sistema eléctrico de ELEPCO S.A. con la finalidad de mitigar las perturbaciones en la energía por cargabilidad de los elementos o desbalance de redes.

2. Al Departamento de Calidad de Energía de ELEPCO S.A.

Realizar estudios para determinar los factores adicionales que originan contaminación por armónicos en las redes de distribución de ELEPCO S.A.

3. Al Departamento de Calidad de Energía de ELEPCO S.A.

Implementar las acciones diseñadas en el plan presentado en la propuesta del presente trabajo de investigación, a fin de optimizar la planificación de mediciones para análisis de energía dispuestas por los organismos de control y regulación del sector eléctrico ecuatoriano

4. A la Administración de ELEPCO S.A.

Planificar las soluciones para controlar los niveles de perturbación por armónicos con la anterioridad requerida a fin de realizar estudios oportunos que conlleven a presupuestar los recursos económicos necesarios para su implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- Suárez, J., Di Mauro, G., Anaut, D., & Agüero, C. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales. *IEEE LATIN AMERICAN TRANSACTIONS*, 429.
- Alvarado, L., & García, M. (2008). Características más relevantes del paradigma socio-crítico, su aplicación ambiental y de enseñanza de las ciencias realizadas en el Doctorado de Educación del Instituto Pedagógico de Caracas. *Sapiens, Revista Universitaria de Investigación*, 202.
- American National Standard ANSI/IEEE C57.110-1986. (1988). *Recommended Practices for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Current*. New York: IEEE Press.
- ARCONEL. (2016). Pliego Tarifario Enero - Diciembre 2016. Ecuador.
- Autonell, J., Balcells, J., Barra, V., Brossa, J., Fornieles, F., García, B., & Ros, J. (2012). Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Barcelona, España: EGEDSA.
- Bacells, S. J. (2001). *Calidad y uso racional de la energía eléctrica*. Barcelona: CIRCUTOR S.A.
- Barcón, S., Guerrero, R., & Martínez, I. (2012). *Calidad de la Energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas*. Naucalpan de Juárez, Mexico, Mexico: McGraw-Hill.
- Burdio, J., Barragán, L., Navarro, D., Alonso, R., Ramon, J., Acero, J., . . . Garde, I. (2013). División en bandas de multi'inversores de carburo de silicio para incrementar la flexibilidad en superficies activas de cocción. *Actas de la II Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A* (págs. 40-43). Zaragoza: Ignacio Garcés.
- CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Quito, Ecuador.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2001). Regulación 004/01. *Calidad de producto y servicio eléctrico*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Constitución de la Republica del Ecuador . (2008).
- Contreras, I. (2006). Armónicos y la norma IEEE 519 1992. *Electroindustria*.
- Fidias, G. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Maldonado, A., & Valladares, A. (2017). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016*. Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, Quito.
- Nieto, V., & Alvarado, O. (1998). *Calidad de energía eléctrica: Análisis armónico de sistemas eléctricos de potencia*.
- Pierce, L. (1996). Transformer Design and Application Consideration for Nonsinusoidal Load Currents. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 633-645.
- Romero, P. (2014). *Análisis eléctrico en el sistema nacional de transmisión por la incorporación de cocinas de inducción*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Suárez, J., Di Mauro, G., Anaut, D., & Agüero, C. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en las áreas residenciales. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, 429-435.

- Tapia, A., & Vilcacundo, M. (2014). *Estudio de la proyección y determinación del crecimiento de la demanda por tipo de usuario, con la inclusión de la cocina de inducción, en el Alimentador Picaihua a 13.8 kV de la subestación Oriente, perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato*. Latacunga, Ecuador.
- Tejada, A., & Llamas Terrés, A. (2012). EFECTOS DE LAS ARMÓNICAS EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS. Monterrey, México.
- Tejada, A., & Llamas, A. (2007). Efectos de las armónicas en los sistemas eléctricos. Monterrey, México.
- Terol, S., Gonzalez, J., & Pareja, M. (2013). *Instalaciones distribución*. Caracas: EDITEX.
- Vásquez, C. (2010). *Pérdidas debidas a la no calidad de la energía eléctrica*. Caracas: Proyecto EFESOS.

ANEXOS

Anexo 1. Fichas de observación

Ficha de observación: Filtros disponibles en el mercado										
Modelo de filtro:				Fabricante:				Costo:		
Características eléctricas										
Método de conexión	Voltaje de red	Frecuencia de red	Corriente de línea	Corriente de neutro	Máximo de unidades que pueden ser combinadas	Redundancia	Arreglo maestro/esclavo	Pérdidas del equipo	Protección interna	Breaker principal
Características de filtrado										
Rango de armónicos	Rango seleccionable de armónicos	Tiempo de reacción	Tiempo de respuesta	Inductivo/capacitivo programable	Características de balanceo de carga	Comunicaciones de programación	Entradas digitales	Contacto de alarma	Programación/monitoreo	Certificaciones

Ficha de observación: Cocinas de inducción instaladas en el área de estudio			
Ítem	Fecha de instalación	Promedio de consumo antes	Promedio de consumo luego de la
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

Anexo 2. Análisis de resultados de mediciones en transformadores de distribución

PARÁMETROS ANALIZADOS															
N°	N° de cocinas instaladas	Fecha de medición	Fecha final instalación cocinas	Fecha inicial de instalación de cocinas	Potencia transformador kVA	Potencia a cocina kW	THD			% de Vh por Vn					
							THD máx	THD medio	%Vh3/Vn Límite 5%	%Vh5/Vn Límite 6%	%Vh7/Vn Límite 5%				
104	1	dic-16	jun-15	jun-15	37,5	3,5	3,46%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%
127	3	dic-16	mar-17	feb-15	15	13	3,19%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,06%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,67%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%
139	3	dic-16	ene-16	ene-16	37,5	14	4,22%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,99%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,63%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%
488	2	ago-16	abr-16	oct-15	37,5	10	9,96%	En hora pico	9,55%	En hora pico	8,70%	En hora pico	3,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,86%
507	3	ene-16	may-15	may-15	37,5	25,68	2,85%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,38%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,14%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%
519	4	mar-16	oct-16	ene-15	37,5	20,1	3,21%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,95%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,12%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,76%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%
550	2	feb-16	jun-15	dic-14	25	13,1	3,47%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,49%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,50%
1065	1	nov-16	ene-15	ene-15	25	3,5	2,53%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,35%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,02%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,64%
4229	1	dic-16	ene-15	ene-15	75	7,1	2,30%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,39%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,22%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,70%
4232	1	mar-16	may-15	may-15	10	9,2	5,43%	En hora pico	5,19%	En hora pico	5,10%	En hora pico	2,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,70%
4236	1	mar-16	abr-15	abr-15	15	6,3	5,01%	Pico de 21,8 en 10H20	5,38%	En hora pico	5,10%	En hora pico	2,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,60%

PARAMETROS ANALIZADOS														
Nº	Nº de cocinas instaladas	Fecha de medición	Fecha final instalación cocinas	Fecha inicial instalación de cocinas	Potencia transformador KVA	Potencia a cocina KW	THD		% de Vh por Vn					
							máx	medio	%Vh3/Vn Límite 5%	%Vh5/Vn Límite 6%	%Vh7/Vn Límite 5%			
5292	2	ago-16	mar-16	ene-15	2,5	7,5	10,00%	Pico de 28,8 en 8h20	7,87%	En hora pico	4,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
5382	1	mar-16	ago-15	ago-15	15	6,3	5,10%	En hora pico	4,60%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
5500	1	ago-16	dic-15	dic-15	15	4	11,20%	Pico de 28,8 en 9h20	9,78%	En hora pico	4,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
5973	1	mar-16	feb-15	feb-15	37,5	3,5	2,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,82%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,70%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,60%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6051	1	ago-16	may-15	may-15	15	8,24	10,00%	Pico de 92,9 a las 13h00	8,50%	En hora pico	4,30%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6220	3	mar-16	mar-16	abr-15	50	23,44	3,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,85%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,70%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6234	1	mar-16	jul-15	jul-15	37,5	6,3	3,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,75%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,70%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6546	2	dic-16	oct-16	jul-15	10	11,74	3,94%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,45%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,01%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6587	1	dic-16	ene-15	ene-15	10	3,5	3,33%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,76%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,75%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
6612	4	feb-16	dic-15	may-15	10	26,78	4,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	4,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
7344	1	feb-16	oct-15	oct-15	10	8,24	4,10%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,70%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,12%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,80%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
7384	1	dic-16	may-15	may-15	5	8,24	4,30%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,57%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,85%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,75%	Valor máximo en hora pico, bajo límites

PARÁMETROS ANALIZADOS																
Nº	Nº de cocinas instaladas	Fecha de medición	Fecha final instalación cocinas	Fecha inicial de instalación de cocinas	Potencia transformador kVA	Potencia a cocina kW	THD			% de Vh por Vn						
							THD máx	THD medio	%Vh3/Vn Límite 5%	%Vh5/Vn Límite 6%	%Vh7/Vn Límite 8%					
7539	1	ago-16	ene-16	ene-16	10	4	10,10%	Pico de 95,5	12,90%	En hora pico	10,90%	En hora pico	6,70%	En hora pico	2,60%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
8867	1	ago-16	may-15	may-15	10	9,2	11,30%	Pico 93 en 16h30	11,70%	En hora pico	10,10%	En hora pico	5,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,85%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
10408	1	ago-16	jun-15	jun-15	15	6,3	11,00%	Pico de 92,6 a las 16h50	12,40%	En hora pico	10,20%	En hora pico	4,00%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,65%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
10561	2	ene-16	may-15	ene-15	37,5	7	3,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,61%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,70%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
10590	2	dic-16	ago-16	ago-15	37,5	16,59	4,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	4,25%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,80%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,50%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	0,80%	Valor máximo en hora pico, bajo límites
11680	1	dic-16	jun-16	jun-16	25	4	3,60%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	3,42%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	2,80%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,90%	Valor máximo en hora pico, bajo límites	1,94%	Valor máximo en hora pico, bajo límites

Anexo 3. Proforma de costos de materiales y mano de obra del sistema de bloqueo del tercer armónico

PROFORMA

Cliente: ELEPCO S.A.

R.U.C: 0590042110001

Att: ING. JULIETA VASCONEZ

Dirección: MARQUEZ DE MAENZA

Ciudad: LATACUNGA



Fecha: 02/JUN/2017

ITEM	DESCRIPCION	U	CANT.	RECIO UNIT	V.TOTAL
1	Filtro para armónicos FB3T CIRCUITOR VA	U	1	803,57	803,57
2	Tablero protección NEMA 4X	U	1	107,14	107,14
3	Soporte para tablero	U	1	10,71	10,71
4	Cable de cobre flex N° 2	M	25	4,82	120,54
5	Instalación de equipo	u	1	29,46	29,46
SUBTOTAL					1071,43
IVA 12%					128,57
TOTAL USD					1200,00

CONSIDERACIONES COMERCIALES

Validez: 30 días

Lugar de entrega: Bodegas de ELEPCO S.A.

Tiempo de entrega: 45 días laborables desde la notificación de adjudicación.

Forma de pago: 100% al contado contra entrega de factura

Garantía Técnica: 1 año contra defectos de fabricación.

Condiciones de reposición por garantía técnica: Reposición inmediata del equipo hasta en 48 horas después de comunicado el requerimiento por parte de ELEPCO S.A. La reposición será temporal en caso de requerir reparaciones o definitiva cuando el caso lo amerite. En reposiciones temporales se suministrará un equipo provisional de iguales características mientras duren los arreglos.

ATTE:

Ing. Paulina Vinuesa G.

L.P. 03-050-056

R.U.C. 0502673288001

Latacunga- Ecuador
 Av. Luigi Ripalda S/N Y Los Oblatos
 03-2818-211 / 0995807047 palejandravg@hotmail.com



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma inglés presentado por la Egresada de la Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014: **VÁSCONEZ TOVAR JULIETA NATHALIE**, cuyo título versa **“INCIDENCIA DE LA INSTALACIÓN MASIVA DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN EL NIVEL DE ARMÓNICOS DE LA RED SECUNDARIA DE DISTRIBUCIÓN EN EL ALIMENTADOR CENTRO DE LATACUNGA DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EL CALVARIO DE LA ELEPCO S.A. EN EL AÑO 2016. PROPUESTA DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA MANTENER UN NIVEL PERMISIBLE DE CONTAMINACIÓN POR ARMÓNICOS”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramática del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente

Latacunga, junio 09 de 2017

Atentamente,

MSc. Lic. Carmen del Rocío Peralvo A.
DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CC. 0501806343



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Incidencia de la instalación masiva de cocinas de inducción en el nivel de armónicos de la red secundaria de distribución en el alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016. Propuesta de un plan de acción para mantener un nivel permisible de contaminación por armónicos.

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
6. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none">Identificación de la propuesta.Originalidad.Impacto.	✓			
7. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none">Determinación clara y concisa.Factibilidad.Utilidad.		✓		
8. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none">Contribuye a mejorar la organización.Contribuye un aporte para la institución o empresa.	✓			
9. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA: <ul style="list-style-type: none">Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.Los conceptos son de fácil comprensión.Utiliza terminología básica y específica.		✓		
10. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none">Presenta un orden lógico.Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.Se ajusta a la realidad del contexto social.Es sugestivo e interesante.Es de fácil manejo.	✓			
TOTAL	9	4	0	

VALIDADO POR:	Nombre: DIEGO FERNANDO HOSCO CALVOPIÑA		
Área de Trabajo.	Título Profesional.	Cargo u Ocupación.	Año de Experiencia.
ELEPCO/DIST. ELECTRICIDAD	ING. ELECTROMECANICO	DIRECTOR COMERCIAL	11
Observaciones:			
Fecha:	Tel.:	Dirección del Trabajo:	C.I.:
08-JUNIO-2017	099 597 4596	ELEPCOSA. LTGA.	0502369216

f.....

VALIDADOR.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: Incidencia de la instalación masiva de cocinas de inducción en el nivel de armónicos de la red secundaria de distribución en el alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016. Propuesta de un plan de acción para mantener un nivel permisible de contaminación por armónicos.

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
11. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none">Identificación de la propuesta.Originalidad.Impacto.	✓			
12. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none">Determinación clara y concisa.Factibilidad.Utilidad.		✓		
13. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none">Contribuye a mejorar la organización.Contribuye un aporte para la institución o empresa.	✓			
14. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA: <ul style="list-style-type: none">Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.Los conceptos son de fácil comprensión.Utiliza terminología básica y específica.	✓			
15. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none">Presenta un orden lógico.Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.Se ajusta a la realidad del contexto social.Es sugestivo e interesante.Es de fácil manejo.		✓		
TOTAL	9	4	0	

VALIDADO POR:	Nombre: CARLOS GUSTAVO CEVALLOS CARVAJAL		
Área de Trabajo. DIRECCIÓN TÉCNICA	Título Profesional. ING. ELECTRICO	Cargo u Ocupación. JEFE DE AUMB. PUB.	Año de Experiencia. 15
Observaciones:			
Fecha: 07-JUNIO-2017	Telf.: 099 876 0774	Dirección del Trabajo: ELEPCOJA/UGA	C.I.: 050186444-1

f. 
VALIDADOR.



ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: "Incidencia de la instalación masiva de cocinas de inducción en el nivel de armónicos de la red secundaria de distribución en el alimentador centro de Latacunga de la subestación de distribución El Calvario de la ELEPCO S.A. en el año 2016. Propuesta de un plan de acción para mantener un nivel permisible de contaminación por armónicos".

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
1. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> Identificación de la propuesta. Originalidad. Impacto. 	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> Determinación clara y concisa. Factibilidad. Utilidad. 	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Contribuye a mejorar la organización. Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA: <ul style="list-style-type: none"> Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas. Los conceptos son de fácil comprensión. Utiliza terminología básica y específica. 	✓			
5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA: <ul style="list-style-type: none"> Presenta un orden lógico. Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta. Se ajusta a la realidad del contexto social. Es sugestivo e interesante. Es de fácil manejo. 		✓		
TOTAL	12	2	0	

VALIDADO POR:	Nombre: JAVIER HERNÁN ITURRALDE ALBÁN		
Área de Trabajo. INGENIERÍA ELÉCTRICA	Título Profesional. ING. ELÉCTRICO	Cargo u Ocupación. JEFE DE INGENIERÍA	Año de Experiencia. 27
Observaciones:			
Fecha: 07 JUNIO - 2017	Telf.: 099 538 0264	Dirección del Trabajo: ELEPCO SA - LT6A	C.I: 0501399190

f.....
VALIDADOR.



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	S/O
2	P	S/O
3	P	S/O
4	P	S/O
5	P	S/O
6	P	S/O
7	R	S/O
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

f. 
VALIDADOR

CC. 1756604277



ANEXO 6

**CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)**

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1		NO APLICA NO REALIZÓ ENCUESTA
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

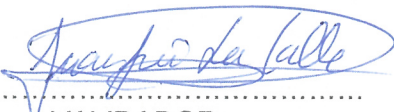
f. 
VALIDADOR

cc. 1756604227



ANEXO 7
LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	Sl0
2	A	Sl0
3	A	Sl0
4	A	Sl0
5	A	Sl0
6	A	Sl0
7	A	Sl0
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

f.....

VALIDADOR

CC...175.660.4777.....



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	—
2	P	—
3	P	—
4	P	—
5	P	—
6	P	—
7	P	—
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

f. Ph.D. Gustavo Rodríguez
VALIDADOR

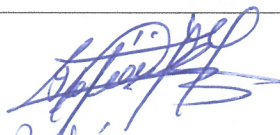
CC...1757001357.....



ANEXO 6

**CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)**

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1		no aplica
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

f... 
VALIDADOR

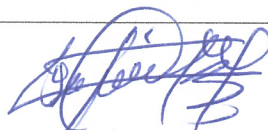
cc... 1757001351



ANEXO 7

LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	A	—
2	A	—
3	A	—
4	A	—
5	A	—
6	A	—
7	A	—
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		


f. Ph.D. Gustavo Rodríguez
VALIDADOR

CC. 1757001357



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	S.O.
2	P	S.O.
3	P	S.O.
4	P	S.O.
5	P	S.O.
6	P	S.O.
7	P	S.O.
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

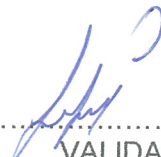
f. 
VALIDADOR
CC. 0502529589



ANEXO 6

**CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)**

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1		NO APLICA
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

f.  LUIGI ORLANDO FREYRE MARTINEZ
VALIDADOR


CC. 0502329585



ANEXO 7

LENGUAJE

LENGUAJE		
A= ADECUADO		I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES
1	Δ	S.O.
2	Δ	S.O.
3	Δ	S.O.
4	Δ	S.O.
5	Δ	S.O.
6	Δ	S.O.
7	Δ	S.O.
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		

f.....  LUIGI ORLANDO FREYRE MARTINEZ
VALIDADOR

CC. 0502525589.....